

ВЕСТНИК НГАУ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
VESTNIK NGAU NOVOSIBIRSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY



№4(73)
2024

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК НГАУ

Новосибирский
государственный
аграрный
университет

Научный журнал

№ 4(73)2024

Н.Н. Кочнев
главный редактор,
доктор биологических наук,
профессор

Учредитель:
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный
аграрный университет»

Основан
в декабре 2005 года

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи и массовых
коммуникаций

ПИ № ФС 77-35145
29.01.2009.

Материалы издания
выборочно включаются
в международные базы данных
Agris, Ulrich's Periodicals Directory

Russian Science
Citation Index

Электронная версия журнала
на сайте: www.elibrary.ru

Адрес редакции и издателя:
630039, г. Новосибирск,
ул. Добролюбова, 160, каб. 106
журнал «Вестник НГАУ»
(Новосибирский государственный
аграрный университет)
Телефоны: +7 (383) 264-23-62;
+7 (383) 264-25-46 (факс)
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Подписной индекс издания 94091
Тираж 500 экз.

Редакционный совет:

Рудой Е.В. – д-р экон. наук, чл.-корр. РАН., ректор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, председатель редакционной коллегии (Новосибирск, Россия)

Кочнев Н.Н. – д-р биол. наук, проф., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, главный редактор (Новосибирск, Россия)

Камалдинов Е.В. – д-р биол. наук, доцент, зам. главного редактора (Новосибирск, Россия)

Члены редколлегии:

Абрамов Н.В. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)

Беляев А.А. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой защиты растений ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Буджапов Л.В. – д-р биол. наук, директор БурНИИСХ СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Булашев А.К. – д-р вет. наук, профессор кафедры биотехнологии и микробиологии Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (Нур-Султан, Казахстан)

Вышегуров С.Х. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой ботаники и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Галеев Р.Р. – д-р с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства и кормопроизводства ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Гамзиков Г.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник НИЧ ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Главендекич М.М. – д-р биотехн. наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры Университета г. Белграда (Белград, Сербия)

Гончаров Н.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Добровотворская Н.И. – д-р с.-х. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Донченко А.С. – д-р вет. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (Новосибирск, Россия)

Дубовский И.М. – д-р биол. наук, зав. лабораторией биологической защиты и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Жучаев К.В. – д-р биол. наук, профессор кафедры технологии и управления качеством с.-х. продукции ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Кауфман О. – д-р аграр. наук, профессор Гумбольдтского университета, факультет естественных наук, Институт сельского хозяйства и садоводства им. Альбрехта Даниэля Тэера, почетный доктор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Берлин, Германия)

Кашеваров Н.И. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, руководитель СибНИИ кормов СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Коуржил Я. – Ph. D., профессор лаборатории искусственного размножения рыб и интенсивной аквакультуры факультета рыбоводства и охраны вод Южно-Чешского университета (Чешские Будевеице, Чехия)

Кочетов А.В. – д-р биол. наук, акад. РАН, директор ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Магер С.Н. – д-р биол. наук, проф., руководитель СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Мейсснер Р. – д-р техн. наук, профессор кафедры управления водообеспечением, Институт сельскохозяйственных наук и проблем питания в Мартин-Лютер университете (Халле-Виттенберг, Германия)

Ноздрин Г.А. – д-р вет. наук, проф., профессор кафедры фармакологии и общей патологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Нургазиев Р.З. – д-р вет. наук, профессор акад. НАН КР, ректор КНАУ им. К.И. Скрябина (Бишкек, Кыргызстан)

Петухов В.Л. – д-р биол. наук, проф., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Поповски З. – д-р аграр. наук, профессор кафедры биохимии и геномной инженерии Университета Св. Кирилла и Мефодия (Скопье, Северная Македония)

Солошенко В.А. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Шарков И.Н. – д-р биол. наук, ведущий науч. сотрудник ИПА СО РАН (Новосибирск, Россия)

Шейко И.П. – д-р с.-х. наук, акад. НАН Республики Беларусь, первый зам. ген. директора РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» (Жодино, Беларусь)

Технический редактор *О.Н. Мищенко*

Редакторы *М.А. Мжельская*

Компьютерная верстка *В.С. Колбин*

Дата выхода в свет 26 декабря 2024 г. Свободная цена.

Формат 60 × 84 1/8. Объем 31,5 уч.-изд. л. Бумага офсетная.

Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2772.

Отпечатано в ИЦ НГАУ «Золотой колос»

630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.

Тел. +7 (383) 267-09-10. E-mail: 213-45-39@mail.ru

VESTNIK NGAU

**Novosibirsk
State
Agrarian
University**

Scientific journal

No. 4(73)2024

**H.H. Kochnev
Editor-in-Chief,
Doctor of Biological Sc.
Professor**

**The founder is Federal State State-
Funded
Educational Institution
of Higher Education
“Novosibirsk State
Agrarian University”**

**The journal is based
in December, 2005**

**The journal is registered in the Federal
Service for Supervision in the Sphere
of Communications, Information
Technologies and Mass Media
Certificate PI No. FS 77-35145
29.01.2009.**

**The materials are included
into the database Agris,
Ulrich's Periodicals Directory
on a selective basis**

**Russian Science
Citation Index**

**E-journal is found at:
www.elibrary.ru**

Address:
630039, Novosibirsk,
160 Dobrolyubova Str., office 106
VESTNIK NGAU
of Novosibirsk State Agrarian University
Tel: +7 (383) 264–23–62;
Fax: +7 (383) 264–25–46
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Subscription index is 94091

Circulation is 500 issues

Editors:

Rudoi E.V. – Dr. of Economic Sc., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector of NSAU, the Chairman of the Editorial Board, (Novosibirsk, Russia)
Kochnev N.N. – Doctor of Biological Sc., Professor, the Editor-in-Chief, Professor at the Chair of Veterinary Genetics and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Kamaldinov E.V. – Dr. of Biological Sc., Associate Professor, the Deputy of Editor-in-Chief, (Novosibirsk, Russia)

Editorial Board:

Abramov N.V. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Soil Science and Agrochemistry at Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)
Beliaev A.A. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Plant Protection at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Budazhapov L.V. – Dr. of Biological Sc., the Head of Buryat Research Institute of Agriculture SD RAS (Ulan-Ude, Russia)
Bulashev A.K. – Doctor of Veterinary Sc., Professor at the Chair of Biotechnology and Microbiology at Seifulin Kazakh Agrotechnical University (Nur-Sultan, Kazakhstan)
Vyshegurov S.Kh. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Botany and Landscape Architecture at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Galeev R.R. – Dr. of Agricultural Sc., Professor of the Chair of Crop and Feed Production at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Gamzikov G.P. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Chief Research Fellow at the Department of Science and Research of Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Glavendekich M.M. – Dr. Biological Sc., Professor at the Chair of Landscape Architecture at the University of Belgrade (Belgrade, Serbia)
Goncharov N.P. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Research Institute of Cytology and Genetics (Novosibirsk, Russia)
Dobrotvorskaia N.I. – Dr. of Agricultural Sc., Leading Research Fellow at Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology RAS (Novosibirsk, Russia)
Donchenko A.S. – Dr. of Veterinary Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at of Siberian Federal Research Centre of Agriculture and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Dubovskii I.M. – Dr. of Biological Sc., the Head of the Laboratory of Biological Protection and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Zhuchayev K.V. – Dr. of Biological Sc., Professor, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Kaufmann O. – Doctor of Agricultural Sc., Professor at Humboldt University, Faculty of Life Sciences, Albrecht Daniel Thaer - Institute of Agricultural and Horticultural Sciences, Honorary Doctor of Novosibirsk State Agrarian University (Berlin, Germany)
Kashevarov N.I. – Dr. of Agricultural Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Head of Siberian Federal Research Institute of Feed SFSCA RAS (Novosibirsk, Russia)
Kouril Ja. – Ph. D., Professor of the Laboratory of Artificial Fish Propagation and Intensive Aquaculture at the Faculty of Fisheries and Protection of Waters at University of South Bohemia (Ceske Budejovice, Czech Republic)
Kochetov A.V. – Dr. of Biological Sc., Academician of the Russian Academy of Sciences, the Head of Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Mager S.N. – Dr. of Biological Sc., Professor, the Head of Siberian Research Institute of Animal Husbandry (Novosibirsk, Russia)
Meissner R. – Dr. of Technical Sc., Professor at the Department of Water Management, Institute of Agricultural Sciences and Nutrition at Martin Luther University (Halle-Wittenberg, Germany)
Nozdrin G.A. – Dr. of Veterinary Sc., Professor, Professor at the Chair of Pharmacology and General Pathology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Nurgaziev R.Z. – Dr. of Veterinary Sc., Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Rector of Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin (Bishkek, Kyrgyzstan)
Petukhov V.L. – Doctor of Biological Sc., Professor, Professor at the Chair of Veterinary Genetics and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Popowski Z. – Doctor of Agricultural Sc., Professor at the Chair of Biochemistry and Genetic Engineering at Ss. Cyril and Methodius University (Skopje, Northern Macedonia)
Soloshenko V.A. – Doctor of Agricultural Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Siberian Research Institute of Animal Husbandry (Novosibirsk, Russia)
Sharkov I.N. – Leading Researcher at the 1Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)
Sheiko I.P. – Doctor of Agricultural Sc., Academician of National Academy of Sciences of Belarus, Vice-Head of Animal Husbandry Research Institute at National Academy of Sciences of Belarus (Zhodino, Belarus)

Typing: *Mishchenko O.H.*

Editors *Mzhelskaya M.A.*,

Desktop publishing: *Kolbin V.S.*

Date of publication December 26th 2024. Free price.

Size is 60 × 84¹/₈. Volume contains 31,5 publ. sheets. Offset paper is used.

Typeface “Times New Roman” is used. Order no. 2772.

Printed in “Zolotoy Kolos” Publ. of Novosibirsk State Agrarian University
160 Dobrolyubova Str., office 106, 630039 Novosibirsk. Tel.: +7 (383) 267-09-10
E-mail: 2134539@mail.ru

АГРОНОМИЯ

- Алейникова Г.Ю.** Влияние нагрузки кустов побегами на показатели стрессоустойчивости винограда сортов Владимир, Дмитрий, Курчанский
- Беляев А.А., Шпатова Т.В., Неволин С.В., Гаврилец Т.В.** Применение штаммов бактерий рода *Bacillus* при размножении жимолости одревесневшими черенками
- Бопп В.Л., Ступницкий Д.Л., Данилов М.Е.** Влияние сроков посева на продуктивность люпина узколистного в условиях Красноярской лесостепи
- Гаврилец Т.В.** Возможность применения природного препарата как антистрессанта к гербицидам в посевах сои
- Гаврилова А.Ю., Конова А.М.** Влияние уровня минерального питания на урожайность и качество клевера лугового
- Гуреева Ю.А., Батов А.С., Березовская А.Г., Кондратьева И.В.** Селекция сортов картофеля различного целевого направления в условиях лесостепи Новосибирского Приобья
- Кибальник О.П., Кибальник С.В.** Прогнозирование и подбор исходного материала в селекции сахарного сорго на основе кластеризации
- Корелина В.А., Батакова О.Б., Зобнина И.В.** Результаты экологического сортоиспытания гороха посевного в условиях Архангельской области
- Мешкова Л.В., Сабаяева О.Б., Николаев П.Н.** Пыльная головня ячменя в Омской области и источники устойчивости к ней
- Петров А.Ф., Макарова К.С., Колбина О.Н., Кархардин И.В., Гаврилец Т.В.** Совершенствование элементов технологии выращивания саженцев смородины черной
- Познахарева О.А., Данилов Н.В., Данилов В.П., Садохина Т.А., Ланин В.А.** Итоги селекционной работы по рапсу в Сибири
- Пролётова Н.В., Зотова В.С.** Влияние селективных условий *in vitro* на изменчивость создаваемых форм льна
- Сотник А.Я., Бехтольд Н.П.** Оценка сортов овса по урожайности и устойчивости к болезням в северной лесостепи Новосибирского Приобья
- Табанюхов К.А., Масленникова В.С., Шелихова Е.В., Козлова А.С., Цветкова В.П., Мосалев К.И.** Мониторинг вирусов картофеля Алтайского края и их влияние на морфометрические и биохимические показатели растений
- Шаталова Е.И., Андреева И.В., Ходакова А.В.** Значение экологических факторов в регуляции численности колорадского жука при использовании хищного клопа *Podisus maculiventris*

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ
И БИОТЕХНОЛОГИЯ

- Афанасьева А.И., Сарычев В.А., Сосин И.В.** Влияние ферментно-пробиотического препарата «Профорт» на микрофлору рубца и воспроизводительную функцию коров

AGRONOMY

- Aleynikova G.Y.** The effect of the load of bushes with shoots on the stress resistance of grapes of the varieties Vladimir, Dmitry, Kurchansky **5**
- Belyaev A.A., Shpatova T.V., Nevolin S.V., Gavrillets T.V.** Application of *Bacillus* bacterial strains in the propagation of honeysuckle by woody cuttings **12**
- Bopp V.L., Stupnitsky D.N., Danilov M.E.** Influence of sowing time on the productivity of narrow-leaved lupin under conditions of the Krasnoyarsk Forest-steppe **21**
- Gavrillets T.V.** The possibility of using a natural drug as an antistressant to herbicides in soybean crops **29**
- Gavrilova A.Yu., Konova A.M.** The effect of the level of mineral nutrition on the yield and quality of meadow clover **36**
- Gureeva Yu.A., Batov A.S., Berezovskaya A.G., Kondratieva I.V.** Selection of potato varieties of various target areas in the conditions of the forest-steppe of the Novosibirsk Obregion **45**
- Kibalnik O.P., Kibalnik S.V.** Forecasting and choice of the starting material in the selection of sugar sorghum based on clustering **54**
- Korelina B.A., Batakova B.B., Zobnina I.V.** The results of ecological variety testing of seed peas in the conditions of the Arkhangelsk region **62**
- Meshkova L.V., Sabaeva O.B., Nikolaev P.N.** The dusty smut of barley in the Omsk region and sources of resistance to it **70**
- Petrov A.F., Makarova K.S., Kolbina O.N., Karkhardin I.V., Gavrillets T.V.** Improvement of the elements of the technology of growing black currant seedlings **79**
- Poznakhareva O.A., Danilov N.V., Danilov V.P., Sadokhina T.A., Lanin V.A.** The results of the breeding work on rapeseed in Siberia **85**
- Prolyotova N.V., Zotova V.S.** Influence of selective conditions *in vitro* on variability of created flax forms **95**
- Sotnik A.Ya., Behtold N.P.** Evaluation of oat varieties for yield and disease resistance in the northern forest-steppe of the Novosibirsk Ob region **108**
- Tabanyukhov K.A., Maslennikova V.S., Shelikhova E.V., Kozlova A.S., Tsvetkova V.P., Mosalev K.I.** Monitoring of potato viruses in the Altai region and their influence on morphometric and biochemical parameters of plants **116**
- Shatalova E.I., Andreeva I.V., Khodakova A.V.** Importance of ecological factors in the regulation of colorado potato beetle populations using the predatory bug *Podisus maculiventris* **124**

VETERINARY, ANIMAL SCIENCES
AND BIOTECHNOLOGY

- Afanasyeva A.I., Sarychev V.A., Sosin I.V.** Effect of enzyme-probiotic preparation "Profort" on rumen microflora and reproductive function of cows **134**

Барсукова М.А., Афанасьева И.А., Нарожных К.Н. Связь благополучия и упитанности свиноматок при фиксированном содержании на участке опороса в условиях промышленной технологии	Barsukova M.A., Afanasyeva I.A., Narozhnykh K.N. The relationship between the well-being and fatness of sows with a fixed content on the farrowing site in the conditions of industrial technology	142
Бирюля И.К., Зайко О.А. Масса мозга, сердца и легких у свиней породы ландрас и их ассоциация с биохимическими показателями	Biryulya I.K., Zaiko O.A. Brain, heart and lung weight in landrace pigs and their association with biochemical indicators	151
Бряднов В.С., Шкиль Н.Н. Актуальные факторы патогенности вирусных и бактериальных возбудителей болезней молодняка крупного рогатого скота	Bryadnov V.S., SHkil N.N. Current pathogenicity factors of viral and bacterial pathogens of young cattle	158
Гарт В.В., Куликова С.Г., Нарожных К.Н., Камалдинов Е.В. Раннее прогнозирование содержания молочного жира у голштинского скота на основе сопряженной изменчивости с линейными признаками	Gart V.V., Kulikova S.G., Narozhnykh K.N., Kamaldinov E.V. Early prediction of milk fat content in holstein cattle based on correlated variability with linear traits	168
Жучаев К.В., Кочнева М.Л., Осадчук Л.В., Борисенко Е.А., Папшев С.В. Онтогенетические особенности гормонального статуса и метаболического профиля свиней в условиях промышленной технологии	Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Osadchuk L.V., Borisenko E.A., Papshev S.V. Ontogenetic features of hormonal status and metabolic profile of pigs in industrial technology	177
Зырянова А.А., Клещева А.А., Севостьянов М.Ю. Молочная продуктивность коров симментальской породы с разными генотипами по генам каппа-казеина и соматотропина	Zyryanova A.A., Klescheva A.A., Sevostyanov M.Y. Milk productivity of simmental cattle by combined kappa-casein and somatotropin genes	189
Ильина А.В., Абрамова М.В., Зырянова С.В., Евдокимов Е.Г., Муштукова Ю.В., Приданникова Н.В., Коновалов А.В. Полиморфизм микросателлитных локусов ярославского скота в стадах различного селекционного значения	Ilyina A.V., Abramova M.V., Zyryanova S.V., Evdokimov E.G., Mushtukova Yu.V., Pridannikova N.V., Konovalov A.V. Polymorphism of microsatellite loci of yaroslavl cattle in herds of various breeding values	198
Коновалова Т.В., Климанова Е.А., Тарасенко Е.И., Короткевич О.С., Петухов В.Л. Углеводный и минеральный обмены у овец романовской породы в условиях Западной Сибири	Konovalova T.V., Klimanova E.A., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L. Carbohydrate and mineral metabolism in romanov sheep in Western Siberia	207
Кочнева М.Л., Жучаев К.В., Борисенко Е.А., Папшев С.В. Этологический профиль и продуктивность подсосных свиноматок в условиях промышленной технологии	Kochneva M.L., Zhuchaev K.V., Borisenko E.A., Papshev S.V. Ethological profile and productivity of suckling sows in terms of industrial technology	215
Кцова И.И., Розовенко М.В., Темираев Р.Б., Козырев С.Г., Газзаева М.С., Кубатиева З.А. Влияние антиоксидантов на морфологический и биохимический состав крови, антиоксидантную защиту кур-несушек	Ktsoeva I.I., Rozovenko M.V., Temiraev R.B., Kozyrev S.G., Gazzaeva M.S., Kubatieva Z.A. Influence of antioxidants on the morphological and biochemical composition of blood, antioxidant protection of laying chicks	220
Лавриненко К.В., Коцаев И.А., Сергеева Е.С., Рядинская А.А., Ордина Н.Б. Применение жирнокислотно-фосфолипидного комплекса при выращивании цыплят-бройлеров	Lavrinenko K.V., Koshchaev I.A., Sergeeva E.S., Ryadinskaya A.A., Ordina N.B. The use of a fatty acid-phospholipid complex in the cultivation of broiler chickens	228
Мирошников П.Н., Сахаров А.В., Лошенко В.И., Жучаев К.В., Кочнева М.Л., Кочнев Н.Н. Влияние экстрактов душицы обыкновенной и сабельника болотного на морфофункциональное состояние тканей печени мышей при остром стрессе	Miroshnikov P.N., Saharov A.V., Loshenko V.I., Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Kochnev N.N. Effect of oregano and marsh cinquefoil extracts on the morphofunctional characteristic of mice liver tissues under acute stress	239
Пономарева Е.Н., Сорокина М.Н., Григорьев В.А., Мазанко М.С., Чистяков В.А. Оценка действия пробиотических препаратов антиоксидантного и ферментативного действия на основе штамма <i>Bacillus subtilis</i> на рост и физиологическое состояние рыб	Ponomareva E.N., Sorokina M.N., Grigoriev V.A., Mazanko M.S., CHistyakov V.A. Evaluation of the effect of probiotic preparations with antioxidant and enzymatic action based on the <i>Bacillus subtilis</i> strain on the growth and physiological state of fish	250
Сабирзянова Л.И., Ковалев С.П. Эффекты применения инъекционного левокарнитина на весовые коэффициенты и на состояние внутренних органов крыс	Sabirzyanova L.I., Kovalev S.P. Effects of injecting levocarnitine on weight coefficients and pathological picture of rats	265
Стрижкова М.В., Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Зайко О.А., Желтиков А.И., Кочнева М.Л. Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков	Strizhkova M.V., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov B.L., Zaiko O.A., Zheltikov A.I., Kochneva M.L. The effect of the genotype of holstein bulls on the phosphorus content in the liver of descendants	272
Чысыма Р.Б., Прокудин А.В., Сергеева О.К. Накопление тяжелых металлов мелкими млекопитающими Норило-Пясинской экосистемы	Chysyma R.B., Prokudin A.V., Sergeeva O.K. Accumulation of heavy metals in small mammals of the Norilo-Pyasinsky ecosystem	280

АГРОНОМИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-5-11

УДК 634.8.047; 634.853

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ КУСТОВ ПОБЕГАМИ НА ПОКАЗАТЕЛИ
СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ВИНОГРАДА СОРТОВ ВЛАДИМИР, ДМИТРИЙ,
КУРЧАНСКИЙ

Г.Ю. Алейникова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

E-mail: gala.aleynikova@gmail.com

Для цитирования: Алейникова Г.Ю. Влияние нагрузки кустов побегами на показатели стрессоустойчивости винограда сортов Владимир, Дмитрий, Курчанский // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 5–11. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-5-11.

Ключевые слова: виноград, нагрузка побегами, показатели стрессоустойчивости, выход электролитов, водный режим.

Реферат. В связи с наблюдаемыми в настоящее время глобальными и локальными изменениями климата происходит разбалансировка биологических циклов растений, изменение их устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам. Уровень реализации потенциала хозяйственной продуктивности сортов винограда в Краснодарском крае невысок и составляет 60 %. В основе его повышения лежит оптимизация размещения виноградных насаждений с учетом сортовых особенностей и сорт-, зонально-ориентированные технологии возделывания винограда. Сортовая агротехнология, предусматривающая установление оптимальной нагрузки кустов винограда побегами, играет важную роль в регулировании роста виноградного куста и его отдельных частей, формировании устойчивости растений к стрессорам и качества продукции виноградарства. В связи с более частым проявлением стрессовых погодных условий в период вегетации винограда, а именно недостаточной увлажненностью почвы в сочетании с высокой температурой и низкой влажностью воздуха, актуальным направлением исследований является изучение показателей стрессоустойчивости при разной нагрузке кустов побегами. Цель исследований – изучить влияние нагрузки кустов побегами на показатели стрессоустойчивости сортов винограда отечественной селекции Владимир, Дмитрий, Курчанский. Изучены показатели, характеризующие стрессоустойчивость растений, такие как выход электролитов, оводненность, водный дефицит и потеря воды листьями (водоудерживающая способность). Установлена специфическая сортовая реакция растений винограда на изменение нагрузки кустов побегами в стрессовых условиях (недостаточность осадков и высокая температура воздуха). Повышение нагрузки у сортов винограда Дмитрий и Курчанский улучшает показатели стрессоустойчивости, такие как оводненность тканей, водный дефицит и водоудерживающая способность. Сорт Владимир имел наилучшие показатели при минимальной и средней нагрузке кустов побегами.

THE EFFECT OF THE LOAD OF BUSHES WITH SHOOTS ON THE STRESS
RESISTANCE OF GRAPES OF THE VARIETIES VLADIMIR, DMITRY,
KURCHANSKY

G.Y. Aleynikova

Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making», Krasnodar, Russia

E-mail: gala.aleynikova@gmail.com

Keywords: grapes, stress resistance indicators, electrolyte output, water regime, shoot load.

Abstract. Due to the currently observed global and local climate changes, there is an imbalance in the biological cycles of plants, a change in their resistance to biotic and abiotic stressors. The level of realization of the potential of economic productivity of grape varieties in the Krasnodar Territory is low and amounts to 60%. At the heart of its increase is the optimization of the placement of grape plantations, taking into account varietal characteristics and variety-oriented, zone-oriented technologies of grape cultivation. Varietal agrotechnology,

which provides for the establishment of an optimal load of grape bushes with shoots, plays an important role in regulating the growth of the grape bush and its individual parts, the formation of plant resistance to stressors and the quality of viticulture products. Due to the more frequent manifestation of stressful weather conditions during the growing season of grapes, namely, insufficient soil moisture in combination with high temperature and low humidity, an urgent area of research is the study of stress resistance indicators under different loads of bushes with shoots. The purpose of the research is to study the effect of the load of bushes with shoots on the stress resistance of grape varieties of domestic selection Vladimir, Dmitry, Kurchansky. Indicators characterizing the stress resistance of plants, such as electrolyte yield, hydration, water deficiency and loss of water by leaves (water retention capacity), have been studied. A variety-specific reaction of grape plants to changes in the load of bushes with shoots under stressful conditions (insufficient precipitation and high air temperature) has been established. Increasing the load in Dmitry and Kurchansky grape varieties improves stress resistance indicators, such as tissue hydration, water deficiency and water retention capacity. The Vladimir variety had the best performance with a minimum and average load of bushes with shoots.

В настоящее время уровень реализации потенциала хозяйственной продуктивности винограда сортов, возделываемых в Краснодарском крае, составляет 60 %. Это связано в первую очередь с нестабильными погодными условиями и происходящими климатическими изменениями глобального и локального характера [1]. Для увеличения данного показателя кроме оптимизации размещения виноградных насаждений и формирования терруарного сортимента необходима разработка сорт-, зонально-ориентированных технологий возделывания винограда.

Разработка сортовой агротехнологии предусматривает установление оптимальной нагрузки кустов винограда побегами, так как этот показатель играет важную роль в регулировании роста виноградного куста и его отдельных частей, формировании качества продукции виноградарства [2–6].

Ученые-виноградари во всем мире проводят исследования, направленные на изучение влияния нагрузки кустов глазками, побегами, гроздьями на ростовые процессы, продуктивность и качество винограда и вина [7–11]. Эти исследования являются актуальными и в настоящее время в связи с климатическими изменениями, селекцией новых сортов, почвенно-климатическими различиями условий произрастания, так как оптимальная сортовая нагрузка обеспечивает благоприятные условия микроклимата кроны куста и корневого питания, что обуславливает развитие на кустах большего числа полноценных побегов с достаточной листовой поверхностью и качественным урожаем.

Нагрузка кустов влияет не только на ростовые процессы и продуктивность виноградного растения, но и на качественные показатели урожая и изготавливаемой из него продукции [12, 13].

Учеными Всероссийского научно-исследовательского института виноградарства и виноделия

им. Я.И. Потапенко установлена оптимальная нагрузка побегами для сорта Красностоп золотовский в условиях Ростовской области – 35 побегов на куст (обеспечивает высокое качество продукции) [14], для сорта Первенец Магарача наилучшей также является нагрузка 35 побегов на растение [15].

Наши исследования, проводимые ранее на сортах винограда Гранатовый и Рислинг рейнский, возделываемых в Черноморской агроэкологической зоне виноградарства Краснодарского края, посвященные установлению влияния нагрузки побегами на физико-химические показатели сулы и вина, позволили установить предварительные нормы нагрузки побегами, обеспечивающие высокое качество и стабильность продукции [16–18].

Как видно из обзора литературных источников, в настоящее время является актуальным изучение влияния нагрузки кустов побегами на ростовые и генеративные процессы, качество винограда и вина. Следует отметить, что информации о влиянии нагрузки побегами на показатели стрессоустойчивости сортов винограда отечественной селекции и продуктивности в научной литературе нет, в связи с чем данное направление обладает новизной. Частое проявление стрессовых погодных условий в период вегетации винограда, а именно недостаточная увлажненность почвы в сочетании с высокой температурой и низкой влажностью воздуха, обуславливает актуальность исследований по изучению показателей стрессоустойчивости, таких как выход электролитов и водный режим при разной нагрузке кустов побегами.

Цель исследований – изучить влияние нагрузки кустов побегами на показатели стрессоустойчивости сортов винограда отечественной селекции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований: растения винограда сортов Владимир, Дмитрий, Курчанский, произрастающие в Темрюкской районе Краснодарского края; формировка – одноплечий горизонтальный кордон со свободным размещением прироста; схема посадки $3,0 \times 1,5$ м; почвы черноземы южные; содержание почвы – черный пар. Варианты нагрузки: сорта Курчанский и Дмитрий – нагрузка 85 000, 95 000 и 105 000 побегов на гектар, сорт Владимир – нагрузка 75 000, 85 000 и 95 000 побегов на гектар. Опыт заложен в 2021 г. Представлены результаты исследований показателей стрессоустойчивости за 2023 г.

Методы исследований: выход электролитов (electrolyte leakage (EL)) – (Dionisio-Sese, 1998) [19]; оводненность тканей, водный дефицит и во-

доудерживающая способность [20]; урожайность [21]. Статистическая обработка и математическая достоверность результатов – по методике Б.А. Доспехова (1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения состояния растений винограда в особо критические стрессовые периоды (июль–август) было проведено определение выхода электролитов в листьях – как показателя нарушения целостности мембран (табл. 1)

В июле–августе температура воздуха выше 30°C наблюдалась в течение 37 дней, из которых 6 раз была выше 35°C , при этом сумма осадков в июне составила 49 мм (что выше нормы на 15,2 мм), а в августе осадков не было (что ниже нормы на 39,6 мм).

Таблица 1

Выход электролитов в зависимости от нагрузки кустов побегами, 2023 г.
Electrolyte yield depending on the load of bushes with shoots, 2023

Сорт	Нагрузка кустов побегами, шт./га	Температура воздуха на уровне кроны куста во время отбора проб листьев, °С		Выход электролитов, %		
		Июль	Август	Июль	Август	Среднее
Владимир	75000	33,7	34,9	19,4	19,8	19,6
	85000			17,5	20,0	18,8
	95000			18,4	19,8	19,1
НСР ₀₅				1,5	0,7	
Дмитрий	85000	33,7	34,9	16,6	22,6	19,6
	95000			17,2	16,7	17,0
	105000			20,4	16,1	18,3
НСР ₀₅				2,8	1,2	
Курчанский	85000	33,7	34,9	20,4	16,6	18,5
	95000			20,6	20,9	20,8
	105000			18,6	22,6	20,6
НСР ₀₅				2,2	2,0	

Выход электролитов у сорта Владимир в августе был выше, чем в июле при всех уровнях нагрузки побегами, что говорит о большем угнетении растений и нарушении целостности мембран, при этом в августе различия между вариантами были незначительными и находились на уровне 19,8–20,0 % (см. табл. 1).

У сорта Дмитрий выход электролитов в июле увеличивался с повышением нагрузки на куст

с 16,6 до 20,4 %. Однако в августе наилучшую стрессоустойчивость показал вариант с максимальной нагрузкой 105 000 побегов на гектар – 16,1 %.

У сорта Курчанский значения выхода электролитов в июле отличались незначительно. В августе, при нарастании стрессовой нагрузки, наименьшие значения показателя отмечены при минимальной

нагрузке кустов побегами с существенными отличиями между вариантами опыта.

Среди всех изучаемых сортов винограда сорт Дмитрий показал наибольшую устойчивость к стрессам летнего периода при средней нагрузке кустов побегами.

Изучение водного режима листьев является информативным лабораторно-полевым методом оценки засухоустойчивости винограда. При ана-

лизе значений показателей оводненности тканей, водного дефицита и водоудерживающей способности можно сделать вывод о степени устойчивости растений к засухе.

Значения оводненности тканей листовой пластины в опытных образцах изменялись в диапазоне от 64,8 до 71,2 % (табл. 2) в зависимости от сорта и нагрузки побегами.

Таблица 2

Водный режим в листьях в зависимости от нагрузки кустов побегами, 2023 г.
Water regime in leaves depending on the load of bushes with shoots, 2023

Сорт	Нагрузка кустов побегами, шт./га	Оводненность тканей, %		Водный дефицит, %	
		Июль	Август	Июль	Август
Владимир	75000	67,4	70,5	4,1	12,0
	85000	69,3	68,6	6,7	8,5
	95000	70,4	68,1	4,1	12,5
НСР ₀₅		1,6	1,1	2,5	3,1
Дмитрий	85000	64,8	69,9	9,2	12,7
	95000	69,7	67,5	5,2	11,5
	105000	70,1	72,5	4,9	10,1
НСР ₀₅		1,0	3,5	0,8	1,8
Курчанский	85000	71,2	67,7	3,7	8,8
	95000	68,1	67,7	3,4	8,8
	105000	66,9	70,0	2,0	4,3
НСР ₀₅		1,7	2,3	1,8	3,3

У сорта Владимир в июле оводненность при увеличении нагрузки повышалась на 1,9–3 %, а при нарастании стрессовых условий в августе тенденция изменилась на противоположную – наибольшей оводненностью обладал образец с минимальной нагрузкой кустов побегами.

В листьях винограда сорта Дмитрий оводненность в зависимости от нагрузки изменялась в июле: повышение нагрузки способствовало увеличению оводненности на 4,9–5,3 %, в более стрессовых условиях августа различия были не существенными.

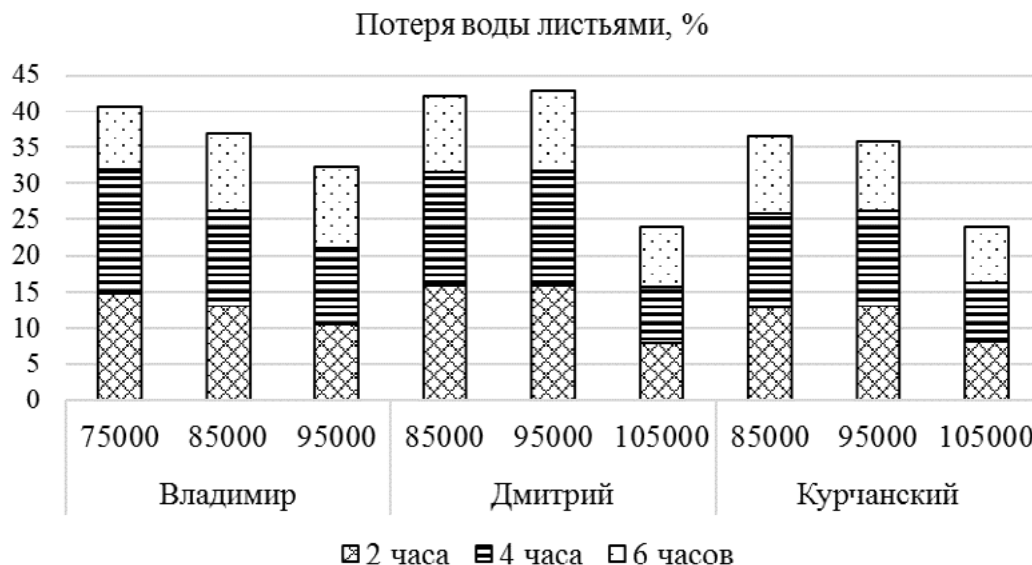
У сорта Курчанский в июле отмечено снижение оводненности листьев при повышении нагрузки на 3,1–4,3 %, в августе достоверных различий между вариантами не установлено.

Водный дефицит, обусловленный недостатком насыщения водой клеток, у исследуемых сортов винограда находился на уровне 2,0–9,2 % в июле и 4,3–12,7 % в августе (табл. 2). Наилучшие показатели отмечены у сорта Курчанский: при

разных вариантах нагрузки водный дефицит не превышал 3,7 % в июле и 8,8 % в августе. Выделился вариант с нагрузкой 85000 сорта Владимир: водный дефицит в июле и августе составлял 6,7 и 8,5 % соответственно. У сорта Дмитрий минимальные значения водного дефицита были при максимальной нагрузке – 4,9 % в июле и 10,1 % в августе.

При обобщении результатов оценки устойчивости сортов многолетних культур к недостатку влаги и высоким температурам очень важно выделить сорта, сочетающие благоприятный водный режим листьев с высокой водоудерживающей способностью, что будет более полно характеризовать показатель засухоустойчивости.

Наибольшая потеря воды у всех изучаемых сортов происходила в первые 2 ч, далее процесс замедлялся (рисунок). За 6 ч потеря воды составляла от 24,0 до 42,8 % в зависимости от сорта и нагрузки кустов побегами.



Потеря воды листьями в зависимости от нагрузки кустов побегами, 2023 г.

Leaf water loss as a function of shoot load on bushes, 2023

У всех изучаемых сортов винограда потеря воды была минимальной при максимальном уровне нагрузки кустов побегами, что говорит о большей водоудерживающей способности листьев и засухоустойчивости.

ВЫВОДЫ

1. При анализе выхода электролитов установлено, что повышение нагрузки кустов побегами снижает данный показатель у сорта Дмитрий в июле, у сорта Курчанский в августе. Влияние нагрузки на выход электролитов у сорта Владимир незначительное.

2. Оводненность тканей листьев изучаемых сортов в среднем в августе была ниже, чем в июле, что обусловлено отсутствием осадков в течение месяца. При нарастании стрессовых условий в августе у сорта Владимир наибольшей оводненностью обладал образец с минимальной

нагрузкой кустов побегами, у сортов Дмитрий и Курчанский – образцы с максимальной нагрузкой.

3. Наименьший водный дефицит отмечен при средней нагрузке у сорта Владимир и максимальной нагрузке у сортов Дмитрий и Курчанский.

4. Высокая водоудерживающая способность отмечена у всех сортов при максимальной нагрузке побегами.

5. Установлена специфическая сортовая реакция растений винограда на изменение нагрузки кустов побегами в стрессовых условиях (недостаточность осадков и высокая температура воздуха). Повышение нагрузки у сортов винограда Дмитрий и Курчанский улучшает показатели стрессоустойчивости, такие как оводненность тканей, водный дефицит и водоудерживающая способность. Сорт Владимир имел наилучшие показатели при минимальной и средней нагрузке кустов побегами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Егоров Е.А., Петров В.С., Панкин М.И. Потенциал продуктивности винограда: проблемы его реализации на промышленных насаждениях юга России // Виноделие и виноградарство. – 2007. – № 3. – С. 7–8.
- Хакимов Ш.У., Ахмедов Т.А., Каландаров Р.Ю. Зависимость продуктивности сорта винограда Победа (Галаба) от внесения удобрений и нагрузки кустов побегами в Гисарской долине // Кишоварз. – 2021. – № 1 (90). – С. 29–33.
- Алейникова Г.Ю., Цику Д.М., Разживина Ю.А. Продуктивность винограда в зависимости от схемы посадки и нагрузки кустов побегами // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2020. – Т. 28. – С. 112–117. – DOI: 10.30679/2587-9847-2020-28-112-117.

4. Сироткина Н.А. Регулирование основных агротехнических показателей роста и развития винограда нагрузкой побегами // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 3 (71). – С. 51–56. – DOI: 10.12737/2073-0462-2023-51-56.
5. Матузок Н.В., Кравченко Р.В., Утка М.А. Влияние нагрузки кустов вегетирующими побегами на урожай и качество винограда сорта Бианка в условиях Центральной зоны Краснодарского края // Colloquium-Journal. – 2019. – № 5–2 (29). – С. 50–51.
6. Майбородин С.В., Гусейнов Ш.Н., Микита М.С. Подбор формировки кустов и оптимальной нормы нагрузки для винограда сорта «Цветочный» // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 12 (126). – DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.80.
7. Crop load regulation to improve yield and quality of Manjari Naveen grape / R.G. Somkuwar, R. Samarth, V.S. Ghule, A.K. Sharma // Indian Journal of Horticulture. – 2020. – Vol. 77 (2). – P. 381. – DOI: 10.5958/0974-0112.2020.00053.5.
8. Bud load management on table grape yield and quality – cv. Sugrathirteen (Midnight Beauty®) / C. Feitosa, A. Mesquita, A. Pavesi [et al.] // Bragantia. – 2018. – No. 77 (4). – DOI: 10.1590/1678-4499.2017332.
9. Research Concerning the Correlation between Crop Load, Leaf Area and Grape Yield in Few Grapevine Varieties / A. Dobrei, L. Dobrei, P. Gheorghe [et al.] // Agriculture and Agricultural Science Procedia. – 2016. – Vol. 10. – P. 222–232. – DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.09.056.
10. Influence of Vine Loads with Fertile Buds on Grape Yield and Quality of Variety ŽIŽAK in Podgorica Vineyard Area / T. Popović, S. Matijašević, D. Raicevic, S. Mijović // Agriculture and Forestry. – 2020. – No. 66. – P. 241–250. – DOI: 10.17707/AgricultForest.66.3.20.
11. The Impact of Bud Load on Berry Quality, Yield, and Cluster Compactness in H4 Strain Grapevine / A. Al-Saif, M. Fahmy, G. Baghdady [et al.] // Agronomy. – 2023. – No. 13(9):2431. – P. 1–19. – DOI: 2431. 10.3390/agronomy13092431.
12. Roberts R.W., Reynolds A.G., Savigny C.D. Composition and wine sensory attributes of Chardonnay Musque from different viticultural treatments: Implications for a winegrape quality model // International Journal of Fruit Science. – 2007. – Vol. 7, No.2. – P. 57–83.
13. Emurlova F., Yoncheva T. Impact of summer green pruning on the phenolic content of grapes from Cabernet Franc cultivar // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2023. – P. 703–708.
14. Сироткина Н.А. Урожайность и качество винограда при различных нормах нагрузки // Русский виноград. – 2021. – Т. 15. – С. 52–56. – DOI: 10.32904/2712-8245-2021-15-52-56.
15. Влияние нагрузки куста побегами на качество винограда и вина / Н.А. Сироткина, Т.В. Гапонова, Н.Н. Калмыкова [и др.] // Магарач. Виноградарство и виноделие. – 2020. – Т. 22, № 4(114). – С. 326–329. – DOI: 10.35547/IM.2020.47.77.007.
16. Алейникова Г.Ю., Сегет О.Л., Митрофанова Е.А. Продуктивность, качество винограда и вина из сорта Гранатовый при разной нагрузке побегами // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2023. – № 83(5). – С. 107–115. – DOI: 10.30679/2219-5335-2023-5-83-107-115.
17. Влияние межкустового расстояния и нагрузки кустов винограда Рислинг рейнский побегами на продуктивность и качество вина / А.А. Мarmorштейн, Г.Ю. Алейникова, Д.М. Цику [и др.] // Русский виноград. – 2022. – Т. 20. – С. 41–50. – DOI: 10.32904/2712-8245-2022-20-41-50.
18. Влияние схемы посадки и нагрузки виноградных растений сорта Рислинг рейнский побегами на физико-химические показатели сула и вина / А.А. Храпов, А.А. Мarmorштейн, Г.Ю. Алейникова [и др.] // Русский виноград. – 2022. – Т. 20. – С. 70–76. – DOI: 0.32904/2712-8245-2022-20-70-76.
19. Dionisio-Sese M.L., Tobita S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress // Plant science. – 1998. – No. 135. – P. 1–9.
20. Еремин Г.В., Гасанова Т.А. Изучение жаростойкости и засухоустойчивости сортов // Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 1999. – С. 80–85.
21. Петров В.С., Алейникова Г.Ю., Мarmorштейн А.А. Методы исследований в виноградарстве: Учеб. пособие. – Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2021. – 147 с.

REFERENCES

1. Egorov E.A., Petrov V.S., Pankin M.I., *Vinodelie i vinogradarstvo*, 2007, No. 3, pp. 7–8. (In Russ.)
2. Khakimov Sh.U., Akhmedov T.A., Kalandarov R.Yu., *Kishovarz*, 2021, No. 1(90), pp. 29–33. (In Russ.)
3. Aleinikova G.Yu., Tsiku D.M., Razzhivina Yu.A., *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*, 2020, Vol. 28, pp. 112–117, DOI: 10.30679/2587-9847-2020-28-112-117. (In Russ.)
4. Sirotkina N.A., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, Vol. 18, No. 3(71), pp. 51–56, DOI: 10.12737/2073-0462-2023-51–56. (In Russ.)

5. Matuzok N.V., Kravchenko R.V., Utko M.A., *Colloquium-Journal*, 2019, No. 5–2(29), pp. 50–51. (In Russ.)
6. Maiborodin S.V., Guseinov Sh.N., Mikita M.S., *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2022, No. 12(126), pp. 1–4, DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.80. (In Russ.)
7. Somkuwar R.G., Samarth R., Ghule V.S., Sharma A.K., Crop load regulation to improve yield and quality of Manjari Naveen grape, *Indian Journal of Horticulture*, 2020, No. 77(2), pp. 381–383, DOI: 10.5958/0974-0112.2020.00053.5.
8. Feitosa C., Mesquita A., Pavesi A., Ferreira K., Feitosa C., Bud load management on table grape yield and quality – cv. Sugrathirteen (Midnight Beauty®), *Bragantia*, 2018, No. 77(4), DOI: 10.1590/1678-4499.2017332.
9. Dobrei A., Dobrei L., Gheorghe P., Danci M., Nistor E., Camen D., Mălăescu M., Sala F., Research Concerning the Correlation between Crop Load, Leaf Area and Grape Yield in Few Grapevine Varieties, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2016, Vol. 10, pp. 222–232, DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.09.056.
10. Popović T., Matijašević S., Raicevic D., Mijović S., Influence of Vine Loads with Fertile Buds on Grape Yield and Quality of Variety ŽIŽAK in Podgorica Vineyard Area, *Agriculture and Forestry*, 2020, No. 66, pp. 241–250, DOI: 10.17707/AgricultForest.66.3.20.
11. Al-Saif A., Fahmy M., Baghdady G., El-Razik A., Kabsha E., Farouk M., Hamdy A., The Impact of Bud Load on Berry Quality, Yield, and Cluster Compactness in H4 Strain Grapevines, *Agronomy*, 2023, No. 13(9):2431, pp. 1–19, DOI: 2431. 10.3390/agronomy13092431.
12. Roberts R.W., Reynolds A.G., Savigny C.D., Composition and wine sensory attributes of Chardonnay Musque from different viticultural treatments: Implications for a winegrape quality model, *International Journal of Fruit Science*, 2007, Vol. 7, No. 2, pp. 57–83.
13. Emurlova F., Yoncheva T., Impact of summer green pruning on the phenolic content of grapes from Cabernet Franc cultivar, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2023, pp. 703–708.
14. Sirotkina N.A., *Russkii vinograd*, 2021, Vol. 15, pp. 52–56, DOI: 10.32904/2712-8245-2021-15-52-56 (In Russ.)
15. Sirotkina N.A., Gaponova T.V., Kalmykova N.N., Kalmykova E.N., *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie*, 2020, Vol. 22, No. 4(114), pp. 326–329, DOI: 10.35547/IM.2020.47.77.007 (In Russ.)
16. Aleinikova G.Yu., Seget O.L., Mitrofanova E.A., *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii*, 2023, No. 83(5), pp. 107–115, DOI: 10.30679/2219-5335-2023-5-83-107-115 (In Russ.)
17. Marmorshtein A.A., Aleinikova G.Yu., Tsiku D.M., Petrov V.S., *Russkii vinograd*, 2022, Vol. 20, pp. 41–50, DOI: 10.32904/2712-8245-2022-20-41-50 (In Russ.)
18. Khrapov A.A., Marmorshtein A.A., Aleinikova G.Yu., Tsiku D.M., Ageeva N.M., *Russkii vinograd*, 2022, Vol. 20, pp. 70–76, DOI: 10.32904/2712-8245-2022-20-70-76 (In Russ.)
19. Dionisio-Sese M.L., Tobita S., Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress, *Plant science*, 1998, No. 135, pp. 1–9.
20. Eremin G.V., Gasanova T.A., *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* (The program and methodology of variety studies of fruit, berry and nut crops), Orel: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur, 1999, p. 80–85.
21. Petrov V.S., Aleynikova G.Yu., Marmorshteyn A.A., *Metody issledovaniy v vinogradarstve* (Research methods in viticulture). Krasnodar: FGBNU SKFNTsSVV, 2021. – 147 p.

Информация об авторе:

Г.Ю. Алейникова, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the author:

G.Y. Aleynikova, Candidate of Agricultural Sciences

Вклад автора:

Автор сделал эквивалентный вклад в подготовку публикации. Автор заявляет об отсутствии интересов.

ПРИМЕНЕНИЕ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* ПРИ РАЗМНОЖЕНИИ ЖИМОЛОСТИ ОДРЕВЕСНЕВШИМИ ЧЕРЕНКАМИ

А.А. Беляев, Т.В. Шпатова, С.В. Неволин, Т.В. Гаврилец

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

E-mail: belyaev.an.ar@gmail.com

Для цитирования: Применение штаммов бактерий рода *Bacillus* при размножении жимолости одревесневшими черенками / А.А. Беляев, Т.В. Шпатова, С.В. Неволин, Т.В. Гаврилец // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 12–20. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-12-20.

Ключевые слова: бактериальные штаммы, жимолость, вегетативное размножение, одревесневшие черенки, укоренение, ростостимулирующее действие, качество посадочного материала.

Реферат. Исследования проведены в трехлетних производственных экспериментах в питомнике сельскохозяйственного производственного кооператива (СХПК) «Сады Барабы» Новосибирской области с целью оценки эффективности действия штаммов бактерий рода *Bacillus* при получении саженцев жимолости из одревесневших черенков. Доказано наиболее эффективное стимулирование укоренения одревесневших черенков жимолости при предпосадочной обработке штаммами *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов (экспериментальный биопрепарат Фитоп 8.67) в концентрациях 1×10^5 КОЕ/мл до абсолютного уровня 36,9–40,5 %, выше на 20,3–32,1 % относительно контроля. Все изучаемые бактериальные штаммы достоверно стимулировали увеличение биомассы саженцев на 17,6–42,6 % относительно контроля, до уровня 11,7–14,2 г/растение. Наиболее стабильно в годы наблюдения действовали штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и смесь трех штаммов, у которых можно констатировать наибольшее ростостимулирующее влияние на растения жимолости. Увеличение товарного качества саженцев (I и II сорта) доказано при использовании предпосадочной обработки штаммами *B. subtilis* ВКПМ В-10641, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов – на 32,5–35,0 % относительно контроля, до абсолютного уровня 70,7–72,0 %. Наибольший выход стандартных саженцев, в среднем за 3 года, доказан при предпосадочной обработке штаммом *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 – 777,4 саженцев/вариант, который следует признать наиболее перспективным штаммом для применения при получении саженцев из одревесневших черенков жимолости.

APPLICATION OF *BACILLUS* BACTERIAL STRAINS IN THE PROPAGATION OF HONEYSUCKLE BY WOODY CUTTINGS

A.A. Belyaev, T.V. Shpatova, S.V. Nevolin, T.V. Gavrillets

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: belyaev.an.ar@gmail.com

Keywords: bacterial strains, honeysuckle, vegetative propagation, lignified cuttings, rooting, growth-stimulating effect, quality of planting material.

Abstract. The studies were conducted in three-year production experiments in the nursery of the agricultural production cooperative (APC) “Sady Baraby” in the Novosibirsk region to assess the effectiveness of the *Bacillus* bacteria strains in obtaining honeysuckle seedlings from lignified cuttings. The most effective stimulation of rooting of lignified honeysuckle cuttings was proven with pre-planting treatment with the strains *B. amyloliquefaciens* VKPM B-10642, *B. licheniformis* VKPM B-10562 and a mixture of 3 strains (experimental biopreparation Fitop 8.67) in concentrations of 1×10^5 CFU/ml to an absolute level of 36.9–40.5 %, 20.3–32.1 % higher than the control. All the studied bacterial strains reliably stimulated the increase in seedling biomass by 17.6–42.6% relative to the control, to a level of 11.7–14.2 g/plant. The most stable in the years of observation were the strain *B. amyloliquefaciens* VKPM B-10642 and a mixture of three strains, which can be stated to have the greatest growth-stimulating effect on honeysuckle plants. An increase in the commercial quality of seedlings (I and II grades) was proven when using pre-planting treatment with the strains *B. subtilis* VKPM B-10641, *B. licheniformis* VKPM B-10562 and a mixture of three strains - by 32.5–35.0 % relative to the control, to an absolute level of 70.7–72.0 %. The highest yield of standard seedlings, on average over 3 years, was demonstrated with pre-planting treatment

with the *B. licheniformis* strain VKPM B-10562 – 777.4 seedlings/variant, which should be recognized as the most promising strain for use in obtaining seedlings from lignified honeysuckle cuttings.

Жимолость является ценной ягодной культурой, популярность которой постоянно возрастает в промышленном и приусадебном садоводстве. В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений Российской Федерации зарегистрировано 136 сортов жимолости [1], практически все они пригодны для выращивания в условиях региона Западной Сибири. Для удовлетворения потребности производства необходимо увеличивать производство посадочного материала жимолости. Данная культура в питомниках размножается одревесневшими черенками, а также зеленым черенкованием. Кроме того, в приусадебном садоводстве возможно размножение жимолости отводками [2].

Для повышения эффективности технологий размножения жимолости в промышленных питомниках используется ряд химических стимуляторов укоренения и роста, в частности, на основе гормонов роста растений: 1Н-индолил-3-этановой кислоты; калиевой соли 3-индолилуксусной кислоты. Перечисленные вещества используются для предварительного замачивания зеленых черенков в течение 10–16 ч, одревесневших черенков – в течение 16–20 ч перед посадкой. Аналогичным образом действует стимулятор укоренения и роста 4(индол-3ил) масляная кислота, в раствор или суспензию которой следует обмакивать предварительно увлажненный базальный срез черенка. Кроме того, для укоренения зеленых черенков ягодных культур (в том числе жимолости) рекомендовано предварительное их замачивание в смеси аминокислот L-аланин + L-глутаминовая кислота или в препарате из смеси веществ (поли-бета-гидроксимасляная кислота + магний сернокислый + калий фосфорнокислый + калий азотнокислый + карбамид) либо в препарате на основе продуктов метаболизма эндомитного гриба *Mycelium radialis* var. *ledum* [1].

Известно, что многие биологические препараты на основе почвенных сапротрофных бактерий рода *Bacillus* обладают полифункциональным действием, включающим антагонистическое подавление фитопатогенных организмов, а также антистрессовое и ростостимулирующее действие на культурные растения [3–5]. Однако в существующих рекомендациях они используются в качестве биофунгицидов на различных культурных растениях, в числе которых жимолость не упоминается [1].

Антистрессовое действие штаммов сапротрофных бактерий рода *Bacillus* может быть обусловлено их комплексным влиянием на растения и микрофлору почвы вследствие разложения органических веществ, повышения доступности элементов питания, выделения метаболитов, стимулирующих рост растений (фитогормоны), антагонистически действующих на фитопатогенов (антибиотики), а также индуцирующих у растений резистентность к фитопатогенам [6–9]. В наших исследованиях доказано повышение эффективности в размножении черной смородины при предпосадочном замачивании одревесневших черенков в суспензиях бактерий рода *Bacillus*. В связи с наличием полифункционального действия на растения и микроорганизмы штаммы бактерий рода *Bacillus* представляют интерес для стимулирования вегетативного размножения жимолости [10, 11].

Цель исследования – оценка эффективности стимулирования адаптации, роста и качества посадочного материала под действием штаммов бактерий рода *Bacillus* при получении саженцев жимолости из одревесневших черенков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в 2014–2016 гг. в питомнике сельскохозяйственного производственного кооператива (СХПК) «Сады Барабы» Новосибирской области. Хозяйство расположено в подзоне северной лесостепи Барабинской низменности, почва опытного участка – чернозем выщелоченный, содержание подвижного фосфора P_2O_5 (по Чирикову) – 150 мг/кг, содержание обменного калия K_2O (по Чирикову) более 180 мг/кг, содержание гумуса (по Тюрину в модификации ЦИНАО) 7 %, степень кислотности составляет 6,0 (рН солевой вытяжки по методу ЦИНАО), предшественник – сидеральный пар (озимая рожь). Метеоусловия 2014 г. были близки к среднегодовой норме, гидротермический коэффициент (ГТК по Г.Т. Селянинову) составил 1,0; 2016 г. – был жарким и засушливым (ГТК = 0,8). Период вегетации 2015 г. выдался теплым, с избытком осадков (ГТК = 1,4).

Объектами исследования служили укореняющиеся одревесневшие черенки жимолости сорта Бакчарский великан; бактериальные штаммы ми-

кроорганизмов видов *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn, *Bacillus amyloliquefaciens* (Fukumoto) Priest et al., *Bacillus licheniformis* (Weigmann) Chester из коллекции культур разработчика препаратов ООО НПФ «Исследовательский центр» (наукоград Кольцово, Новосибирская область): *B. subtilis* ВКПМ В-10641 (экспериментальный биопрепарат Фитоп 1.68); *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 (Фитоп 3.69); *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 (Фитоп 14.72); равнопропорциональная смесь штаммов *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643, *B. subtilis* ВКПМ В-10641 (Фитоп 8.67); препарат Гетероауксин П (производитель: ЗАО «ТПК Техноэкспорт»), применяемый в СХПК «Сады Барабы» для укоренения саженцев.

Производственный опыт при посадке на укоренение одревесневших черенков жимолости включал в схему четыре варианта с обработкой черенков штаммами биоагентов, а также один эталонный вариант с препаратом Гетероауксин П и один контрольный вариант.

Схема опыта:

1. Контроль (без внесения штаммов).
2. Гетероауксин П, 0,0025 % (0,25 г на 10 л воды).
3. Фитоп 8.67 (смесь трех штаммов: *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643, *B. subtilis* ВКПМ В-10641).
4. Фитоп 3.69 (штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642).
5. Фитоп 1.68 (*B. subtilis* ВКПМ В-10641).
6. Фитоп 14.72 (*B. licheniformis* ВКПМ В-10562).

Общая площадь под опытом – 0,04 га. Сроки посадки черенков жимолости в опыте ежегодно

в 1-й декаде мая. Концентрация применяемых штаммов в опытных вариантах составляла 1×10^5 КОЕ/мл. Расход штаммов биоагентов – по 3,0 мл на вариант. Количество обрабатываемых растений – 2700 шт. на один вариант. Способ нанесения препаратов – предпосадочное замачивание черенков в растворах соответствующих препаратов с экспозицией 1 сут. Площадь под опытом составляла 390 м², площадь 1 варианта 78 м². Схема посадки черенков – 1,3 м × (3 строки × 0,13 м × 0,07 м) (45 черенков на 1,3 м² = 45 черенков на 1 пог. м ряда). Поверхность почвы в рядах была мульчирована черной полиэтиленовой пленкой. Опытный участок орошался при помощи системы капельного полива марки Аква. Суточный расход воды для полива составлял 10000 л/га.

При закладке опыта и проведении учетов использовали известные методики [12, 13]. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена методами дисперсионного анализа [14] с использованием пакета прикладных компьютерных программ SNEDECOR для Windows [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предпосадочную обработку высаживаемых для укоренения одревесневших черенков жимолости сорта Бакчарский великан изучаемыми препаратами проводили 9 мая 2014 г., 3 мая 2015 г. и 7 мая 2016 г. Черенки высаживали на следующий день после обработки.

Укореняемость черенков. В среднем укореняемость черенков за три года исследований составила 30,7 % от числа высаженных растений (табл. 1), варьируя по годам от 24,9 до 36,9 %.

Таблица 1

Влияние предпосадочной обработки черенков жимолости бактериальными штаммами на их укореняемость и длину надземной части саженцев (учеты 27 августа – 1 сентября 2014–2016 гг., СХПК «Сады Барабы»)

The effect of pre-planting treatment of honeysuckle cuttings with bacterial strains on their rooting and the length of the above-ground part of seedlings (counts from August 27 to September 1, 2014–2016, agricultural production cooperative “Sady Baraby”)

Вариант	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средние за 3 года	Разность с контролем	Увеличение к контролю, %
1	2	3	4	5	6	7
Укореняемость черенков, %						
Контроль	36,9	30,2	24,9	30,7	–	–
Гетероауксин П, 0,0025 %	43,8*	37,5*	27,1	36,1*	5,5	17,8
<i>B. amyloliquefaciens</i> ВКПМ В-10642	47,2*	44,0*	26,7	39,3*	8,6	28,1

1	2	3	4	5	6	7
B. subtilis ВКПМ В-10641	36,0	38,2*	27,6	33,9	3,3	10,6
B. licheniformis ВКПМ В-10562	46,9*	42,7*	32,0*	40,5*	9,9	32,1
Смесь трех штаммов	47,6*	32,4	30,7*	36,9*	6,2	20,3
НСР ₀₅ по вариантам	4,2				—	—
НСР ₀₅ по годам	3,0				—	—
Длина надземной части саженцев, см						
Контроль	28,0	24,1	29,7	27,2	—	—
Гетероауксин П, 0,0025 %	35,4*	30,2*	31,0	32,2*	4,9	18,1
B. amyloliquefaciens ВКПМ В-10642	33,4*	28,7*	42,1*	34,7*	7,5	27,4
B. subtilis ВКПМ В-10641	34,4*	30,2*	37,4*	34,0*	6,8	24,8
B. licheniformis ВКПМ В-10562	34,9*	27,8*	36,4*	33,0*	5,8	21,2
Смесь трех штаммов	38,5*	40,2*	35,6*	38,1*	10,8	39,8
НСР ₀₅ по вариантам	2,8				—	—
НСР ₀₅ по годам	2,0				—	—

Примечание. Здесь и далее: * По вариантам статистически достоверно выше контроля ($P < 0,05$).

Стимулирующие эффекты во влиянии на укореняемость бактериальных штаммов статистически достоверно ($P < 0,05$) доказаны в вариантах с обработкой *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов до уровня 36,9–40,5 %, на 20,3–32,1 % выше относительно контроля, что было на одинаковом уровне с эталонным вариантом с Гетероауксином, либо достоверно превосходило в варианте с *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 действие эталона. Стимулирующее действие штамма *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 было наиболее стабильным во все 3 года исследования. Данный штамм обладает наиболее выраженными свойствами, стимулирующими адаптацию растений жимолости.

Длина надземной части саженцев. В контрольном варианте длина надземной системы саженцев по окончании 1-го года жизни растений составила в среднем за три года 27,2 см, варьируя от 24,1 см в 2015 г. до 29,7 см в 2016 г. Достоверное стимулирующее влияние на линейный рост оказывали все изучаемые бактериальные штаммы, увеличившие длину надземной части до уровня 33,0–38,1 см (на 21,2–39,8 % относительно контроля). Наибольший стимулирующий эффект достигнут в варианте с предпосадочной

обработкой смесью трёх штаммов (препарат Фитоп 8.67), где в среднем за 3 года увеличение длины растений составило 10,8 см (39,8 % относительно контроля) и достоверно превысило стимулирующее действие эталонного варианта с Гетероауксином П.

Длина корней саженцев. В течение вегетации саженцы в контрольном варианте формировали корневую систему в среднем за 3 года достигавшую в длину 13,3 см (табл. 2), варьиравшую от 12,0 см в 2015 г. до 15,6 см в 2016 г. Все бактериальные штаммы достоверно стимулировали рост корней в длину на 20,4–40,9 % до уровня 16,0–18,8 см, что было на одинаковом уровне эффективности с эталонным вариантом. Единственным вариантом статистически достоверно ($P < 0,05$) более эффективным, чем эталон Гетероауксин П, оказался *B. licheniformis* ВКПМ В-10562.

Количество побегов у одного саженца. В среднем за три года исследования количество побегов у контрольных растений составило 1,69 побегов/растение, несущественно изменяясь в отдельные годы. Статистически достоверное стимулирование ветвления до уровня 1,99–2,03 побегов/растение (на 17,3–20,1 %) доказано в вариантах со штаммами *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642

Таблица 2

Влияние предпосадочной обработки черенков жимолости бактериальными штаммами на длину корней и количество побегов у 1 саженца (учеты 27 августа – 1 сентября 2014–2016 гг., СХПК «Сады Барабы»)
The effect of pre-planting treatment of honeysuckle cuttings with bacterial strains on the length of roots and the number of shoots in 1 seedling (counts from August 27 to September 1, 2014–2016, agricultural production cooperative “Sady Baraby”)

Вариант	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средние за 3 года	Разность с контролем	Увеличение к контролю, %
Длина корней, см						
Контроль	12,4	12,0	15,6	13,3	—	—
Гетероауксин П, 0,0025 %	16,0*	18,6*	17,1*	17,2*	3,9	29,1
<i>B. amyloliquefaciens</i> ВКПМ В-10642	14,0*	15,9*	18,3*	16,0*	2,7	20,4
<i>B. subtilis</i> ВКПМ В-10641	14,4*	24,4*	13,2	17,3*	4,0	29,8
<i>B. licheniformis</i> ВКПМ В-10562	15,8*	22,6*	17,9*	18,8*	5,4	40,9
Смесь трех штаммов	15,2*	18,0*	20,7*	17,9*	4,6	34,6
НСР ₀₅ по вариантам	1,4				-	-
НСР ₀₅ по годам	1,0				-	-
Количество побегов у одного саженца, побегов/растение						
Контроль	1,76	1,72	1,60	1,69	—	—
Гетероауксин П, 0,0025 %	2,04*	1,84	1,65	1,84	0,15	8,9
<i>B. amyloliquefaciens</i> ВКПМ В-10642	2,28*	2,32*	1,50	2,03*	0,34	20,1
<i>B. subtilis</i> ВКПМ В-10641	2,12*	2,04*	1,80	1,99*	0,29	17,3
<i>B. licheniformis</i> ВКПМ В-10562	2,04*	1,44	2,05*	1,84	0,15	8,9
Смесь трех штаммов	2,00*	1,68	1,95*	1,88	0,18	10,8
НСР ₀₅ по вариантам	0,22				—	—
НСР ₀₅ по годам	0,15				—	—

и *B. subtilis* ВКПМ В-10641. В остальных вариантах наблюдались слабые тенденции стимулирования.

Средняя биомасса одного саженца. В конце вегетации саженцы в контрольном варианте в среднем за три года исследований имели биомассу 9,9 г/растение (табл. 3). Минимальная средняя биомасса формировалась в 2014 г. – 6,6 г/растение, максимальная – в 2015 г. – 13,7 г/растение. Все изучаемые бактериальные штаммы достоверно стимулировали увеличение биомассы саженцев на 3-летнем интервале наблюдений на 17,6–42,6 %, до уровня 11,7–14,2 г/растение. Наиболее стабильно по трем годам наблюдения

действовали штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и смесь трех штаммов. Единственным вариантом статистически достоверно ($P < 0,05$) более эффективным, чем эталон Гетероауксин П, оказалась смесь трех штаммов, при использовании которой увеличение средней биомассы составило 4,2 г/растение (увеличение на 42,6 % относительно контроля).

Таким образом, можно констатировать, что наиболее выраженные ростостимулирующие свойства для растений жимолости проявляли штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и смесь трех штаммов (препарат Фитоп 8.67).

Таблица 3

Влияние предпосадочной обработки черенков жимолости бактериальными штаммами на среднюю биомассу одного саженца и товарное качество саженцев (учеты 27 августа – 1 сентября 2014–2016 гг., СХПК «Сады Барабы»)

The effect of pre-planting treatment of honeysuckle cuttings with bacterial strains on the average biomass of 1 seedling and the commercial quality of seedlings (counts from August 27 to September 1, 2014–2016, agricultural production cooperative “Sady Baraby”)

Вариант	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средние за 3 года	Разность с контролем	Увеличение к контролю, %
Средняя биомасса одного саженца, г/растение						
Контроль	6,6	13,7	9,6	9,9	—	—
Гетероауксин П, 0,0025 %	10,2*	15,8*	10,5	12,1*	2,2	22,3
<i>B. amyloliquefaciens</i> ВКПМ В-10642	11,1*	14,9*	13,6*	13,2*	3,3	32,9
<i>B. subtilis</i> ВКПМ В-10641	10,5*	17,2*	10,1	12,6*	2,7	26,8
<i>B. licheniformis</i> ВКПМ В-10562	8,7*	12,4	14,0*	11,7*	1,7	17,6
Смесь трех штаммов	9,7*	20,6*	12,2*	14,2*	4,2	42,6
НСР ₀₅ по вариантам	1,2				—	—
НСР ₀₅ по годам	0,9				—	—
Товарное качество саженцев, % стандартных саженцев I и II сорта						
Контроль	56,0	52,0	52,0	53,3	—	—
Гетероауксин П, 0,0025 %	72,0*	48,0	64,0*	61,3	8,0	15,0
<i>B. amyloliquefaciens</i> ВКПМ В-10642	60,0	52,0	72,0*	61,3	8,0	15,0
<i>B. subtilis</i> ВКПМ В-10641	72,0*	68,0*	76,0*	72,0*	18,7	35,0
<i>B. licheniformis</i> ВКПМ В-10562	72,0*	64,0*	76,0*	70,7*	17,3	32,5
Смесь трех штаммов	72,0*	72,0*	68,0*	70,7*	17,3	32,5
НСР ₀₅ по вариантам	9,7				—	—
НСР ₀₅ по годам	6,9				—	—

Товарное качество саженцев. Контрольные растения в среднем за 3 года наблюдений формировали по 53,3 % саженцев I и II сорта от общего количества, несущественно изменяясь по годам. Достоверное увеличение качества саженцев доказано в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. subtilis* ВКПМ В-10641, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов на 32,5–35,0 % относительно контроля, до абсолютного уровня 70,7–72,0 %, с наиболее стабильным действием по трем годам наблюдения. При этом статистически достоверно доказана более высокая эффективность стимулирующего

действия в варианте со штаммом *B. subtilis* ВКПМ В-10641 по сравнению с эталонным вариантом Гетероауксином П. Остальная часть саженцев, не вошедшая в число стандартных, требует дополнительного доращивания для повышения качества и последующей реализации.

Выход стандартных саженцев. С учетом полученных в опыте показателей укореняемости черенков и товарного качества выход саженцев с площади под каждым вариантом (78 м²) составил в контрольном варианте, в среднем за три года исследования 446,2 саженцев/вариант (табл. 4), несущественно варьируя по годам.

Таблица 4

Влияние предпосадочной обработки черенков жимолости бактериальными штаммами на выход стандартных саженцев с 1 варианта (78 м²) в 1 год жизни плантации (саженцев/вариант, учеты 27 августа – 1 сентября 2014–2016 гг., СХПК «Сады Барабы»)

The effect of pre-planting treatment of honeysuckle cuttings with bacterial strains on the yield of standard seedlings from 1 variant (78 m²) in 1 year of plantation life (seedlings/variant, counts from August 27 to September 1, 2014–2016, SPK “Sady Baraby”)

Вариант	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средние за 3 года	Разность с контролем	Увеличение к контролю, %
Контроль	561,0	427,2	350,4	446,2	–	–
Гетероауксин П, 0,0025 %	855,1*	486,1	499,2*	613,5*	167,3	37,5
<i>B. amyloliquefaciens</i> ВКПМ В-10642	767,5*	612,0*	525,6*	635,0*	188,9	42,3
<i>B. subtilis</i> ВКПМ В-10641	702,8*	710,4*	566,4*	659,9*	213,7	47,9
<i>B. licheniformis</i> ВКПМ В-10562	916,2*	734,4*	681,6*	777,4*	331,2	74,2
Смесь трех штаммов	934,4*	631,2*	571,2*	712,3*	266,1	59,6
НСР ₀₅ по вариантам	139,6				–	–
НСР ₀₅ по годам	98,7				–	–

Все изучаемые бактериальные штаммы достоверно ($P < 0,05$) стимулировали формирование количества стандартных саженцев выше относительно контроля на 42,3–74,2 %, до уровня 635,0–777,4 саженцев/вариант. Эффекты стимулирования были либо на одинаковом уровне с эталоном Гетероауксином П, либо достоверно превышали эталон, как в варианте со штаммом *B. licheniformis* ВКПМ В-10562, который следует признать наиболее перспективным штаммом для применения при получении саженцев из одревесневших черенков жимолости.

ВЫВОДЫ

1. В 3-летних производственных экспериментах доказано наиболее эффективное стимулирование укоренения одревесневших черенков жимолости в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов в рабочих концентрациях 1×10^5 КОЕ/мл

до абсолютного уровня 36,9–40,5 %, выше на 20,3–32,1 % относительно контроля.

2. Все изучаемые бактериальные штаммы достоверно стимулировали увеличение биомассы саженцев на 17,6–42,6 % относительно контроля, до уровня 11,7–14,2 г/растение. Наиболее стабильно по трем годам наблюдения действовал штамм *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и смесь трех штаммов, у которых можно констатировать наибольшее ростостимулирующее влияние на растения жимолости.

3. Увеличение товарного качества саженцев (I и II сорта) доказано в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. subtilis* ВКПМ В-10641, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 и смесью трех штаммов на 32,5–35,0 % относительно контроля, до абсолютного уровня 70,7–72,0 %. Наибольший выход стандартных саженцев в среднем за три года доказан в варианте с предпосадочной обработкой штаммом *B. licheniformis* ВКПМ В-10562: 777,4 саженцев/вариант, который следует признать наиболее перспективным для применения при получении саженцев из одревесневших черенков жимолости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Ч. I. Пестициды. Министерство сельского хозяйства РФ. – М., 2023. – 945 с.
2. Петруша Е.Н., Крыкова А.С. Сравнительное изучение способов размножения жимолости в условиях Камчатского края // Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. – № 2 (46). – С. 39–43.

3. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений: монография / М.В. Штерншис, А.А. Беляев, В.П. Цветкова, Т.В. Шпатова, А.А. Леляк, С.А. Бахвалов; М-во сельского хозяйства РФ, Новосибирский государственный аграрный ун-т. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2016. – 233 с.
4. Рябчинская Т.А., Зими́на Т.В. Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // Агрохимия. – 2017. – № 12. – С. 62–92.
5. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // Plant Soil. – 2014. – Vol. 383(1). – P. 3–41.
6. Kim P.I. Production of biosurfactant lipopeptides iturin A, fengycin and surfactin A from *Bacillus subtilis* CMB32 for control of *Colletotrichum gloeosporioides* // J. Microbial Biotechnology. – 2010. – Vol. 20. – P. 138–145.
7. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55, № 3. – С. 421–438.
8. Perez-Garsia A., Romero D., Vicentedei A. Plant protection and growth stimulation by microorganisms // Curr Opin Biotechnol. – 2011. – Vol. 22(2). – P. 187–193.
9. Saraf M., Pandya U., Thakkar A. Role of allelochemicals in plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens // Microb. Res. – 2014. – Vol. 169. – P. 18–29.
10. Влияние штаммов бактерий рода *Bacillus* на адаптацию, рост и вегетативное размножение садовой земляники / А.А. Беляев, Т.В. Шпатова, М.В. Штерншис, и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 3. – С. 16–19.
11. Влияние штаммов бактерий рода *Bacillus* на размножение черной смородины одревесневшими черенками / А.А. Беляев, М.В. Штерншис, Т.В. Шпатова, В.И. Лутов, А.А. Леляк, А.И. Леляк, В.В. Юдушкин // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 1. – С. 38–40.
12. Производство и сертификация посадочного материала плодовых, годных культур и винограда в России. Контроль качества. Ч. 1. Ягодные культуры. – М.: ВСТИСП, 2009. – 164 с.
13. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: Изд-во ВНИИСПК, 1999. – 606 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., 2013. – 349 с.
15. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. – 2-е изд. – Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.

REFERENCES

1. Gosudarstvennyy katalog pesticidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniju na territorii Rossijskoj Federacii. Part I. Pesticidy (State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation. Part I. Pesticides), Ministerstvo sel'skogo hozjajstva RF, Moscow, 2023, 945 p. (In Russ.)
2. Petrusha E.N., Krykova A.S., Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2018, No. 2 (46), pp. 39–43. (In Russ.)
3. Shternshis M.V., Belyaev A.A., Cvetkova V.P., Shpatova T.V., Leljak A.A., Bahvalov S.A., Biopreparaty na osnove bakterij roda *Bacillus* dlja upravlenija zdorov'em rastenij (Bacillus-based biological products for plant health management), Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2016, 233 p.
4. Ryabchinskaja T.A., Zimina T.V., Agrokhimija, 2017, No. 12, pp. 62–92. (In Russ.)
5. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W., Agricultural uses of plant biostimulants, Plant Soil., 2014, Vol. 383(1), pp. 3–41.
6. Kim P.I., Production of biosurfactant lipopeptides iturin A, fengycin and surfactin A from *Bacillus subtilis* CMB32 for control of *Colletotrichum gloeosporioides*, J. Microbial Biotechnology, 2010, Vol. 20, pp. 138–145.
7. Pavljushin V.A., Novikova I.I., Bojkova I.V., Sel'skhozjajstvennaja biologija, 2020, Vol. 55, No. 3, pp. 421–438. (In Russ.)
8. Perez-Garsia A., Romero D., Vicentedei A., Plant protection and growth stimulation by microorganisms, Curr Opinion Biotechnol., 2011, Vol. 22(2), pp. 187–193.
9. Saraf M., Pandya U., Thakkar A., Role of allelochemicals in plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens, Microb. Res., 2014, Vol. 169, pp. 18–29.
10. Beljaev A.A., Shternshis M.V., Shpatova T.V., Lutov V.I., Leljak A.A., Leljak A.I., Judushkin V.V., Dostizhenija nauki i tehniki APK, 2012, No. 3, pp. 16–19. (In Russ.)
11. Beljaev A.A., Shternshis M.V., Shpatova T.V., Lutov V.I., Leljak A.A., Leljak A.I., Judushkin V.V., Dostizhenija nauki i tehniki APK, 2014, No. 1, pp. 38–40. (In Russ.)
12. Proizvodstvo i sertifikacija posadochnogo materiala plodovyh, godnyh kul'tur i vinograda v Rossii. Kontrol' kachestva. Part 1. Jagodnye kul'tury (Production and certification of planting material for fruits, suitable crops and grapes in Russia. Quality control. Part 1. Berry crops), Moscow: VSTISP, 2009, 164 p.

13. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* (Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops), Orel: Izd-vo VNIISPК, 1999, 606 p.
14. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results), Moscow, 2013, 349 p.
15. Sorokin O.D., *Prikladnaya statistika na komp'yutere* (Applied statistics on the computer), Krasnoobsk: GUP RPO SO RASKhN, 2009, 222 p.

Информация об авторах:

А.А. Беляев, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Т.В. Шпатова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

С.В. Неволин, председатель СПК «Сады Бараба»

Т.В. Гаврилец, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

A.A. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

T.V. Shpatova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

S.V. Nevolin, Chairman of the SEC "Baraba Gardens"

T.V. Gavrilets, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В.Л. Бопп, Д.Н. Ступницкий, М.Е. Данилов

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

E-mail: vl_kolesnikova@mail.ru

Для цитирования: Бопп В.Л., Ступницкий В.Л., Данилов М.Е. Влияние сроков посева на продуктивность люпина узколистного в условиях Красноярской лесостепи // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 21–28. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-21-28.

Ключевые слова: люпин узколистный, сроки посева, сохранность растений к уборке, урожайность, вклад факторов в урожайность, Красноярская лесостепь.

Реферат. Экспериментальная работа проведена в 2021–2023 гг. с целью изучения влияния сроков посева на продуктивность люпина узколистного в условиях Красноярской лесостепи. В задачи исследований входило определение действия сроков посева люпина узколистного на всхожесть семян и сохранность растений к уборке; изучение влияния сроков посева культуры на урожайность зерна; оценка вклада факторов в формирование урожайности зерна люпина. Схема опыта предусматривала три срока посева люпина: 1-й срок (ранний) – 5 мая; 2-й срок (средний) – 15 мая; 3-й срок (поздний) – 25 мая. Объекты исследований – сорта люпина узколистного селекции ВНИИ люпина Витязь и Белозерный 110. Гидротермический режим вегетационных периодов различался по годам проведения наблюдений: в июне 2021 г., а также в июле и августе 2022 г. растения испытывали недостаток тепла; в 2021 и в 2023 гг. – дефицит влаги. Результаты исследований показали, что полевая всхожесть семян менялась по вариантам эксперимента и зависела от влагообеспеченности почвы на глубине посева, сложившейся в конкретных условиях вегетации. Наилучшая всхожесть семян у сорта Витязь отмечена в ранний срок посева в 2021 и в 2022 гг., в поздний срок посева в 2023 г.; у сорта Белозерный 110 в средний срок посева в 2021 г., в поздний срок посева в 2022 г. и в 2023 г. Сохранность растений к уборке снижалась от первого срока посева к третьему как у сорта Витязь, так и у сорта Белозерный 110. Ранний срок посева люпина обеспечивает наибольшую урожайность зерна культуры. В среднем по годам эксперимента урожайность сорта Витязь при раннем посеве составила 12,4 ц/га, в средний срок посева продуктивность культуры ниже на 12,9 %, в поздний срок ниже на 50,8 %. Аналогичная тенденция наблюдается у сорта Белозерный 110: в 1-й срок посева средняя урожайность составила 12,2 ц/га, во 2-й срок меньше на 11,5 %, в 3-й срок меньше на 44,3 %. Формирование продуктивности люпина находится в значительной зависимости как от сроков посева (вклад фактора – 34,7–47,4 %), так и от условий вегетации (вклад фактора – 39,6–51,9 %).

INFLUENCE OF SOWING TIME ON THE PRODUCTIVITY OF NARROW-LEAFED LUPIN UNDER CONDITIONS OF THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

V.L. Bopp, D.N. Stupnitsky, M.E. Danilov

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: vl_kolesnikova@mail.ru

Keywords: angustifolia lupine, sowing time, preservation of plants for harvesting, productivity, contribution of factors to productivity, Krasnoyarsk forest-steppe.

Abstract. Experimental work was carried out in 2021–2023. in order to study the influence of sowing timing on the productivity of angustifolia lupine in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. The objectives of the research included determining the effect of the timing of sowing angustifolia lupine on seed germination and the safety of plants for harvesting; studying the influence of crop sowing timing on grain yield; assessment of the contribution of factors to the formation of lupine grain yield. The experimental design included three dates for sowing lupine: 1st date (early) – May 5; 2nd term (middle) – May 15; 3rd deadline (late) – May 25. The objects of research were narrow-leaved lupine varieties bred by the All-Russian Research Institute of Lupine Vityaz and Belozerny 110. The hydrothermal regime of growing seasons differed according to the years of observation: in June 2021, as well as in July and August 2022, plants experienced a lack of heat; in 2021 and 2023 there will be a moisture deficit. The research results showed that the field germination of seeds varied according to the

experimental variants and depended on the moisture supply of the soil at the sowing depth, which developed under specific growing season conditions. The best seed germination of the Vityaz variety was noted at early sowing dates in 2021 and 2022, and at late sowing dates in 2023; for the Belozerny variety 110 at the average sowing time in 2021, at the late sowing time in 2022 and in 2023. The safety of plants for harvesting decreased from the first sowing period to the third for both the Vityaz variety and the Belozerny 110 variety. Early sowing of lupine provides the highest grain yield of the crop. On average over the years of the experiment, the yield of the Vityaz variety during early sowing was 12.4 c/ha; during the average sowing period, the crop productivity was 12.9% lower, and at the late sowing period it was 50.8 % lower. A similar trend is observed in the variety Belozerny 110: in the 1st sowing period the average yield was 12.2 c/ha, in the 2nd period it was 11.5 % less, in the 3rd period it was 44.3% less. The formation of lupine productivity is significantly dependent on both the timing of sowing (contribution of the factor – 34.7–47.4 %) and on the growing season conditions (contribution of the factor – 39.6–51.9 %).

Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) – ценная зернобобовая культура, демонстрирующая тренд на расширение посевных площадей в сельскохозяйственном производстве страны. Имея непродолжительную историю domestikфикации [1], востребованность культуры значительна благодаря селекционным достижениям: получению сортов, сочетающих высокий потенциал продуктивности с адаптационным ресурсом в условиях меняющегося климата, низкой алкалоидностью [2] и относительной устойчивостью к грибковым заболеваниям [3].

Культивар отличается полифункциональностью, используется как кормовое, пищевое и сидеральное растение [4–6], а также как сырье для перерабатывающей промышленности [7]. Широко известно агроэкологическое значение культуры: благодаря симбиотической азотфиксации и фосфатмобилизующей активности, посевы люпина узколистного способствуют сохранению и восстановлению плодородия почв; повышают продуктивность последующих культур в севообороте при снижении затрат энергетических ресурсов [8–10].

В силу биологических особенностей люпина узколистного: холодостойкости и скороспелости [11, 12], а также созданию генотипов с продолжительностью вегетационного периода 85–95 сут, ареал выращивания культуры продвинулся до северных границ устойчивого земледелия [13]. При этом для условий Красноярского края люпин узколистный – новая культура. Внедрение в производство в регионе сдерживается отсутствием исследований элементов технологии его выращивания с учетом местных почвенно-климатических факторов [14].

Один из решающих факторов получения высоких урожаев любой сельскохозяйственной культуры – выбор оптимального срока посева, которым определяются лучшие условия температуры и влажности для роста и развития растений.

Цель исследований – провести оценку влияния сроков посева на продуктивность люпина узколистного в условиях Красноярской лесостепи. Достижение поставленной цели реализовывалось через решение следующих задач: определить действие сроков посева на всхожесть семян и сохранность растений к уборке; изучить влияние сроков посева люпина узколистного на урожайность зерна; оценить вклад факторов в формирование урожайности зерна люпина.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная работа проведена в 2021–2023 гг. на опытном поле УНПК «Борский» Красноярского государственного аграрного университета, которое расположено в Красноярской лесостепи. Почва – чернозем выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса – 6,9 %, реакция почвенного раствора нейтральная ($\text{pH}_{\text{вод}} - 7,0$), обеспеченность подвижным фосфором средняя (175,8 мг/кг), обменным калием – очень высокая (291,0 мг/кг).

В период вегетаций растений метеорологические условия были нестабильны по годам проведения наблюдений. В 2021 г. в мае, июле и августе температура воздуха была выше среднемноголетнего уровня. В основные периоды роста и развития растений люпина, за исключением третьей декады июня, отмечался существенный дефицит влаги. Гидротермический коэффициент за июль, август и сентябрь составил 0,5, 0,8 и 0,4 единицы соответственно. Влагообеспеченность вегетационного сезона 2022 г. на 17,9 % превышала климатическую норму, при этом распределение осадков было неравномерным. В среднем температура воздуха за период «май – сентябрь» выше среднемноголетнего значения на 0,4 °C, однако режим теплообеспеченности был аномальным: средняя температура мая превышала климатическую норму на 4,1 °C; в первой декаде июня

зафиксировано существенное похолодание в ночное время суток, сопровождавшееся заморозками до минус 5 °С; в июле и августе среднемесячная температура была ниже среднеемноголетних значений на 1,1 и 1,3 °С соответственно; и только в сентябре фактическая температура воздуха соответствовала среднеемноголетнему показателю. ГТК вегетации превысил климатическую норму на 0,2 единицы при среднеемноголетнем значении 1,2. Вегетационный сезон 2023 г. был теплый и засушливый в наиболее критические периоды для роста и развития растений люпина. В мае количество выпавших осадков составило 33 мм, что несколько ниже среднеемноголетнего значения, но достаточно для прорастания семян люпина. Затем установился засушливый период: осадков выпало менее нормы в июне на 28,4 мм (51,3 % от среднеемноголетнего показателя), в июле – на 21,8 мм (67,3 %), в августе – на 19,7 мм (68,5 %). В сентябре, когда ростовые процессы у люпина прекращены и идет созревание зерна, осадков выпало больше нормы на 42,2 мм, но на продуктивности культуры это не отразилось. За вегетацию ГТК составил 1,1.

Объекты исследований – сорта люпина узколистного селекции ВНИИ люпина – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса» Витязь и Белозерный 110.

Изучали три срока посева культуры: 1-й срок (ранний) – 5 мая; 2-й срок (средний) – 15 мая; 3-й срок (поздний) – 25 мая. Запасы продуктивной влаги к моменту посева в слое почвы 0–20 см в среднем за период исследований оцениваются как хорошие: в I декаде мая – 47 мм, во II декаде – 43 мм и в III декаде – 40 мм.

Из-за медленного темпа роста надземной части люпина узколистного до фазы бутонизации в ценозе наблюдается высокое конкурентное давление со стороны сорного компонента фитоценоза [15]. Поэтому для защиты культивара от сегетальной растительности были использованы гербициды (фон). До появления всходов люпина применили гербицид почвенного действия *Камелот*, СЭ дозе 4,0 л/га с последующим прикатыванием кольчато-шпоровыми катками; по вегетирующим растениям – гербицид *Пилот*, ВСК в дозе 2,0 л/га.

Учет урожайности зерна выполнен методом прямого обмолота комбайном Sampo Terrion 130 в фазу полной спелости зерна, пересчет урожайности на стандартную чистоту и влажность проведен в соответствии с ГОСТ 11321–89 [16].

Полученные результаты обработаны методом дисперсионного анализа и описательной статистики с использованием программ MS Excel и Snedecor.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение влияния сроков посева на всхожесть семян показало, что ранний срок посева, проведенный в 2021 г., обеспечил появление 95,0 % высеванных семян сорта Витязь и 92,0 % семян сорта Белозерный 110 (рис. 1). Отсутствие продуктивных осадков в первой декаде мая не оказало значительного негативного влияния на полноту всходов культуры, так как на глубине посева влагообеспеченность была достаточно благоприятной за счет имеющихся влагозапасов осенне-зимнего периода.

Всхожесть семян люпина во 2-й срок посева не имела существенных отличий от посева в первой декаде мая. Выпавшие осадки за декаду составили 42,6 % от месячной нормы, что способствовало созданию условий для набухания и прорастания семян. Наиболее низкая всхожесть отмечена в 3-й срок посева: 90,7 % от высеванного посевного материала у сорта Витязь и 89,5 % у сорта Белозерный 110, что объясняется недобором атмосферных осадков третьей декады мая при повышенном температурном фоне, усиливающим испарение влаги из верхнего слоя почвы.

Острозасушливые условия первой и второй декад июня, а также июля и августа при температуре воздуха, превышающей среднеемноголетние значения, привели к низкой сохранности растений люпина к уборке. При этом отметим, что количество оставшихся растений снижается от первого срока посева к третьему. На делянках, посеянных в третьей декаде мая, к завершению вегетации насчитывалось 48,6 % от взойшедших семян у сорта Витязь, 45,5 % у сорта Белозерный 110.

В 2022 г. в 1-й срок посева у сорта Витязь возшло 93,7 % от высеванных семян, у сорта Белозерный 110 – 96,2 %. Во второй декаде мая полнота всходов ниже, чем в 1-й срок посева; гидротермический режим оказался неблагоприятным для обеспечения прорастания семян: при среднеемноголетней температуре мая 13,4 °С фактическая средняя температура за декаду составила 16,6 °С при полном отсутствии осадков, что привело к пересыханию верхнего слоя почвы.

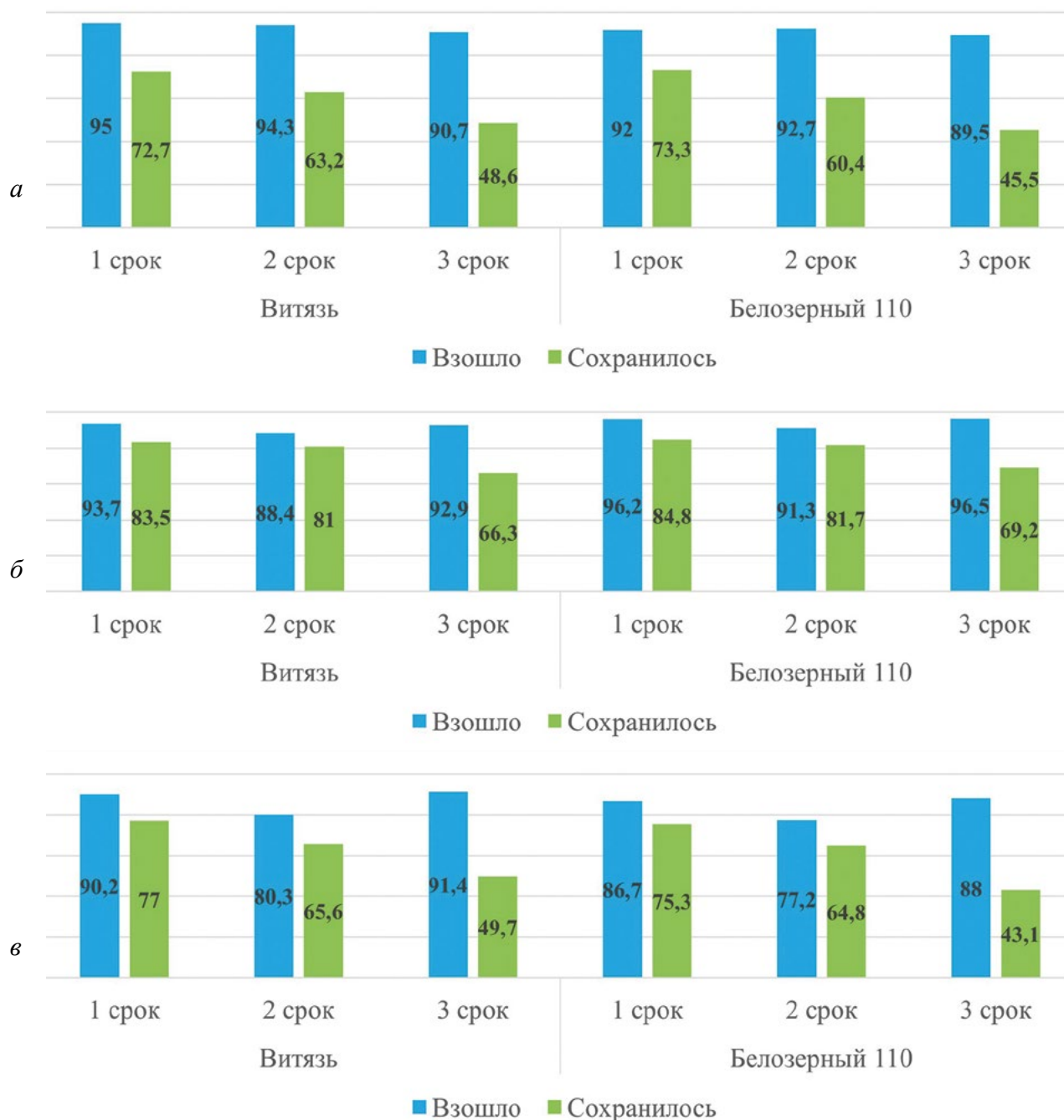


Рис. 1. Влияние сроков посева на всхожесть семян и сохранность растений к уборке, %:

а – 2021 г.; б – 2022 г., в – 2023 г.

Effect of sowing dates on seed germination and plant survival for harvesting, %: а – 2021; б – 2022, с – 2023.

Осадки, выпавшие в третьей декаде мая, способствовали дружному появлению всходов в 3-й срок посева, показатели всхожести практически соответствуют значениям 1-го срока посева у обоих сортов.

Растений к уборке у сорта Витязь 1-го срока посева сохранилось 83,5 %, у сорта Белозерный 110 – 84,8 %. Условия влагообеспеченности веге-

тационного периода, за исключением мая, превосходили климатическую норму и были достаточны для развития культуры, снижая внутривидовую и межвидовую конкурентность с сорным компонентом ценоза за влагу, и способствовали лучшему сохранению растений к уборке. С изменением срока посева от раннего к позднему сохранность растений снижалась.

В 2023 г. у сорта Витязь, посеянного в 1-й срок, всошло 90,2 % от высеванных семян, у сорта Белозерный 110 – 86,7 %. В первой декаде мая выпало всего 4,0 мм осадков, но за счет запасов влаги, накопленных к началу посева, а также конденсации входящих паров при низких температурах почвы, сложившихся в ночное время суток, был обеспечен достаточный уровень увлажнения почвы для появления всходов.

Учет всхожести семян люпина, посеянного во 2-й срок, показал, что отсутствие продуктивных с агрономической точки зрения осадков (за вторую декаду выпало 3,0 мм осадков) привело к снижению их полевой всхожести по сравнению с 1-м сроком посева у сорта Витязь на 9,9 %, у сорта Белозерный 110 – на 9,5 %.

Посев в третьей декаде мая проходил на фоне хорошей влагообеспеченности почвы на глубине посева, выпало 26,0 мм осадков, всхожесть семян была выше предыдущих сроков посева.

Дефицит влаги в мае и установившаяся в июне почвенно-воздушная засуха способствовали снижению сохранности растений к уборке. Меньше всего сохранилось экземпляров люпина при посеве в 3-й срок: у сорта Витязь – 49,7 % от взошедших семян, у сорта Белозерный 110 – 43,1 %.

Состояние развития растений люпина сорта Витязь различных сроков посева на 08.06.2023 продемонстрировано на рис. 2.



1-й срок посева



2-й срок посева



3-й срок посева

Рис. 2. Состояние развития растений люпина сорта Витязь по срокам посева (08.06.2023)

The development status of lupine plants of the Vityaz variety by sowing dates (08.06.2023)

Сроки посева люпина оказали существенное влияние на продуктивность культуры независимо от года исследований. В ранний срок посева формируется максимальная зернопродуктивность культуры: у сорта Витязь от 10,2 ц/га в 2023 г. до 14,6 ц/га в 2022 г., у сорта Белозерный 110 от 9,6 ц/га в 2023 г. до 16,1 ц/га в 2022 г. (таблица). Урожайность зерна во 2-й срок посева несколько ниже, чем в первый; чем менее благоприятный гидротермический режим вегетационного периода, тем более выражены различия в продуктивности между 1-м и 2-м сроками посева. При посеве семян люпина в поздний срок растения растут и развиваются в менее благоприятных

условиях: больше негативное воздействие дефицита влагообеспечения, усиление конкурентных взаимоотношений с сеgetальной растительностью, что приводит к существенному снижению урожайности.

В среднем по годам эксперимента урожайность сорта Витязь при раннем посеве составила 12,4 ц/га, в средний срок посева продуктивность культуры ниже на 12,9 %, в поздний срок ниже на 50,8 %. Аналогичная тенденция наблюдается у сорта Белозерный 110: в 1-й срок посева средняя урожайность составила 12,2 ц/га, во 2-й срок меньше на 11,5 %, в 3-й срок меньше на 44,3 %.

Влияние сроков посева люпина узколистного на урожайность зерна, ц/га
Effect of sowing time of narrow-leaved lupine on grain yield, c/ha

Год (фактор В)	Срок посева (фактор А)							
	Сорт Витязь				Сорт Белозерный 110			
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	Среднее	1-й срок	2-й срок	3-й срок	Среднее
2021	12,5	10,1	6,3	9,7	10,9	8,6	7,1	8,9
2022	14,6	14,0	8,4	12,3	16,1	15,0	9,3	13,5
2023	10,2	8,3	3,5	7,4	9,6	8,7	4,0	7,5
Среднее по фактору А	12,4	10,8	6,1		12,2	10,8	6,8	
HCP ₀₅ факторов: А – 1,4; В – 1,4					HCP ₀₅ факторов: А – 1,0; В – 1,0			

Формирование урожайности зерна люпина в значительной степени зависело как от сроков посева, так и от условий вегетационного периода (рис. 3).



Рис. 3. Вклад факторов в формирование урожайности зерна люпина в разные сроки посева (2021–2023 гг.), %: а – сорт Витязь, б – сорт Белозерный 110

Contribution of factors to the formation of lupine grain yield at different sowing dates (2021–2023), %: а – Vityaz variety, b – Belozerny 110 variety

Вклад фактора «срок посева» в формирование зернопродуктивности у сорта Витязь составил 47,4 %, у сорта Белозерный 110 – 34,7 %; влияние фактора «условия вегетации» у сорта Витязь – 39,6 %, у сорта Белозерный 110 – 51,9 %.

ВЫВОДЫ

1. Результативность полноты всходов люпина узколистного зависит от осадков и, соответственно, наличия влаги на глубине посева семян. Сохранность растений к уборке за период прове-

дения исследований снижается от первого срока посева (ранний) к третьему сроку (поздний).

2. Наибольшая урожайность зерна люпина образуется при раннем сроке посева в середине первой декады мая; продуктивность снижается от 1-го срока посева к 3-му сроку.

3. Вклад факторов «срок посева» и «условия вегетации» в формирование урожая зерна люпина значителен и составляет 34,7–47,4 % и 39,6–51,9 % соответственно в зависимости от сорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алкалоиды люпина узколистного как фактор, определяющий альтернативные пути использования и селекции культуры* / М.А. Вишнякова, А.В. Кушнарева, Т.В. Шеленга, Г.П. Егорова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2020. – Т. 24, № 6. – С. 545–556. – DOI: 10.18699/VJ20.656.
2. *Hama J.R., Strobel B.W.* Natural alkaloids from narrow-leaf and yellow lupins transfer to soil and soil solution in agricultural fields // *Environmental Sciences Europe*. – 2020. – № 2. – P. 1–12.
3. *Лысенко О.Г., Лысенко В.Ф., Пасынкова Е.Н.* Сорт люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) Меценат // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2022. – № 6. – С. 805–813. – DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.805-813.
4. *Asparagine* slows down the breakdown of storage lipid and degradation of autophagic bodies in sugar-starved embryo axes of germinating lupin seeds / S. Borek, E. Paluch-Lubawa, S. Pukacka, M. Pietrowska-Borek, L. Ratajczak // *Journal of Plant Physiology*. – 2017. – Vol. 11. – P. 51–67.
5. *Effects* of replacing soybean meal with raw or extruded blends containing faba bean or lupin seeds on nitrogen metabolism and performance of dairy cows / S. Mendowski, P. Chapoutot, G. Chesneau, A. Ferlay, F. Enjalbert, G. Cantalapiedra-Hijar, A. Germain, and P. Nozière // *Journal of Dairy Science*. – 2019. – Vol. 102, № 6. – P. 130–147.
6. *Люпин: селекция, возделывание, использование* / В.М. Косолапов, Г.Л. Яговенко, М.И. Лукашевич [и др.] // Брянск: Брянское обл. полиграф. объединение, 2020. – 304 с.
7. *The potential* of blue lupins as a protein source, in the diets of laying hens / M.R.F. Leea, S. Parkinsona, H.R. Fleminga, V.J. Theobalda, D.K. Leemansa, T. Burgess // *Veterinary and Animal Science*. – 2016. – № 1. – P. 29–35.
8. *Васильчиков А.Г.* Сравнительная оценка размеров симбиотической азотфиксации зернобобовых культур // *Земледелие*. – 2014. – № 4. – С. 8–11.
9. *Яковлева М.И., Дмитриев В.Л., Мефодьев Г.А.* Влияние зернобобовых культур как предшественников на урожайность и качество картофеля // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 1. – С. 48–51. – DOI: 10.12737/2073-0462-2020-48-51.
10. *Головина Е.В., Беляева Р.В.* Симбиотическая деятельность и формирование урожая люпина узколистного и сои в контрастных погодных условиях // *Земледелие*. – 2022. – № 6. – С. 31–36. – DOI: 10.24412/0044-3913-2022-6-31-36.
11. *Агеева П.А., Почутина Н.А., Матюхина М.В.* Люпин узколистный – источник ценных питательных веществ для использования в кормопроизводстве // *Кормопроизводство*. – 2020. – № 10. – С. 29–33.
12. *Люпин узколистный – результаты изучения сортов и сортообразцов по адаптивности и комплексу хозяйственно-биологических признаков* / П.А. Агеева, Н.А. Почутина, О.М. Громова, Н.М. Зайцева // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2022. – № 2. – С. 211–220. – DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.2.211-220.
13. *Слесарева Т.Н., Лукашевич М.И.* Люпин и некоторые вопросы технологии его возделывания // *Защита и карантин растений*. – 2018. – № 7. – С. 12–16.
14. *Бопп В.Л., Данилов М.Е.* Люпин узколистный: влияние гербицидов и удобрений на продуктивность зеленой массы // *Вестник КрасГАУ*. – 2020. – № 5. – С. 73–79. – DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79.
15. *Слесарева Т.Н., Мисникова Н.В.* Перспективные гербициды для послевсходового применения в посевах люпина узколистного // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2024. – № 2. – С. 77–85. – DOI: 10.26898/0370-8799-2024-2-9.
16. *ГОСТ 11321–89.* Люпин кормовой. Требования при заготовках и поставках. Издание официальное. – М., 1989 – 19 с.

REFERENCES

1. Vishnyakova M.A., Kushnareva A.V., Shelenga T.V., Egorova G.P., *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 2020, T. 24, No. 6, pp. 545–556, DOI: 10.18699/VJ20.656. (In Russ.)
2. Hama J.R., Strobel B.W., Natural alkaloids from narrow-leaf and yellow lupins transfer to soil and soil solution in agricultural fields, *Environmental Sciences Europe*, 2020, No. 2, pp. 1–12.
3. Lysenko O.G., Lysenko V.F., Pasyukova E.N., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No. 6, pp. 805–813, DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.805-813. (In Russ.)
4. Borek S., Paluch-Lubawa E., Pukacka S. [et al.], Asparagine slows down the breakdown of storage lipid and degradation of autophagic bodies in sugar-starved embryo axes of germinating lupin seeds, *Journal of Plant Physiology*, 2017, Vol. 11, pp. 51–67.
5. Mendowski S., Chapoutot P., Chesneau G. [et al.], Effects of replacing soybean meal with raw or extruded blends containing faba bean or lupin seeds on nitrogen metabolism and performance of dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 2019, Vol. 102, No. 6, pp. 130–147.
6. Kosolapov V.M., Yagovenko G.L., Lukashevich M.I. [et al.], *Lyupin: selekciya, vozdeleyvanie, ispol'zovanie* (Lupine: selection, cultivation, use), Bryansk: Bryanskoe oblastnoe poligraficheskoe ob"edinenie, 2020, 304 p.

7. Leea M.R.F., Parkinsona S., Fleminga H.R. [et al.], The potential of blue lupins as a protein source, in the diets of laying hens, *Veterinary and Animal Science*, 2016, No. 1, pp. 29–35.
8. Vasil'chikov A.G., *Zemledelie*, 2014, No. 4, pp. 8–11. (In Russ.)
9. Yakovleva M.I., Dmitriev V.L., Mefod'ev G.A., *Vestnik Kazanskogo GAU*, 2020, No. 1, pp. 48–51, DOI: 10.12737/2073-0462-2020-48-51. (In Russ.)
10. Golovina E.V., Belyaeva R.V., *Zemledelie*, 2022, No. 6, pp. 31–36. – DOI: 10.24412/0044-3913-2022-6-31-36. (In Russ.)
11. Ageeva P.A., Pochutina N.A., Matyukhina M.V., *Kormoproizvodstvo*, 2020, No. 10, pp. 29–33. (In Russ.)
12. Ageeva P.A., Pochutina N.A., Gromova O.M., Zajceva N.M., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No. 2, pp. 211–220, DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.2.211-220. (In Russ.)
13. Slesareva T.N., Lukashevich M.I., *Zashchita i karantin rastenij*, 2018, No. 7, pp. 12–16. (In Russ.)
14. Bopp V.L., Danilov M.E., *Vestnik KraSGAU*, 2020, No. 5, pp. 73–79, DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79. (In Russ.)
15. Slesareva T.N., Misnikova N.V., *Sibirskij vestnik sel'skokhozyajstvennoj nauki*, 2024, No. 2, pp. 77–85, DOI: 10.26898/0370-8799-2024-2-9. (In Russ.)
16. *GOST 11321-89. Lyupin kormovoj. Trebovaniya pri zagotovkakh i postavkakh* (Fodder lupine. Requirements for procurement and supply), Izdanie oficial'noe, Moscow, 1989, 19 p.

Информация об авторах:

В.Л. Бопп, кандидат биологических наук, доцент

Д.Н. Ступницкий, кандидат сельскохозяйственных наук

М.Е. Данилов, аспирант

Contribution of the authors:

V.L. Bopp, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

D.N. Stupnitsky, Candidate of Agricultural Sciences

M.E. Danilov, graduate student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ПРЕПАРАТА КАК АНТИСТРЕССАНТА К ГЕРБИЦИДАМ В ПОСЕВАХ СОИ

Т.В. Гаврилец

ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: gavrilez_t_08@mail.ru

Для цитирования: Гаврилец Т.В. Возможность применения природного препарата как антистрессанта к гербицидам в посевах сои // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 29–35. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-29-35.

Ключевые слова: гуминовый препарат, Цитогумат, антистрессант к гербицидам, соя, биомасса, фенофазы, урожайность.

Реферат. Представлены результаты исследований по использованию препарата природного происхождения в качестве антистрессанта к гербицидам. Растения сои, как и других культур, подвержены воздействию стрессов не только от абиотических (весенне-летняя и летняя засухи), но и от антропогенных факторов (пестицидные обработки). Опыты закладывали в северной лесостепи Новосибирской области в 2020–2021 гг. на черноземе выщелоченном. Объектами исследования были гуминовый препарат Цитогумат и соя сортов СибНИИК-315 и Золотистая. Показано, что антистрессант из бурого угля Цитогумата в норме 0,4 л/га улучшает физиологическое состояние растений сои, обеспечивает быстрый прирост биомассы и повышает урожайность культуры. Гуминовый препарат способствовал своевременному прохождению фенологических фаз развития сои. За счет снижения стрессового влияния на фоне Цитогумата в 2020 г. фенологические фазы наступали на 2–3 дня раньше, чем в контроле. В засушливых условиях июля 2021 г., отмечено ускорение прохождения фаз бутонизации и цветения. На фоне природного антистрессанта в 2020 г. статистически доказано повышение высоты сои. Применение гуминового препарата оказало стимулирующее действие на биомассу культурного растения. Наиболее заметно это проявилось в более влажный 2020 г., когда биомасса в опытном варианте была достоверно больше контроля на 16,8 %. В 2021 г. в случае использования Цитогумата наблюдалась лишь тенденция увеличения биомассы и отличия от контроля составили 7 %. Прибавка урожая при внесении Цитогумата в качестве антистрессанта к гербицидам составила 0,4–0,5 т/га зерна.

THE POSSIBILITY OF USING A NATURAL DRUG AS AN ANTISTRESSANT TO HERBICIDES IN SOYBEAN CROPS

T.V. Gavrilets

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: gavrilez_t_08@mail.ru

Keywords: humic preparation, Cytohumate, herbicide antistressant, soy, biomass, phenophases, yield.

Abstract. The results of research on the use of a drug of natural origin as an antistressant to herbicides are presented. Soybean plants, like other crops, are exposed to stress not only from abiotic (spring-summer and summer droughts), but also from anthropogenic factors (pesticide treatments). Experiments were conducted in the northern forest-steppe of the Novosibirsk region in 2020–2021 on leached chernozem. The objects of the study were the humic preparation Cytohumate and soy varieties SibNIK-315 and Zolotaya. It has been shown that the Cytohumate brown coal antistressant at a rate of 0.4 l/ha improves the physiological state of soybean plants, provides rapid biomass growth and increases crop yield. The humic preparation contributed to the timely passage of the phenological phases of soybean development. Due to the reduction of the stress effect against the background of Cytohumate in 2020, the phenological phases occurred 2–3 days earlier than in the control. In the dry conditions of July 2021, an acceleration of the budding and flowering phases was noted. Against the background of a natural antistress agent in 2020, an increase in soybean height was statistically proven. The use of the humic preparation had a stimulating effect on the biomass of the cultivated plant. This was most noticeable in the wetter 2020, when the biomass in the experimental variant was significantly higher than the control by 16.8 %. In 2021, in the case of using Cytohumate, only a tendency to increase biomass was observed and the differences from the control were 7 %. The yield increase when applying Cytohumate as an antistress agent to herbicides amounted to 0.4–0.5 t / ha of grain.

В последнее время в России особое внимание уделяется одной из важных проблем агропромышленного комплекса: дефициту растительного белка в питании людей и кормлении сельскохозяйственных животных. Решить эту проблему можно за счет увеличения производства семян зернобобовых культур, отдавая предпочтение сое, которая считается важнейшей белково-масличной культурой [1–4]. Она относится к одной из самых прибыльных культур, которая имеет большое агротехническое, экологическое, экономическое и социальное значение и используется в пищевых, кормовых, технических, лечебных и других целях.

С целью повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в современном сельском хозяйстве используются интенсивные технологии, которые подразумевают применение разных препаратов, в том числе природного происхождения [5, 6]. Для того чтобы получать высокие урожаи, нужно правильно создавать благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, основываясь на изучении сложнейших механизмов и законов роста и развития растений [7]. Эти технологии предполагают применение регуляторов роста, которые могут быть как синтетического, так и природного происхождения [8–10].

Использование природных препаратов способствует повышению продуктивности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к неблагоприятным условиям внешней среды, повышению урожайности и получению экологически чистой продукции [11–14].

Для повышения продуктивности и регулирования роста сельскохозяйственных культур, снижения экологической нагрузки и повышения хозяйственной эффективности возможно использование стимуляторов роста на основе гуминовых веществ [6, 9, 15].

В исследованиях многих авторов было доказано стимулирующее действие гуминовых соединений на рост и развитие растений, а также их влияние на повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды [9, 12, 15, 16]. Эти результаты подтверждают существование сложного регуляторного механизма воздействия гуминовых веществ на растения. Применяя препараты природного происхождения, можно улучшить состояние культурных растений, что позволяет получить дополнительную прибавку урожая.

Цель исследований: изучить эффективность применения природного препарата Цитогумата в качестве антистрессанта к гербицидам на сое в лесостепи Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты по изучению влияния гуминового препарата на сою проводили в 2020 и 2021 гг. УОХ «Практик» НГАУ, в левобережной части Приобского плато в (окрестности с. Тулинское). Почва участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, среднесуглинистый, среднесуглинистый с нейтральной реакцией среды. Агротехника в опытах классическая для лесостепной зоны: зяблевая вспашка на глубину 20–22 см, боронование весной и предпосевная культивация.

Объектами исследования были соя (*Glycine max* (L.) Merrill) и гуминовый препарат Цитогулат.

Цитогулат – это органоминеральный комплекс, произведенный из бурого угля леонардита. В его состав входит водный раствор калиевых и натриевых гуминовых кислот, содержащий до 1 % фульвовых кислот, микроэлементы, азот, фосфор, витамины и растворимые соли кремневой кислоты. Препарат производится научно-производственной компанией «Агрофармика» в Новосибирске.

Цитогулат способствует повышению урожайности сельскохозяйственных растений. Активизирует обменные процессы растений, ускоряет всхожесть семян, способствует развитию мощной корневой системы растений, повышает устойчивость растений к болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды, обеспечивает рост урожайности культуры, улучшает качество выращенной продукции.

Высеваемые сорта сои СибНИИК-315 и Золотистая относятся в Западной Сибири к группе скороспелых сортов [17]. Для сои сорта Золотистая характерно прикрепление нижнего боба на высоте 10,7 см. Содержание белка и жира в семенах составляет 30,0 и 23,9 % соответственно. У сорта сои СибНИИК-315 высота прикрепления нижнего боба 11–13 см, а содержание в семенах белка 35–40 %, жира 17–20 %.

Сою в 2020 г. высевали после ярового рапса. Посев проводился 15 мая селекционной сеялкой СС-11 с нормой высева 600 тыс. семян на 1 га (сорт Золотистая). Через месяц после посева для

борьбы с сорняками был применен гербицид Фуроре Ультра, ЭМВ (феноксапроп-П-этил), 0,5 л/га. Во время химпрополки контроль обрабатывали гербицидом, а опытный вариант – смесью гербицида с антистрессантом Цитогулатом (0,4 л/га). В каждом варианте было по пять делянок, размещенных последовательно, площадь каждой составляла 60 м².

В 2021 г. посев сои (сорт СибНИИК-315) проводили 20 мая. Предшественником был пар. Норма высева семян составила 450 тыс. на 1 га. Через четыре недели одну часть посевов обрабатывали гербицидом Фуроре Ультра, ЭМВ (0,5 л/га), другую – его смесь с Цитогулатом (0,4 л/га).

В ходе вегетации учитывали показатели роста и развития растений, высоту, биомассу, урожай-

ность и элементы ее структуры. Учеты проводили в пятикратной повторности. Результаты статистически обрабатывались с использованием программы SNEDEKOR.

Погодные условия. В 2020 г. сложились благоприятные условия для роста и формирования урожайности сои (табл. 1). В этот относительно теплый и влажный год за период с мая по август выпало 245 мм осадков (норма 224 мм). Гидротермический коэффициент по Селянинову составил 1,16. В июне отмечалось недостаточное количество осадков (44 % от нормы) и их неравномерное выпадение в течение месяца. В остальные месяцы осадков выпало больше среднемноголетней нормы.

Таблица 1

**Метеорологические показатели вегетационного периода
в Новосибирском районе в 2020 и 2021 гг. (данные по ГСМ «Огурцово»)
Meteorological indicators of the growing season in the Novosibirsk region in 2020 and 2021
(data on fuel and lubricants Ogurtsovo)**

Месяц	Температура воздуха, °C					Осадки, мм				
	Декада			Средне- есячная	Отклонение от нормы	Декада			Сум- ма за месяц	% от нормы
	1	2	3			1	2	3		
2020 г.										
Май	11,6	19,2	15,2	15,5	4,6	20	1	31	52	140,5
Июнь	13,9	16,2	19,7	16,6	-0,3	16	8	0	24	44
Июль	21,5	20,9	17,1	19,7	0,3	32	9	45	86	141
Август	21,5	18,5	16,0	18,7	2,5	14	44	25	83	124
2021 г.										
Май	11,5	14,9	16,3	14,2	3,3	4,0	13,0	8,0	25,0	68,0
Июнь	16,7	17,3	14,6	16,2	-0,7	22,0	2,0	48,0	72,0	131,0
Июль	20,4	18,8	20,0	19,7	0,3	18,0	4,0	0,3	22,3	37,0
Август	19,8	16,8	17,7	18,1	1,9	24,0	37,0	6,0	67,0	100,0

2021 г. был более засушливым по сравнению с 2020 г.: гидротермический коэффициент по Селянинову оказался близким к единице. Май оказался жарким (температура была больше нормы на 3,3 °С) и засушливым (осадков на 32 % меньше нормы). В июле выпало меньше всего осадков (37 % осадков от нормы). Август характеризовался теплой погодой с достаточным количеством осадков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Реакцию культуры на внесение антистрессантов к гербицидам можно оценить, наблюдая за ее состоянием [9, 11, 13]. О темпах роста и

развития растений в течение всего периода вегетации судят по таким показателям, как календарные сроки наступления фенологических фаз. У сои продолжительность отдельных фаз очень изменчива и зависит от многих факторов: сроков посева, температуры воздуха и почвы, наличия запасов влаги и элементов питания в почве, географического местоположения и т.д.

Сорт сои Золотистая – это среднеранний сорт, он созревает за 90–98 дней. В наших опытах в условиях увлажненного 2020 г. время созревания сои соответствовало сортовым особенностям (табл. 2). На фоне применения гуминового препарата фенологические фазы наступали на 2–3 дня раньше, чем в контроле.

Фенологические фазы роста сои в 2020 и 2021 гг.
Phenological phases of soybean growth in 2020 and 2021

Фенологическая фаза	2020 г.		2021 г.	
	Контроль	Цитогулат	Контроль	Цитогулат
Всходы	27.05	–	28.05	–
Образование первого тройчатого листа	03.06	–	07.06	–
Образование третьего тройчатого листа	09.06	–	12.06	–
Ветвление	20.06	18.06	23.06	23.06
Бутонизация	03.07	01.07	07.07	05.07
Цветение	14.07	12.07	18.07	16.07
Формирование бобов	23.07	20.07	27.07	26.07
Налив семян	14.08	11.08	16.08	17.08
Созревание	25.08	22.08	30.08	30.08

В исследованиях 2021 г. на сое сорта СибНИИК-315 наступление фенологических фаз на фоне применения Цитогулата в качестве антистрессанта практически не отличалось от контроля. Гуминовый препарат снижал стрессовое влияние на сою засушливого периода в июле, что способствовало ускорению прохождения фаз бутонизации и цветения.

Одним из главных факторов в жизни растений по мнению многих ученых является рост культуры. Общеизвестным методом контроля за ростом и развитием растений является измерение их высоты [8, 12].

Применение Цитогулата в 2020 г. оказало стимулирующее действие на рост культурного растения уже через две недели, хотя отличия в этот фазу развития были недостоверны. К моменту уборки на контрольном варианте и в случае внесения гуминового препарата увеличивалась разница в высоте растений. К концу вегетации на фоне антистрессанта растения сои были на 6,7 см выше, чем в контроле.

В 2021 г. в варианте с использованием Цитогулата стимулирующего действия на высоту растений не выявлено (рис. 1).



Рис. 1. Учет высоты растений сои в 2021 г.
 Accounting for the height of soybean plants in 2021

К моменту уборки отличий в высоте растений на контрольном варианте и в случае внесения гуминового препарата не наблюдалось.

Гуминовый препарат способствовал увеличению вегетативной массы сои в оба года исследований (рис. 2). В 2020 г. на фоне недостатка

влаги в конце июня ЦитогуMAT хорошо проявил себя как антистрессант к гербициду. Через две недели после применения гуминового препарата биомасса на его фоне достоверно увеличилась на 16,8 % по сравнению с контролем.

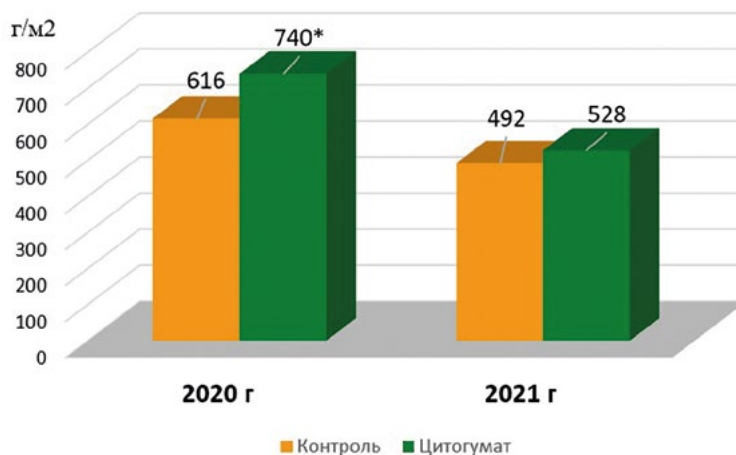


Рис. 2. Учет биомассы сои через две недели после применения ЦитогуМАТА как антистрессанта в 2020 и 2021 гг. (*достоверно на 90 % уровне значимости)

Accounting for soybean biomass two weeks after the use of Cytohumate as an antistressant 2020 and 2021 (*significantly at 90% significance level)

В 2021 г. влияние препарата природного происхождения ЦитогуМАТА в отношении вегетативной массы было менее выраженным. На фоне применения гуминового препарата этот показатель увеличивался по отношению к контролю, но отличия были незначительными. При

использовании ЦитогуМАТА как антистрессанта биомасса сои превышала контроль только на 7 %.

Применение ЦитогуМАТА в посевах сои наряду с увеличением биометрических показателей сельскохозяйственной культуры способствовало повышению ее урожайности (рис. 3).

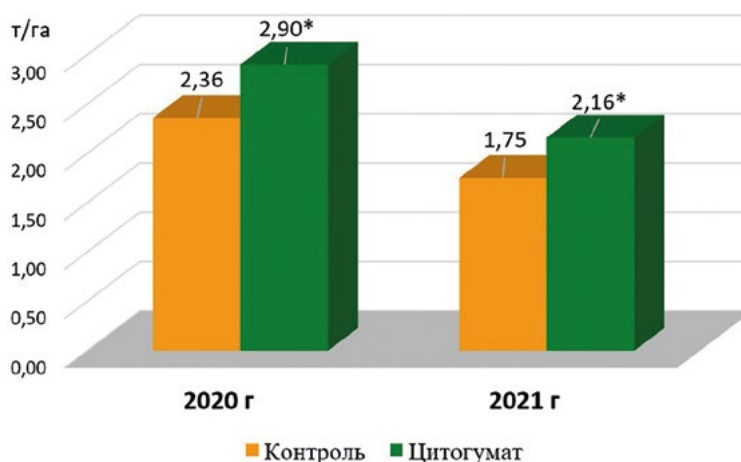


Рис. 3. Урожайность сои при использовании ЦитогуМАТА в качестве антистрессанта в 2020 и 2021 гг. (*достоверно на 90 % уровне значимости)

Soybean yield when using Cytohumate as an antistressant 2020 and 2021 (*significantly at 90% significance level)

Анализ структуры урожайности в 2020 г. показал, что к моменту уборки на фоне ЦитогуМАТА достоверно увеличивалась сохранность растений

на 1 м², количество бобов на одном растении имело тенденцию к увеличению, а на массу 1000 семян гуминовый препарат не повлиял. Статисти-

чески доказано повышение формирования большего количества семян (на 18,6 % по сравнению с контролем) при использовании антистрессового препарата. Изменение показателей структуры урожая в большую сторону позволило получить дополнительную прибавку урожая. Урожайность в варианте с Цитогуматом составляла 2,9 т/га, что на 0,54 т/га больше, чем в контроле.

Эффективность применения гуминового препарата проявилась и в условиях более засушливого 2021 г. К моменту уборки на фоне Цитогумата лучше сохранялись растения сои и повышалась масса 1000 семян, что доказано на 90%-м уровне значимости. При внесении антистрессанта в баковую смесь к гербицидам отмечена тенденция увеличения количества бобов на одном растении. Использование гуминового препарата увеличило биологическую урожайность сои на 19 % по сравнению с контролем.

ВЫВОДЫ

1. Календарные сроки наступления фенологических фаз показывают особенности ро-

ста и развития растений в конкретных условиях вегетационного периода. Гуминовый препарат ЦитогуMAT снижал стрессовое влияние на сою засушливых условий июля 2021 г., что способствовало ускорению прохождения фаз бутонизации и цветения.

2. Природный антистрессант оказал стимулирующее действие на рост сои в 2020 г. В условиях 2021 г. особых отличий от контроля не выявлено.

3. Использование Цитогумата снижает стресс от гербицидов, что способствует лучшему состоянию растений и приводит к увеличению биомассы. В 2020 г. биомасса на его фоне достоверно увеличилась на 16,8 % по сравнению с контролем. В более засушливом 2021 г. отличия от контроля составили 7 %.

4. Применение гуминового препарата в качестве антистрессанта к гербицидам увеличивало урожайность сои. В 2020 г. биологическая урожайность на фоне Цитогумата-антистрессанта была больше контроля на 0,5 т/га, в 2021 г. – на 0,4 т/га.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов В.Ф., Лукомец В.М. Соя – биология и технология возделывания. – Краснодар: ВНИИМК, 2005. – 350 с.
2. Соя в Западной Сибири / Н.И. Кашеваров, В.А. Солошенко, И.И. Васякин, А.А. Лях. – Новосибирск: Юпитер, 2004. – 256 с.
3. Отзывчивость сои на внесение органических удобрений на основе птичьего помета / Т.В. Гаврилец, В.П. Данилов, Е.А. Матенькова, А.Ф. Петров, Т.А. Садохина, А.В. Кокорин, А.Н. Садохин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № (3) 64. – С. 17–25.
4. Shabalda O.G., Vlasova O.I., Mukhina O.V. Influent of seed treatment with bacterial preparations on indicators of crop structure and soybean yield // IOP Conference Series: Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – С. 012044.
5. Алехин В.Т. Проблемы перехода к органическому земледелию // Защита и карантин растений. – 2019. – № 3. – С. 10–11.
6. Коробов В.А., Коробова Л.Н. Гуминатрин на яровой пшенице // Защита и карантин растений. – 2009. – № 5. – С. 29.
7. Chen Y. Effects of humic substances on plant growth // P. Mac Carthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm, P.R. Bloom (eds.) Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Reading, Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, 1990. – P. 161–186.
8. Петриченко В.Н., Логинов С.В., Туркина О.С. Применение регуляторов роста растений на посевах сои // Агрохимический вестник: научно-практический журнал. – 2017. – № 6. – С. 47–49.
9. Холдобина Т.В. Гуминатрин как антидепрессант гербицидов // Инновации и продовольственная безопасность. – 2014. – № 2 (4). – С. 39–46.
10. Холдобина Т.В., Петров А.Ф. Влияние биологических ростостимуляторов как антидепрессантов на яровую пшеницу // Теория и практика современной аграрной науки: сб. II нац. (всерос.) конференции. – Новосибирск, 2019. – С. 115–118.
11. Запесоцкий Д.Н., Барчукова А.Я. Влияние регуляторов роста растений на урожай сои // Сахарная свекла: научно-практический журнал. – 2018. – № 9. – С. 38–42.
12. Реакция посевов сои и гороха в Приобье на гуминовый антистрессант к гербицидам в лесостепи Западной Сибири / Т.В. Гаврилец, Л.Н. Коробова, Ю.В. Чудинова, Л.П. Галеева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4(65). – С. 40–49.

13. Елисеева Л.В., Глинский И.Ю., Филиппова С.В. Влияние гуминовых препаратов на продуктивность и качество семян сои // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 7 (172). – С. 3–10.
14. Лазарев В.И., Минченко Ж.Н., Ильин Б.С. Влияние гуминовых удобрений на урожайность и качество зерна сои // Плодородие. – 2022. – № 5 (128). – С. 94–100.
15. Humic Substances: Determining Potential Molecular Regulatory Processes in Plants / H.S. Zahid, M.R. Hafiz, A. Tasneem, A. Hameed, T.H. Bahget // *Frontiers in Plant Science*. – 2018. – DOI: 10.3389/fpls.2018.00263, 9.
16. Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Зиангирова Л.М. Испытание гуминовых препаратов на сое в условиях Приморского края // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 10. – С. 44.
17. Достижения Омской селекции по акклиматизации сои в Западно-Сибирском регионе на широте 55° / А.М. Асанов, Л.В. Омелянюк, О.А. Юсова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 10. – С. 50–55.

REFERENCES

1. Baranov V.F., Lukomec V.M., *Soja – biologija i tehnologija vozdeľyvanija* (Soybean - biology and cultivation technology), Krasnodar: VNIIMK, 2005, 350 p.
2. Kashevarov N.I., Soloshenko V.A., Vasjakin I.I., Ljah A.A., *Soja v Zapadnoj Sibiri* (Soybeans in Western Siberia), Novosibirsk: Jupiter, 2004, 256 p.
3. Gavrilc T.V., Danilov V.P., Maten'kova E.A., Petrov A.F., Sadohina T.A., Kokorin A.V., Sadohin A.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. (3) 64, pp. 17–25. (In Russ.)
4. Shabalda O.G., Vlasova O.I., Mukhina O.V., Influence of seed treatment with bacterial preparations on indicators of crop structure and soybean yield, *IOP Conference Series: Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, pp. 012044.
5. Alehin V.T., *Zashhita i karantin rastenij*, 2019, № 3, pp. 10–11. (In Russ.)
6. Korobov V.A., Korobova L.N., *Zashhita i karantin rastenij*, 2009, No. 5, pp. 29. (In Russ.)
7. Chen Y., Effects of humic substances on plant growth, P. Mac Carthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm, P.R. Bloom (eds.) *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Reading*, Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, 1990, pp. 161–186.
8. Petrichenko V.N., Loginov S.V., Turkina O.S., *Agrohimicheskij vestnik: nauchno-prakticheskij zhurnal*, 2017, No. 6, pp. 47–49. (In Russ.)
9. Holdobina T.V., *Innovacii i proizvodstvennaja bezopasnost'*, 2014, No. 2 (4), pp. 39–46. (In Russ.)
10. Holdobina T.V., Petrov A.F., *Teorija i praktika sovremennoj agrarnoj nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), 2019, pp. 115–118. (In Russ.)
11. Zapisockij D.N., Barchukova A.Ja., *Saharnaja svekla: nauchno-prakticheskij zhurnal*, 2018, No. 9, pp. 38–42. (In Russ.)
12. Gavrilc T.V., Korobova L.N., Chudinova Ju.V., Galeeva L.P., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 4(65), pp. 40–49. (In Russ.)
13. Eliseeva L.V., Glinskij I.Ju., Filippova S.V., *Vestnik KrasGAU*, 2021, No. 7 (172), pp. 3–10. (In Russ.)
14. Lazarev V.I., Minchenko Zh.N., Il'in B.S., *Plodородие*, 2022, No. 5 (128), pp. 94–100. (In Russ.)
15. Zahid H.S., Hafiz M.R., Tasneem A. [et al.], Humic Substances: Determining Potential Molecular Regulatory Processes in Plants, *Frontiers in Plant Science*, 2018, DOI: 10.3389/fpls.2018.00263, 9.
16. Butovec E.S., Luk'janchuk L.M., Ziangirova L.M., *Vestnik KrasGAU*, 2020, No. 10, pp. 44. (In Russ.)
17. Asanov A.M., Omel'janjuk L.V., Jusova O.A. [i dr.], *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2020, T. 34, No. 10, pp. 50–55. (In Russ.)

Информация об авторах:

Т.В. Гаврилец, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

T.V. Gavrilc, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО

А.Ю. Гаврилова, А.М. Конова

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

E-mail: augavrilova@gmail.com

Для цитирования: Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Влияние уровня минерального питания на урожайность и качество клевера лугового // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 00–00. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-36-44.

Ключевые слова: сорт, клевер луговой, минеральные удобрения, урожайность, биологический азот, сырой протеин.

Реферат. Исследования выполнялись на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в 2022–2023 гг. на опытных полях ОП Смоленского НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК на базе лаборатории агротехнологий. Цель эксперимента состояла в изучении влияния уровня минерального питания на урожайность и качество сена клевера лугового. Объектом исследования являлся раннеспелый диплоидный сорт клевера лугового Починковец. Опыт был заложен в соответствии с методикой, разработанной Б.А. Доспеховым; математическую обработку данных осуществляли методом дисперсионного и регрессионного анализов; определение количества органического вещества, общего и биологического азота – по методике А.А. Завалина с соавторами. По результатам двухлетних исследований установлено, что наибольший сбор сена клевера лугового за два укоса был получен в более благоприятном по погодным условиям 2022 г. (20,0 т/га) относительно 2023 г. (8,3 т/га). Максимальная урожайность сена, независимо от года исследований, была отмечена в варианте комплексного внесения изучаемых удобрений ($N_{48}P_{48}K_{48}$). Дальнейшее увеличение дозы было неэффективно. Более высокая урожайность в 2022 г. связана с тем, что в этом году сформировались и более высокие растения клевера (до 10 см выше по сравнению с 2023 г.). Расчет вклада клевера лугового в плодородие почвы после его заделки показал, что в почву поступило до 9,52 т/га органического вещества, с органическим веществом в почве накопилось до 181 кг/га общего азота, в том числе до 118 кг/га фиксированного азота.

THE EFFECT OF THE LEVEL OF MINERAL NUTRITION ON THE YIELD AND QUALITY OF MEADOW CLOVER

A.Yu. Gavrilova, A.M. Konova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

E-mail: augavrilova@gmail.com

Keywords: variety, meadow clover, mineral fertilizers, yield, biological nitrogen, crude protein.

Abstract. The research was carried out on sod - podzolic medium loamy soil in 2022-2023 in the experimental fields of the Smolensk Research Institute of Agricultural Sciences of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops on the basis of the laboratory of agricultural technologies. The purpose of the experiment was to study the effect of the level of mineral nutrition on the yield and quality of meadow clover hay. The object of the study was an early-maturing diploid variety of meadow clover Pochinkovets. The experience was laid down in accordance with the methodology developed by B.A. Dospikhov; mathematical data processing was carried out by the method of dispersion and regression analyses; determination of the amount of organic matter, total and biological nitrogen - according to the methodology of A.A. Zavalin and co-authors. According to the results of two years of research, it was found that the largest harvest of meadow clover hay for two mowing was obtained in a more favorable weather conditions in 2022 (20.0 t/ha) relative to 2023 (8.3 t/ha). The maximum yield of hay, regardless of the year of research, was noted in the variant of complex application of the studied fertilizers ($N_{48}P_{48}K_{48}$). Further dose increases were ineffective. The higher yield in 2022 is due to the fact that taller clover plants were formed this year (up to 10 cm higher compared to 2023). The calculation of the contribution of meadow clover to soil fertility after plowing showed that up to 9.52 t/ha of organic matter entered the soil, up to 181 kg/ha of total nitrogen accumulated with organic matter in the soil, including up to 118 kg/ha of fixed nitrogen.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема №FGSS-2024-0004).

Развитие животноводческой отрасли напрямую зависит от развития кормовой базы, особенно от производства кормов с высоким содержанием протеина. Оптимизация структуры посевных площадей с целью повышения доли бобовых культур в севообороте является самым оптимальным способом решения этой проблемы [1–3].

По литературным данным В.В. Лапы, М.М. Ломонос, О.Г. Кулеш, М.С. Лопух, О.Л. Ломонос клевер луговой – это культура с большим потенциалом, которая является ценным источником белка. Он широко используется в качестве зеленого удобрения, для производства сена и силоса. Корма на основе клевера богаты основными макро- и микроэлементами, каротином и другими питательными веществами [4].

Более того, выращивание клевера лугового существенно способствует сохранению и улучшению плодородия почвы. В настоящее время не подлежит сомнению способность бобовых культур фиксировать азот атмосферы и переводить его в соединения, доступные растениям, и обогащать почву этим элементом питания [5–7].

По сведениям А.А. Завалина, С.В. Ивановой, ежегодно сельскохозяйственные культуры получают около 0,71 млн т азота, однако вместе с урожаем из почвы его выносятся до 3,26 миллиона тонн. Следовательно, основная часть урожая формируется за счет питательных элементов, находящихся в почве, а также полученных путем биологической фиксации [8, 9]. Биологический азот, аккумулированный в почве благодаря бобовым культурам, будет доступен для использования последующими культурами севооборота ещё в течение 3–4 лет. Также бобовые растения способствуют обогащению почвы легко разлагаемым органическим материалом в виде пожнивно-корневых остатков, что приводит к повышению плодородия почвы [10–12].

Клевер луговой – культура, обладающая высокой потенциальной продуктивностью. Одним из ключевых факторов, определяющих высокие урожаи клевера в районах с достаточным уровнем влажности, является использование минеральных удобрений [13–16].

Цель работы заключалась в изучении влияния возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество сена клевера лугового.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В условиях полевого стационара обособленного подразделения Смоленского НИИСХ ФГБНУ

ФНЦ ЛК в 2022–2023 гг. выполнялись исследования, направленные на изучение воздействия уровня минерального питания на урожайность клевера лугового сорта Починковец. Опыт проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со следующим химическим составом пахотного слоя: содержание гумуса (по Тюрину) – 2,0 %, pH_{KCl} – 5,4, содержание P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – 142 и 98 мг/кг почвы соответственно.

Объектом исследований являлся раннеспелый диплоидный сорт клевера лугового Починковец. Оригинатор – ФГБНУ ФНЦ ЛК. Сорт обеспечивает два полноценных укоса на зеленую массу. Процент облиственности колеблется от 43,3 до 56,8 %, концентрация сырого протеина и клетчатки – 17,2 и 22,3 % соответственно. Сорт обладает высокой зимостойкостью. В 2018 г. сорт внесен в Государственный реестр по Центральному региону, в 2019 г. – получен патент [17].

Клевер луговой высевали совместно с покровной культурой (овсом). Схема опыта содержала 11 вариантов в трехкратной повторности. В опыте изучались последовательно возрастающие дозы азотных, фосфорных и калийных минеральных удобрений и их различные сочетания. Единичная доза удобрений под овес составила $N_{16}P_{16}K_{16}$. В опыте все варианты закодированы. В кодах первая цифра означает дозу азота, вторая – фосфора, третья – калия. Например, вариант 333 читается так: $N_{48}P_{48}K_{48}$. Под овес осенью в соответствии со схемой (табл. 1) вносили аммиачную селитру, двойной суперфосфат и калий хлористый за исключением варианта $N_0P_0K_0$. Весной на всех вариантах опыта всходы клевера подкармливали аммиачной селитрой в дозе N_{20} . Норма высева клевера составила 8 кг/га.

Площадь делянки – 60 м², повторность – трехкратная.

Учет урожая проводили поделочно в фазу начала цветения. Математическую обработку экспериментальных данных – методом дисперсионного и регрессионного анализов с использованием программы STAT VNIA [18]. Расчет вклада бобовых культур в плодородие почвы и определение количества органического вещества, общего и биологического азота, оставляемого бобовыми после распашки, проведен по методике, разработанной А.А. Завалиным с соавторами [19].

По литературным данным В.В. Лапы с соавторами, О.А. Глушковой, Л.Н. Матаис, З.В. Козловой, Н.Н. Зезина, П.А. Постникова, М.А. Тормозина, А.Б. Пономарёва одними из ключевых факторов, влияющих на формирование урожая

сельскохозяйственных растений, является температура воздуха и сумма осадков за период вегетации. Отрицательно на урожайность влияет как избыток тепла и влаги, так и их дефицит [4, 20, 21].

Наиболее благоприятные погодные условия для роста и развития растений клевера лугового были созданы в 2022 г. (рис. 1, 2) [22]. Суммарное количество осадков за весенне-летний период составило 446 мм, что превысило средние многолетние значения на 111 мм. Средняя температура воздуха за этот период составила 14,5 °С, что на

1,2 °С превышало среднемноголетний показатель. В результате обильные осадки в сочетании с температурой воздуха, близкой к норме, способствовали быстрому возобновлению вегетации растений.

Показатель температуры воздуха за вегетационный период 2023 г. превысил среднегодовую норму на 1,9 °С. Количество атмосферных осадков почти в два раза было меньше средней многолетней величины, что неблагоприятно сказалось на нарастании зеленой массы клевера.

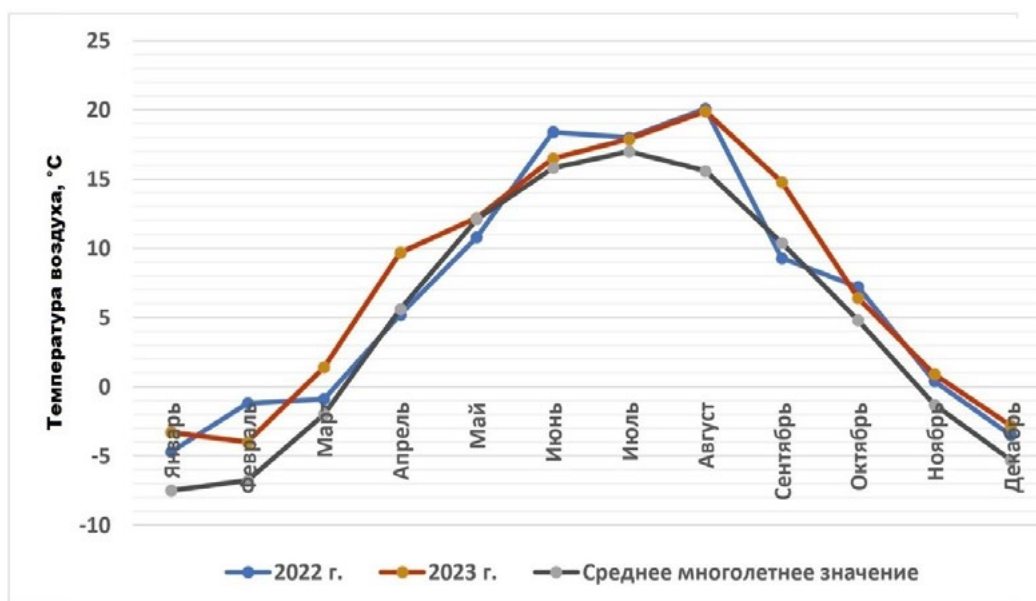


Рис. 1. Температура воздуха в период вегетации растений клевера лугового
Air temperature during the growing season of meadow clover plants

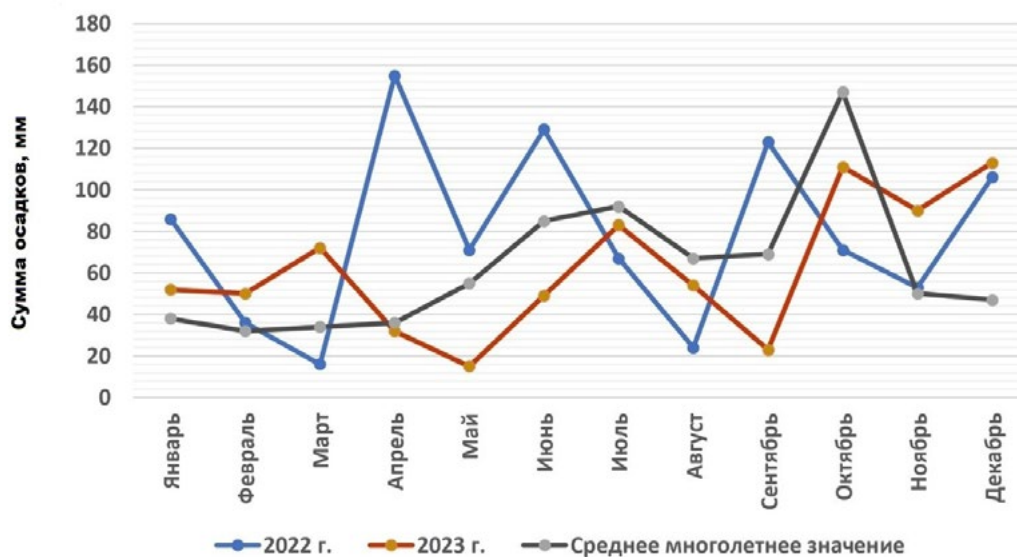


Рис. 2. Сумма осадков за период вегетации растений клевера лугового
The amount of precipitation during the growing season of meadow clover plants

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность клевера лугового в значительной степени зависит от наличия необходимых питательных элементов в почве, при этом немаловажным фактором является уровень её влагообеспеченности. Согласно проведенным исследованиям, в 2022 г. в сумме за два укоса был получен наибольший сбор сена клевера, который составил до 20,0 т/га (см. табл. 1). Достаточное количество

тепла и влаги в начале вегетационного периода положительно отразилось на величине урожая первого укоса. Однако дефицит влаги (почти в 2,7 раза ниже нормы) во второй половине вегетационного периода сильно затормаживал рост растений во втором укосе.

Недостаточное количество осадков в сочетании с повышенными температурами воздуха в 2023 г. привели к уменьшению урожайности клевера лугового в совокупности за два укоса в 1,7–3,0 раза относительно 2022 г.

Таблица 1

Характер действия возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность сена клевера лугового сорта Починковец, т/га
The nature of the effect of increasing doses of mineral fertilizers on the yield of clover hay of the meadow variety Pochinkovets, t/ha

Вариант	Урожайность, т/га					
	2022 г.			2023 г.		
	1-й укос	2-й укос	Сумма за два укоса	1-й укос	2-й укос	Сумма за два укоса
$N_0P_0K_0$	7,0	3,1	10,1	2,2	3,3	5,5
$N_{48}P_0K_0$	10,5	3,9	14,4	2,0	4,1	6,1
$N_0P_{48}K_0$	11,6	4,0	15,7	2,0	3,9	5,9
$N_0P_0K_{48}$	10,9	4,4	15,5	2,2	3,3	5,5
$N_{48}P_{48}K_0$	10,3	4,2	14,6	3,1	3,6	6,7
$N_{48}P_0K_{48}$	13,8	5,3	19,1	4,2	2,1	6,3
$N_0P_{48}K_{48}$	9,5	4,6	14,0	3,2	4,8	8,1
$N_{16}P_{16}K_{16}$	8,3	4,1	12,3	2,1	3,3	5,4
$N_{32}P_{32}K_{32}$	10,5	4,3	14,9	2,3	3,6	5,9
$N_{48}P_{48}K_{48}$	13,9	6,1	20,0	3,2	5,1	8,3
$N_{64}P_{64}K_{64}$	11,8	6,2	18,1	3,6	4,2	7,8
НСР _{0,5}	0,7	0,4	0,9	0,4	0,4	0,6

Авторами В.В. Лапа, М.М. Ломонос, О.Г. Кулеш, М.С. Лопух, О.Л. Ломонос установлено, что развитие растений клевера в первый год жизни в значительной степени зависит от доз минеральных удобрений, внесенных под покровную культуру. С увеличением урожайности покровной культуры условия для развития многолетних трав, высеянных под покровом, значительно ухудшаются, что приводит к их сильному изреживанию и снижению продуктивности зеленой массы [4]. В ходе исследований в 2022 г. было выявлено, что внесение аммиачной селитры в количестве 48 кг д.в. на 1 га под покровную культуру привело к снижению урожайности клевера лугового. Вероятно, это произошло из-за избыточного азотного питания покровной культуры, что привело к ее преждевременному полеганию, к сильному

затенению и гибели части всходов клевера. Добавление к аммиачной селитре фосфорных или калийных минеральных удобрений сглаживало негативное действие азота. Наибольшая урожайность сена клевера лугового в сумме за два укоса была получена при комплексном внесении изучаемых удобрений на варианте $N_{48}P_{48}K_{48}$ (прибавка к контролю составила 98 %). Дальнейшее увеличение дозы было неэффективно.

В 2023 г. одностороннее применение азотных, фосфорных и калийных удобрений было практически на одном уровне. Более заметные изменения в урожайности наблюдались при внесении парных комбинаций минеральных удобрений, особенно при взаимодействии фосфора с калием. Прибавка к контролю в сумме за два укоса на этом варианте составила 47 %. Оптимальным по

продуктивности вариантом также являлся вариант с внесением $N_{48}P_{48}K_{48}$, на котором урожайность сена увеличилась до 8,3 ц/га.

Высота растений является одним из основных показателей, участвующих в формировании урожайности зеленой массы клевера лугового. В 2022 г., по сравнению с 2023 г., растения клевера были более высокорослыми, формируя более длинные междоузлия. Превышение по высоте

составило до 10 см, обеспечив при этом максимальный сбор урожайности.

Выявлена высокая и средняя корреляционная связь между изучаемыми показателями (рис. 3, 4). Наиболее высокой она была в 2022 г. ($r = 0,70$) по сравнению с 2023 г. ($r = 0,56$). Так как $r \neq 0$ зависимость прямопропорциональная, т.е. при изменении высоты растений на 1 см величина урожайности увеличивалась на 0,25 или 0,08 т/га в зависимости от года исследований.

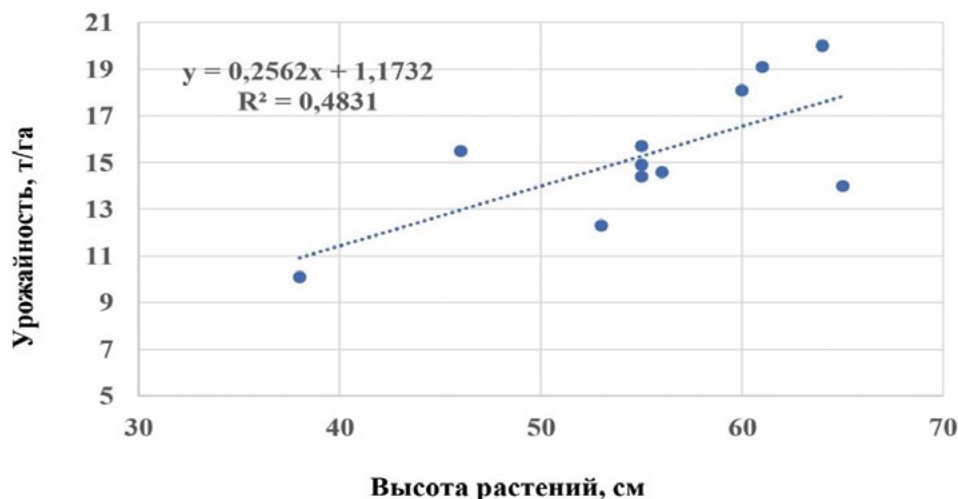


Рис. 3. Взаимосвязь урожайности и высоты растений клевера лугового сорта Починковец в 2022 г.
The relationship between yield and height of clover plants of the meadow variety Pochinkovets in 2022

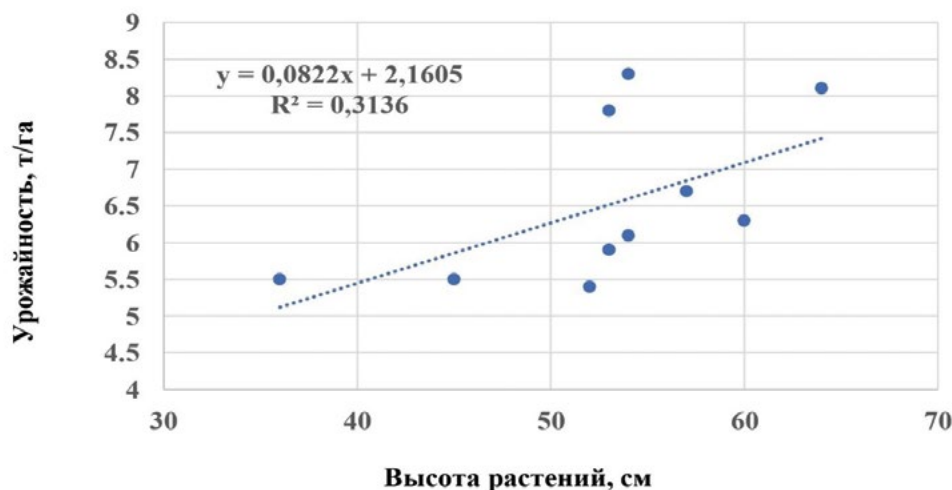


Рис. 4. Взаимосвязь урожайности и высоты растений клевера лугового сорта Починковец в 2023 г.
The relationship between yield and height of clover plants of the meadow variety Pochinkovets in 2023

По мнению ряда авторов, фосфорные и калийные минеральные удобрения существенно способствуют увеличению питательной ценности клевера лугового. Одним из ключевых показателей качества кормов является сбор сырого протеина [1]. В ходе наших исследований было

установлено, что этот показатель напрямую зависит от величины урожайности: в 2022 г. он увеличился в 2,3 раза по сравнению с контролем, в 2023 г. – в 1,8 раза (табл. 2). Максимальный сбор сырого протеина был зафиксирован в варианте с наибольшей продуктивностью.

Таблица 2

Сбор сырого протеина при применении возрастающих доз минеральных удобрений
Collection of crude protein with the use of increasing doses of mineral fertilizers

Вариант	Сбор сырого протеина, т/га	
	2022 г.	2023 г.
$N_0P_0K_0$	1,27	0,68
$N_{48}P_0K_0$	1,83	0,79
$N_0P_{48}K_0$	2,03	0,77
$N_0P_0K_{48}$	2,02	0,74
$N_{48}P_{48}K_0$	1,87	0,86
$N_{48}P_0K_{48}$	2,43	0,79
$N_0P_{48}K_{48}$	1,85	1,10
$N_{16}P_{16}K_{16}$	1,57	0,70
$N_{32}P_{32}K_{32}$	1,99	0,81
$N_{48}P_{48}K_{48}$	3,00	1,29
$N_{64}P_{64}K_{64}$	2,60	1,18

Оценка накопления органического вещества пожнивно-корневых остатков, общего и биологического азота, оставленного клевером луговым сорта Починковец после распашки поля, представлена на рис. 5. После распашки клевера в почву поступило от 5,22 до 9,52 т/га органического вещества, что по содержанию азота эквивалентно от 0,70 до 1,27 т/га навоза. С органическим ве-

ществом в почве накопилось до 181 кг/га общего азота, в том числе до 118 кг/га фиксированного азота, эквивалентно 347 кг/га аммиачной селитры, который будет использоваться на формирование урожая последующими культурами севооборота. Комплексное применение минеральных удобрений было более эффективным приемом по сравнению с их односторонним внесением.

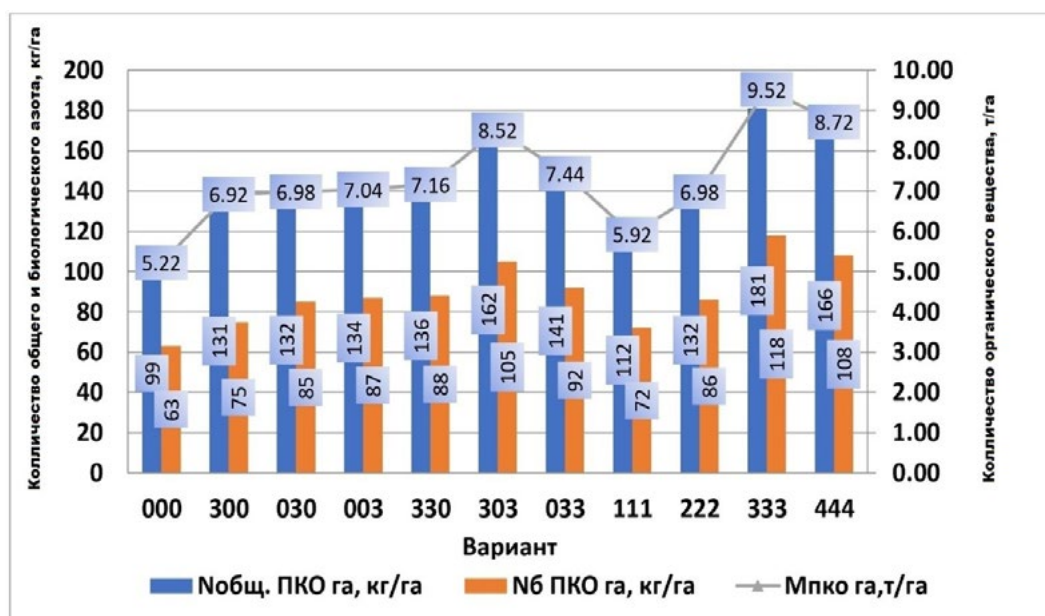


Рис. 5. Накопление органического вещества $M_{ПКО}$, общего $N_{общ. ПКО}$ и биологического азота $N_{б. ПКО}$ после уборки клевера лугового (в среднем за 2022–2023 гг.)

Accumulation of organic matter ($M_{ПКО}$), total ($N_{общ. ПКО}$) and biological nitrogen ($N_{б. ПКО}$) after harvesting meadow clover (on average for 2022–2023)

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений в технологии возделывания клевера лугового зависела от соотношения величины урожая с учетом его качества, а также затрат на их использование. Применение удобрений, особенно их комплексное внесение, положительно сказывалось на увеличении урожайности, прибавка достигала 6,3 т/га (табл. 3). Себестоимость 1 т продукции, в зависимости от минерального фона, достигала 131,4 р. Наиболее экономически выгодным был вариант $N_{48}P_{48}K_{48}$. Здесь, при наименьшей себестоимости продукции (84,0 р./т), была получена наибольшая прибыль с 1 га (16350 р.) и самая высокая рентабельность (137 %).

Анализ энергетической эффективности использования удобрений показал достаточно высокий коэффициент их полезного действия, особенно на вариантах с односторонним их использованием. Однако эти варианты не рекомендуются к использованию, так как со временем без применения полного минерального удобрения баланс основных элементов питания в почве станет отрицательным, что приведет к полному истощению природных запасов. С повышением доз удобрений происходило снижение коэффициента энергетической эффективности, что обусловлено большими энергозатратами на применение удобрений. Поэтому наиболее оптимальным по данному показателю был вариант с полной дозой минеральных удобрений ($N_{48}P_{48}K_{48}$).

Таблица 3

Эффективность применения возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании клевера лугового (в среднем за 2022–2023 гг.)
The effectiveness of the use of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of meadow clover (average for 2022–2023)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Оплата, кг/кг	Выручка от реализации сена с 1 га р.	Производственные затраты на 1 га р.	Себестоимость, р./т	Прибыль, р./га	Рентабельность, %	Биоэнергетический КПД, ед.
$N_0P_0K_0$	7,8	–	–	15600	10250	131,4	5350	52	-
$N_{48}P_0K_0$	10,2	2,4	5,0	20400	10660	104,5	9740	91	2,1
$N_0P_{48}K_0$	10,8	3,0	6,2	21600	10700	99,0	10900	101	18,7
$N_0P_0K_{48}$	10,5	2,7	5,6	21000	10500	100,0	10500	100	25,6
$N_{48}P_{48}K_0$	10,6	2,8	2,9	21200	11100	104,7	10100	90	2,2
$N_{48}P_0K_{48}$	12,7	4,9	5,1	25400	11050	87,0	14350	129	4,1
$N_0P_{48}K_{48}$	11,0	3,2	3,3	22000	11150	101,4	10850	97	12,1
$N_{16}P_{16}K_{16}$	8,8	1,0	2,1	17600	11500	130,6	6100	53	2,2
$N_{32}P_{32}K_{32}$	10,4	2,6	2,7	20800	11700	112,5	9100	77	2,8
$N_{48}P_{48}K_{48}$	14,1	6,3	4,4	28200	11850	84,0	16350	137	4,6
$N_{64}P_{64}K_{64}$	12,9	5,1	2,7	25800	11950	92,6	13850	115	2,8

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со средним и повышенным содержанием подвижных элементов питания при возделывании клевера лугового Починковец в севообороте оптимальной дозой являлась $N_{48}P_{48}K_{48}$, внесенная под покровную культуру, обеспечившая в средних для Смоленского района метеорологических

условиях урожай сена на уровне 14,1 т/га, наибольшую прибыль 16350 р. и рентабельность (137 %) при наименьшей себестоимости продукции (84,0 р.).

2. В среднем за один год пользования травостоя клевер луговой оставил в почве до 9,52 т/га органического вещества, что может в значительной мере сказаться на стабилизации и повышении содержания гумуса в почве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Продуктивность* и качество клевера лугового при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко, М.М. Ломонос [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2 (47). – С. 78–87.
2. *Возделывание* клевера лугового в длительном стационарном опыте с удобрениями / Ф.А. Попов, Л.М. Козлова, Е.Н. Носкова [и др.] // Пермский аграрный вестник. – 2023. – № 2 (42). – С. 51–57. – DOI: 10.47737/2307-2873_2023_42_51.
3. *Neliubina Zh.S., Kasatkina N.I., Fatykhov I.Sh.* Formation of dry mass by agrophytocenosis of perennial grasses based on tetraploid red clover // Volga Region Farmland. – 2020. – No. 3 (7). – P. 7–11. – DOI: 10.26177/VRF.2020.7.3.002.
4. *Продуктивность* и кормовая ценность зеленой массы клевера лугового на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / В.В. Лапа, М.М. Ломонос, О.Г. Кулеш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2 (47). – С. 87–96.
5. *Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я.* Экология азотфиксации. – М.: РАН, 2019. – 252 с.
6. *Налиухин А.Н., Рыжакова А.А.* Азотфиксация клевера лугового при применении удобрений и известковании // Агрохимия. – 2021. – № 11. – С. 65–71. – DOI: 10.31857/S0002188121110090.
7. *Eliseev S.L., Akmanayev E.D., Likhachev S.V.* Productivity of red clover in the environmental conditions of different relief elements // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 23, No. 9. – P. 1171–1175. – DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.09.13138.
8. *Завалин А.А.* Биологический и минеральный азот в земледелии России. – М.: ВНИИА, 2022. – 256 с.
9. *Влияние* возрастающих доз азота на кормовую продуктивность многолетних трав / С.В. Иванова, О.В. Курдакова, А.М. Конова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 12. – С. 19–24. – DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp19-24.
10. *Эседуллаев С.Т., Шмелева Н.В.* Особенности аккумуляции азота многолетними травами в чистых и смешанных посевах в Верхневолжье // Плодородие. – 2016. – № 6 (93). – С. 16–18.
11. *Schipanski M.E., Drinkwater L.E.* Nitrogen fixation of red clover interseeded with winter cereals across a management-induced fertility gradient // Nutrient Cycling in Agroecosystems. – 2011. – Vol. 90, No. 1. – P. 105–119. – DOI: 10.1007/s10705-010-9415-z.
12. *Dynamics* of fermentation profile, bacterial communities and their functional characteristics in red clover / S. Wang, T. Shao, Ju. Li, J. Zhao, Zh. Dong // The Journal of Agricultural Science. – 2022. – Vol. 160, No. 6. – P. 535–544. – DOI: 10.1017/s0021859622000508.
13. *Гаврилова А.Ю., Конова А.М.* Урожайность многолетних трав и плодородие дерново-подзолистой почвы при длительном внесении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2 (54). – С. 71–77. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-71-77.
14. *Мазин А.М.* Влияние минеральных удобрений на хозяйственноценные признаки перспективного образца клевера лугового // Кормопроизводство. – 2023. – № 7. – С. 18–21. – DOI: 10.25685/KRM.2023.7.2023.003.
15. *Касаткина Н.И., Нелиубина Ж.С.* Продуктивность сортов клевера лугового в условиях Волго-Вятского региона // Вестник НГАУ. – 2023. – № 1 (66). – С. 39–45. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-39-45.
16. *Zarianova Z.A., Bekuzarova S.A.* The phenotypic features of red clover (*trifolium pratense* L.) that correlate with seed productivity // Journal of Agriculture and Environment. – 2020. – No. 3 (15). – P. 13–18. – DOI: 10.23649/jae.2020.3.15.3.
17. *Мамонтов В.Д., Маренкова Е.А.* Сортовое районирование сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытаний на госсортоучастках Смоленской области за 2020–2021 годы. – Смоленск, 2022. – 42 с.
18. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Книга по требованию, 2012. – 352 с.
19. *Нормативы* для определения вклада биологического азота бобовых культур в баланс азота России / А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская, Л.С. Чернова [и др.]. – М.: ВНИИА, 2013. – 4 с.
20. *Глушкова О.А., Матаис Л.Н., Козлова З.В.* Влияние погодных условий вегетационного периода на рост и развитие кормовых культур в севооборотах с насыщением их клевером луговым // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 67–1. – С. 51–56.
21. *Урожайность* клевера лугового в зависимости от агроклиматических условий Среднего Урала / Н.Н. Зезин, П.А. Постников, М.А. Тормозин [и др.] // Кормопроизводство. – 2020. – № 6. – С. 20–24.
22. *Saïm* GSMETEO. – URL: <https://www.gismeteo.by/weather-smolensk-4239>.

REFERENCES

1. Lapa V.V., Ivakhnenko N.N., Lomonosov M.M. [et al.], *Pochvovedenie i agrohimiya*, 2011, No. 2 (47), pp. 78–87. (In Russ.)

2. Popov F.A., Kozlova L.M., Noskova E.N. [et al.], *Permskij agrarnyj vestnik*, 2023, No. 2 (42), pp. 51–57, DOI: 10.47737/2307-2873_2023_42_51. (In Russ.)
3. Neliubina Zh.S., Kasatkina N.I., Fatykhov I.Sh., Formation of dry mass by agrophytocenosis of perennial grasses based on tetraploid red clover, *Volga Region Farmland*, 2020, No. 3 (7), pp. 7–11, DOI: 10.26177/VRF.2020.7.3.002.
4. Lapa V.V., Lomonosov M.M., Kulesh O.G. [et al.], *Pochvovedenie i agrohimiya*, 2011, No. 2 (47), pp. 87–96.
5. Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya., *Ekologiya azotifikatsii* (Ecology of nitrogen fixation), Moscow: RAS, 2019, 252 p.
6. Naliukhin A.N., Ryzhakova A.A., *Agrohimiya*, 2021, No. 11, pp. 65–71, DOI: 10.31857/S0002188121110090. (In Russ.)
7. Eliseev S.L., Akmanaev E.D., Likhachev S.V., Productivity of red clover in the environmental conditions of different relief elements World, *Applied Sciences Journal*, 2013, Vol. 23, No. 9, pp. 1171–1175, DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.09.13138.
8. Zavalin A.A. *Biologicheskij i mineral'nyj azot v zemledelii Rossii* (Biological and mineral nitrogen in agriculture in Russia), Moscow: VNIIA, 2022, 256 p.
9. Ivanova S.V., Kurdakova O.V., Konova A.M. [et al.], *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2019, No. 12, pp. 19–24, DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp19-24. (In Russ.)
10. Esdullaev S.T., Shmeleva N.V., Plodorodie, 2016, No. 6 (93), pp. 16–18. (In Russ.)
11. Schipanski M.E., Drinkwater L.E., Nitrogen fixation of red clover interseeded with winter cereals across a management-induced fertility gradient, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, Vol. 90, No. 1, pp. 105–119, DOI: 10.1007/s10705-010-9415-z
12. Wang S., Shao T., Li Ju., Zhao J., Dong Zh., Dynamics of fermentation profile, bacterial communities and their functional characteristics in red clover, *The Journal of Agricultural Science*, 2022, Vol. 160, No. 6, pp. 535–544, DOI: 10.1017/s0021859622000508.
13. Gavrilova A.Yu., Konova A.M., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2021, No. 2 (54), pp. 71–77, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-71-77. (In Russ.)
14. Mazin A.M., *Kormoproizvodstvo*, 2023, No. 7, pp. 18–21, DOI: 10.25685/KRM.2023.7.2023.003. (In Russ.)
15. Kasatkina N.I., Nelyubina Zh.S., *Vestnik NGAU*, 2023, No. 1 (66), pp. 39–45, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-39-45. (In Russ.)
16. Zarianova Z.A., Bekuzarova S.A., The phenotypic features of red clover (*trifolium pratense* L.) that correlate with seed productivity, *Journal of Agriculture and Environment*, 2020, No. 3 (15), pp. 13–18, DOI: 10.23649/jae.2020.3.15.3.
17. Mamontov V.D., Marenkova E.A., *Sortovoe rajonirovanie sel'skohozyajstvennyh kul'tur i rezul'taty sortoispytanij na gossortouchastkah Smolenskoj oblasti za 2020-2021 gody* (Varietal zoning of agricultural crops and the results of variety tests at the state export sites of the Smolensk region for 2020–2021), Smolensk, 2022, 42 p.
18. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* (Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Book on demand, 2012, 352 p.
19. Zavalin A.A., Blagoveshchenskaya G.G., Chernova L.S. [et al.], *Normativy dlya opredeleniya vklada biologicheskogo azota bobovyh kul'tur v balans azota Rossii* (Standards for determining the contribution of biological nitrogen of legumes to the nitrogen balance of Russia), Moscow: VNIIA, 2013, 4 p.
20. Glushkova O.A., Matais L.N., Kozlova Z.V., *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2020, No. 67–1, pp. 51–56. (In Russ.)
21. Zezin N.N., Postnikov P.A., Brake M.A. [et al.], *Kormoproizvodstvo*, 2020, No. 6, pp. 20–24. (In Russ.)
22. <https://www.gismeteo.by/weather-smolensk-4239>.

Информация об авторах:

А.Ю. Гаврилова, кандидат биологических наук

А.М. Конова, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

A.Yu. Gavrilova, PhD in Biological Sciences

A.M. Konova, PhD in Agricultural Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СЕЛЕКЦИЯ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ РАЗЛИЧНОГО ЦЕЛЕВОГО НАПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

¹Ю.А. Гуреева, ¹А.С. Батов, ^{1,2}А.Г. Березовская, ²И.В. Кондратьева

¹Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Института цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Россия

²ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

E-mail: gureva97@yandex.ru

Для цитирования: Селекция сортов картофеля различного целевого направления в условиях лесостепи Новосибирского Приобья / Ю.А. Гуреева, А.С. Батов, А.Г. Березовская, И.В. Кондратьева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 45–53. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-45-53.

Ключевые слова: картофель, гибрид, селекция, гибридизация, продуктивность.

Реферат. В рамках комплексного плана научных исследований по реализации подпрограммы ФНТП «Развитие селекции и семеноводства картофеля» на базе СибНИИРС – филиала Института цитологии и генетики СО РАН ведется селекционная картофельная программа по различным направлениям. Основными из них являются: селекция на адаптивность, раннеспелость, высокая продуктивность, нематодоустойчивость и пригодность к переработке на хрустящий картофель и фри. Цель исследования – изучить лучшие гибриды питомника конкурсного сортоиспытания по различным селекционным направлениям. Объектом исследования являлись 12 лучших гибридов картофеля из питомника конкурсного сортоиспытания. За стандарт были взяты три сорта: Юна, Невский и Свитанок киевский. Коэффициент адаптивности выше 1 отмечен у 67 % гибридов конкурсного питомника. По раннему урожаю выделились три гибрида, превысившие стандарт: 2029, 812-5 и 1920/3-1. Средняя продуктивность в годы исследований свыше 30 т/га отмечена у восьми гибридов конкурсного питомника: 4797/3-1 (30,4 т/га), 886/1-4 (30,7 т/га), 1-14-1а (31,1 т/га), 1014/8-1 (32,4 т/га), 785/8-5 (32,9 т/га), 2302 (34,6 т/га), 2029 (36,1 т/га) и 1920/3-1 (38,7 т/га). По результатам всероссийского пункта по испытанию картофеля на устойчивость к раку и нематод (ВНИИКС, г. Москва) 83 % гибридов конкурсного питомника устойчивы к золотистой картофельной нематодой. По пригодности к переработке на хрустящий картофель выявлен один высокопригодный образец – 2660/1 (8 баллов). Для переработки на картофель фри рекомендуются три высокопригодных (8–9 баллов) гибрида: 2681/4, 4797/3-1, 1920/3-1. В результате селекционной работы в СибНИИРС создано и передано на госсортоиспытание два среднеранних гибрида: 785/8-5 (Алка) – с 2022 г.; 1014/8-1 (Ника) – с 2023 г. Ранняя продуктивность гибрида 1920/3-1 на 64 % превысила ранний сорт-стандарт Юна, данный образец готовится к передаче на госсортоиспытание среди раннеспелой группы созревания под названием Атаман. Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWN-2022-0033.

SELECTION OF POTATO VARIETIES OF VARIOUS TARGET AREAS IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE OF THE NOVOSIBIRSK OBREGION

¹Yu.A. Gureeva, ¹A.S. Batov, ^{1,2}A.G. Berezovskaya, ²I.V. Kondratieva

¹Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding - branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: gureva97@yandex.ru

Keywords: potato, hybrid, breeding, hybridization, productivity.

Abstract. As part of the comprehensive research plan for the implementation of the FNTF subprogram “Development of potato breeding and seed production”, a potato breeding program is being conducted on the basis of the SibNIIRS branch of the ICIG SB RAS in various areas, the main ones are: selection for adaptability, early maturity, high productivity, nematode resistance and suitability for processing into crispy potatoes and fries. The purpose of the study is to study the best hybrids of the nursery of competitive variety testing in various breeding areas. The object of the study was 12 best potato hybrids from the nursery of competitive variety testing. Three varieties were taken as the standard: Yuna, Nevsky and Svitank Kievsky. The coefficient of adaptability

over 1 was noted in 67% of hybrids of the competitive nursery. According to the early harvest, three hybrids that exceeded the standard were distinguished: 2029, 812-5, and 1920/3-1. The average productivity in the years of research over 30 t/ha was noted in 8 hybrids of the competitive nursery: 4797/3-1 (30.4 t/ha), 886/1-4 (30.7 t/ha), 1-14-1a (31.1 t/ha), 1014/8-1 (32.4 t/ha), 785/8-5 (32.9 t/ha), 2302 (34.6 t/ha), 2029 (36.1 t/ha) and 1920/3-1 (38.7 t/ha). According to the results of the All-Russian potato testing center for resistance to cancer and nematode (VNIKH, Moscow), 83% of hybrids of the competitive nursery are resistant to golden potato nematode. According to the suitability for processing for crispy potatoes, one highly suitable sample was identified – 2660/1 (8 points). Three highly suitable (8-9 points) hybrids are recommended for processing into French fries: 2681/4, 4797/3-1, 1920/3-1. As a result of the selection of SibNIIRS, two medium-early hybrids were created and submitted for State Testing: 785/8-5 (Alka) - from 2022; 1014/8-1 (Nika) – from 2023. The early productivity of the hybrid 1920/3-1 was 64% higher than the early variety-the Yna standard, this sample is being prepared for transfer to the State Variety Testing among the early ripening group called Ataman. This work was supported by IC&G budget project No FWNR-2022-0033.

На сегодняшний день во всем мире возделывается свыше 10000 сортов картофеля, в нашей стране по данным Государственного реестра селекционных достижений представлено 517 сортов [1, 2]. При этом существует большая необходимость создания новых сортов картофеля в связи с постоянным развитием патогенов и изменением климатических условий [3]. В настоящее время актуальны сорта с широкой адаптацией к стрессовым условиям, которые будут пригодны к переработке на разнообразные направления пищевой и химической промышленности [4].

В Сибирском НИИ селекции и семеноводства ведется селекционная картофельная программа по различным направлениям, основными из них являются: селекция на адаптивность, раннеспелость, высокую продуктивность (свыше 30 т/га), нематодоустойчивость и пригодность к переработке на хрустящий картофель и фри [5].

Создание адаптивных сортов картофеля для условий Новосибирского Приобья является приоритетной задачей. Изучение перспективных гибридов в данном регионе позволит выявить наиболее пластичные образцы, устойчивые к местным климатическим условиям, почвенным особенностям и болезням, что гарантирует высокую стабильную урожайность [6].

В Западной Сибири в селекции картофеля большое внимание уделяют сортам с ранним сроком созревания и высокой урожайностью. Ранние сорта картофеля в короткие сроки формируют товарную продукцию до массового развития фитофтороза, что позволяет сократить использование фунгицидов [7, 8]. Кроме этого, выращивание ранних сортов картофеля экономически выгодно, стоимость продукции в июле-августе имеет более высокие значения в сравнении с массовой уборкой в сентябре-октябре [9, 10].

По данным центра агроаналитики в Новосибирской области, в 2023 г. средняя урожайность

картофеля составила 20,3 т/га, при этом, по мнению Р.Р. Галеева, в хозяйствах региона возможно получить среднюю урожайность свыше 35 т/га [11, 12]. Создание новых высокопродуктивных сортов картофеля и их последующее внедрение на поля сельхозпроизводителей позволит повысить среднюю урожайность и эффективность производства в данном регионе [13].

По данным Россельхознадзора, до 2018 г. зараженность полей золотистой картофельной нематодой составляла 30878,23 га на территориях 26 районов Новосибирской области [14]. Селекция нематодоустойчивых сортов картофеля в Сибирском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства активно ведется с 2000 г. В процесс гибридизации целенаправленно включается один из родителей с обязательной устойчивостью к золотистой картофельной нематодой (*Globodera rostochiensis*). За это время в коллекции изучили свыше 400 нематодоустойчивых сортов отечественной и зарубежной селекции. Лучшие нематодоустойчивые сорта были включены в селекционный процесс: Гала, Беллароза, Кураж, Кардинал, Жуковский ранний, Пушкинец, Пикассо, Симфония, Скалдия, Фокстон, Омега и др. Создание сортов с природной устойчивостью к нематодам позволит избежать карантинных ограничений и снизить потери урожая [15, 16].

В последнее время в условиях Западной Сибири актуальна селекция сортов картофеля, пригодных для переработки на хрустящий картофель и фри. В 2021 г. в Новосибирской области начал работу завод компании «PepsiCo» по производству хрустящего картофеля [17]. Для обеспечения необходимого сырья и снижения логистических затрат выгоднее закупать продукцию у местных производителей. Сорта зарубежной селекции, пригодные для переработки в условиях резко континентального климата, зачастую не способны реализовать свой потенциал продуктивно-

сти. Селекция сортов картофеля на чипсы и фри позволит создать местные сорта, пригодные к переработке с необходимыми биохимическими характеристиками, подходящими для этих видов производства [18, 19].

Цель исследования – изучить лучшие гибриды питомника конкурсного сортоиспытания по различным селекционным направлениям.

Задачи исследования:

1. Выявить адаптивные гибриды для условий Новосибирского Приобья.
2. Определить раннеспелые сортообразцы.
3. Выделить высокопродуктивные гибриды.
4. Идентифицировать среди гибридов нематоустойчивые образцы.
5. Изучить потенциально пригодные образцы к переработке на хрустящий картофель и картофель фри.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проведено в 2021–2023 гг. на опытных полях Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиала Института цитологии и генетики СО РАН.

Объектом исследования являлись 12 лучших гибридов картофеля из питомника конкурсного сортоиспытания. За стандарт были взяты три сорта: Юна (ранний) – стандарт для определения ранних сортов, Невский (среднеранний) – для определения продуктивных образцов во время уборки, Свитанок киевский (среднеранний) – высококрахмалистый стандарт.

Почвенный покров представлен среднemosным выщелоченным черноземом с агрохимической характеристикой пахотного слоя почвы

(0–30 см): гумуса (по Тюрину) около 5 %, общего азота 0,34 % (по Кьельдалю), валового фосфора 0,30 %, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) 29 и 13 мг на 100 г почвы соответственно, рН = 6,7–6,8. Предшественник – сидеральный пар (рапс).

Посадка образцов конкурсного питомника в годы исследований проходила в общепринятые сроки для Новосибирской области (2–3-я декады мая).

Площадь посадки 70 × 35 см, масса посадочного клубня 50–70 г, площадь делянки 30 м², учетная – 25 м², повторность 3-кратная, размещение делянок рендомизированное. Посадка вручную по бороздам. Уборка проводилась механизировано (МТЗ Беларусь 82 с копателем картофеля КТН-2ВМ-02). Обработку в целях защиты посадок картофеля проводили следующими препаратами: довсходовый гербицид от однолетних двудольных и злаковых сорняков – Гезагард, КС (2,5 л/га), системный инсектицид от колорадского жука – Конфидор Экстра, ВДГ (0,05 кг/га).

Метеоусловия в годы исследований 2021–2023 гг. характеризовались недостаточным увлажнением (табл. 1). Среднесортная урожайность изученных сортообразцов картофеля в 2021 и 2022 гг. была примерно на одном уровне: 30,4 т/га и 30,5 т/га соответственно. Данные годы исследований были схожи в первый период вегетации, когда закладывался будущий урожай картофеля. Недостаточное увлажнение в мае (ГТК = 0,60) отмечено в 2021 г., сильная майская засуха была отмечена в 2022 г. (ГТК = 0,06). Благодаря обильным осадкам в июне 2021 и 2022 гг. (ГТК 1,51 и 1,22 соответственно) майская засуха не отразилась на урожайности картофеля.

Таблица 1

Гидротермический коэффициент, 2021–2023 гг.
Hydrothermal coefficient, 2021–2023

Год	Май	Июнь	Июль	Август	За вегетацию
Среднепогодный ГТК	1,25	1,07	1,13	1,13	1,13
2021	0,60	1,51	0,37	1,20	0,90
2022	0,06	1,22	0,81	0,45	0,66
2023	0,18	0,46	0,93	2,04	0,98

Примечание. Увлажнение оптимальное, если ГТК = 1–1,5, избыточное – ГТК более 1,6, недостаточное – ГТК менее 1, слабое – ГТК менее 0,5.

Начало вегетации в 2023 г. характеризовалось как засушливое, в мае наблюдалась очень сильная засуха (ГТК = 0,18), осадков за весь месяц выпало 5,5 мм (15 % от нормы, при этом

среднесуточная температура воздуха составила 11,8 °С что на 0,1 °С ниже нормы). В июне установилась очень засушливая погода (ГТК = 0,46, средняя засуха), распределение осадков было

крайне неравномерным на фоне повышенной среднесуточной температуры (среднесуточная температура месяца по данным наблюдений составила 19,0 °С, отклонение от нормы +1,4 °С). Всего выпало 26,1 мм осадков (47 % от нормы), в том числе 5 мм – в конце первой декады месяца и 18 мм – в конце третьей. В августе недостаточное увлажнение сменилось проливными дождями, влагообеспеченность месяца – избыточная ГТК = 2,04. Всего за месяц выпало 112,3 мм осадков (194 % от нормы). Вегетационный период 2023 г. был неблагоприятным для растений картофеля, среднесортная урожайность снизилась в сравнении с 2021 и 2022 гг.

Закладка опыта, проведение учетов, оценка образцов в полевых условиях проводились согласно методическим рекомендациям ВИР (2010) и ВНИИКС им. А.Г. Лорха (2019).

Коэффициент адаптивности рассчитан по методике выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм по параметру «урожайность» (Л.А. Животков, 1996).

Оценку качества ломтиков хрустящего картофеля и картофеля фри проводили визуально с использованием международной цветовой шкалы «Хантер Лаб» (Университет Кембриджа, Великобритания), адаптированной в отношении градации пригодности сортообразцов от 1 до 9 баллов.

Математическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа, используя программное обеспечение SNEDECOR (О.Д. Соколин, 2009).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Селекционная работа по картофелю начинается с большего количества ботанических гибридных семян с последующим выращиванием и отбором наилучших гибридных форм. С 2019 г. и по настоящее время наблюдается тенденция увеличения объемов скрещивания. За последние 5 лет проведена гибридизация 372 комбинаций, опылено 7995 цветков, завязана 2141 ягода, получено 186755 гибридных семян (табл. 2).

Таблица 2

Объем скрещиваний, 2019–2023 гг.
Crossbreeding volume, 2019–2023

Год	Комбинаций, шт.	Цветков, шт.	Ягод, шт.	% завязи	Кол-во семян	Семян на ягоду, шт.
2019	47	882	250	28	12536	50,1
2020	19	1288	53	4	4380	82,6
2021	97	1499	489	33	26958	55,1
2022	102	2126	806	38	92671	114,9
2023	107	2200	543	25	50210	92,5
Итого:	372	7995	2141	128	186755	-

Все сеянцы, полученные в результате выращивания гибридных семян картофеля, образуют совершенно новую гибридную популяцию, имеющую новую комбинацию генов, обусловленную гетерозиготностью родителей. В последующие годы проводится отбор генотипов с желаемыми признаками и их клубневое размножение. Финальной стадией перед созданием сорта является испытание в конкурсном питомнике.

На опытных полях в 2021–2023 гг. в конкурсном питомнике были проведены исследования, направленные на выявление новых перспективных образцов картофеля с высокой продуктивностью клубней для условий Новосибирского Приобья.

В конкурсном питомнике ежегодно изучаются от 25 до 30 гибридов картофеля местной

селекции. За последние три года были выявлены 12 высокопродуктивных гибридных образцов картофеля, превышающих стандартные сорта (табл. 3).

На продуктивность изученных образцов большое влияние оказали погодные условия. Среднесортная урожайность 2021 и 2022 гг. была примерно на одном уровне: 30,4 т/га и 30,5 т/га соответственно. Засуха в первую половину вегетации в 2023 г. отрицательно повлияла на среднесортную урожайность, которая составила 29,4 т/га.

Таблица 3

Продуктивность и коэффициент адаптивности лучших гибридов картофеля, 2021–2023 гг.
Productivity and adaptability coefficient of the best potato hybrids, 2021–2023

Сорт	Средний ранний урожай (60 дней п/п)		Урожай, т/га				Среднее содержание крахмала, %	Средний коэф. адаптивности K_a	С _у , %
	Урожай, т/га	Товарность, %	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее			
Юна, st	17,4	68	26,9	29,9	20,0	25,6	15,3	0,85	10,7
Свитанок, st	16,3	36	18,4	27,0	19,1	21,5	17,6	0,71	12,5
Невский, st	14,9	13	19,8	27,2	17,1	21,4	11,7	0,71	12,5
785/8-5	12,9	35	30,5	31,3	37,0	32,9	17,2	1,10	12,2
1014/8-1	13,2	44	28,9	31,1	37,2	32,4	12,5	1,08	12,9
1920/3-1	27,2	88	42,0	32,2	41,8	38,7	11,5	1,29	14,8
2029	18,5	75	40,1	32,1	36,0	36,1	11,5	1,20	12,4
886/1-4	13,6	61	30,1	31,3	30,8	30,7	13,0	1,02	11,4
2660/1	16,8	28	28,1	27,3	30,6	28,7	12,8	0,95	10,6
1-14-1a	15,6	67	29,4	33,6	30,3	31,1	11,7	1,03	11,6
2302	10,2	60	38,9	34,5	30,3	34,6	12,8	1,15	12,2
812-5	19,5	78	28,6	31,6	28,8	29,7	12,8	0,99	10,4
2681/4	11,0	54	31,6	30,1	28,0	29,9	13,5	0,99	10,8
4797/3-1	11,9	28	35,7	28,0	27,4	30,4	11,5	1,01	10,9
2693/8	17,1	27	27,1	30,2	26,7	28,0	10,2	0,93	9,9
Среднесортная урожайность			30,4	30,5	29,4				
НСР ₀₅			4,4	4,1	4,7				

Для выявления раннеспелых сортообразцов картофеля в конкурсном питомнике за стандарт был взят ранний районированный в Новосибирской области сорт Юна. Средняя ранняя урожайность (на 60 сут п/п) за годы исследований сорта-стандарта Юна составила 17,4 т/га, а товарность была на уровне 68 %. По раннему урожаю выделились три гибрида, превысивших стандарт: 2029 (урожайность 18,5 т/га, товарность 75 %); 812-5 (урожайность 19,5 т/га, товарность 78 %); 1920/3-1 (урожайность 27,2 т/га, товарность 88%). Ранняя продуктивность гибрида 1920/3-1 на 64 % превысила ранний сорт-стандарт, данный образец готовится к передаче на госсортоиспытание среди раннеспелой группы созревания под названием Атаман.

Для определения продуктивных образцов во время уборки за сорт-стандарт взят среднеранний районированный в Новосибирской области и входящий в 10 лучших отечественных сортов в РФ сорт Невский. Средняя продуктивность изученных сортообразцов во время уборки варьировала от 21,4 т/га у стандарта Невский до 38,7 т/га у гибрида 1920/3-1 (Атаман). В 2021 и 2023 гг.

выбранные лучшие гибриды из питомника КСИ достоверно превысили сорт-стандарт Невский. Благодаря погодным условиям в 2022 г. продуктивность стандартов возросла, урожайность сорта Невский составила 27,2 т/га. В 2022 г. по урожайности сорт-стандарт достоверно превысили 7 из 12 образцов: 785/8-5; 1920/3-1; 2029; 886/1-4; 1-14-1a; 2302 и 812-5.

В годы с неблагоприятными условиями для формирования урожая можно определить адаптивность изучаемых сортов картофеля по методике Л. А. Животкова, где для анализа адаптивного потенциала сортов используется понятие «среднесортная урожайность» [20]. Сорта, имеющие значение коэффициента адаптивности, равное или выше 1, являются адаптивными. Среди лучших гибридов конкурсного питомника 8 из 12 образцов имели коэффициент выше 1. Наибольшее значение показателя адаптивности отмечено у перспективного гибрида 1920/3-1 (Атаман) ($K_a = 1,29$). Гибриды, переданные на госсортоиспытание 785/8-5 (Алка) и 1014/8-1 (Ника), являются адаптивными, коэффициент их адаптивности составил 1,10 и 1,08 соответственно.

Чем выше значение коэффициента вариации, тем больше вариабельность признака в выборке. Коэффициент вариации у гибрида 2693/8 имел наименьшее значение среди изученных образцов – 9,9 %, следовательно урожайность данного образца стабильная. У остальных гибридов конкурсного питомника коэффициент вариации был средним и варьировал от 10,4 до 14,8 %.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что в данном исследовании

наибольшее влияние на урожайность сортов картофеля оказывает фактор «генотип» (сила влияния фактора 38 %). Доля влияния взаимодействия факторов «генотип» × «год» составила 16 %. Значение фактора «год» не существенное – 4 %, следовательно изученные гибриды картофеля из конкурсного питомника являются адаптивными (табл. 4).

Таблица 4

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа гибридов картофеля по признаку «урожайность», 2021–2023 гг.

Results of two-way analysis of variance of potato hybrids by yield, 2021–2023.

Источник варьирования	Сумма квадратов отклонения	Степени свободы	Средний квадрат	F факт.	F ₀₅	Сила влияния фактора, %
Общая	7653	134	57	–	–	100
Генотипы (А)	2893	14	207	5,31	1,86	38
Годы (В)	33	2	16	0,41	3,10	4
Взаимодействие А×В	1239	28	44	1,13	1,64	16
Случайные отклонения	3487	90	39	–	–	42

По результатам всероссийского пункта по испытанию картофеля на устойчивость к раку и нематод (Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства, далее –

ВНИИКСХ, г. Москва), 10 из 12 лучших гибридов конкурсного питомника устойчивы к золотистой картофельной нематод (табл. 5).

Таблица 5

Происхождение и устойчивость к карантинным болезням гибридов конкурсного питомника
Origin and resistance to quarantine diseases of hybrids of the competitive nursery

Гибрид	Происхождение	Год посева ботанических семян	Устойчивость к карантинным болезням	
			Рак	ЗКН
1920/3-1 (Атаман)	2643-1 × Гала	2015	+	+
2029	Беллароза × 92.7-26	2016	+	+
886/1-4	Никулинский × Скалдия	2004	+	+
2660/1	Наташа × Мираж	2017	+	+
1-14-1a	×елена × 946-3	2007	+	+
2302	Свитанок киевский × Беллароза	2017	+	+
812-5	Кардинал × Симфония	2004	+	-
2681/4	FL2373 × Беллароза	2017	+	+
4797/3-1	Кураж × 834/14	2013	+	+
2693/8	Гусар × Беллароза	2017	+	+
785/8-5 (Алка)	Пушкинец × Симфония	2005	+	-
1014/8-1 (Ника)	Никулинский × Пикассо	2005	+	+

Рак картофеля относится к карантинным заболеваниям, гибриды не устойчивые к данному патогену, не подлежат районированию. Перед

включением перспективных гибридов картофеля в конкурсный питомник проводят предварительные испытания в течение двух лет в зимний период в

карантинной лаборатории (ВНИИКХ, Москва), гибриды конкурсного питомника являются устойчивыми. Для дальнейшей передачи сорта также необходимо провести государственное испытание на полевом карантинном стационаре в течение двух лет.

Двухгодичная устойчивость к возбудителю рака (далемский патотип), по результатам государственного испытания, отмечена у следующих гибридов: 785/8-5, 1014/8-1, 812-5 и 886/1-4. Остальные гибриды находятся в процессе прохождения государственного полевого испытания.

Селекционный процесс картофеля занимает большое количество времени. С момента посева ботанических семян до включения лучших гибридных образцов в конкурсный питомник проходит от 7 до 19 лет. Гибриды, которые уже изучаются на протяжении 19 лет, находятся на госсортоиспытании: 785/8-5 (Алка) – с 2022 г.; 1014/8-1 (Ника) – с 2023 г.

В настоящее время одним из актуальных направлений в селекции картофеля является создание сортов, пригодных для переработки на хрустящий картофель и картофель фри (рисунок).



Пригодность гибридов картофеля к переработке на хрустящий картофель и картофель фри, 2023 г.

Suitability of potato hybrids for processing into crispy potatoes and French fries, 2023

На хрустящий картофель высокопригоден гибрид 2660/1 (8 баллов), чипсы из данного образца светло-желтые без пятен и прожилок с ровными краями. Пригодность на уровне сортов-стандартов Невский и Свитанок киевский отмечена у трех гибридов: 2681/4, 4797/3-1 и 1920/3-1, данные образцы являются пригодными (7 баллов – желтые чипсы с единичными коричневыми вкраплениями).

Для получения картофеля фри высокопригодны (8–9 баллов) три гибрида: 2681/4, 4797/3-1, 1920/3-1. Кроме этого, пригодны к переработке на картофель фри (7 баллов) следующие образцы: 2660/1, 785/8-5 и 2302.

ВЫВОДЫ

1. В результате изучения гибридов картофеля в конкурсном питомнике в условиях лесостепи Новосибирского Приобья были выделены 8 адаптивных образцов, имеющих коэффициент адаптивности свыше 1. Наибольшее значение

показателя адаптивности отмечено у гибрида 1920/3-1 (Атаман) (КА = 1,29).

2. По раннему урожаю выделились три гибрида, превысившие стандарт: 2029 (урожайность 18,5 т/га, товарность 75 %); 812-5 (урожайность 19,5 т/га, товарность 78 %); 1920/3-1 (урожайность 27,2 т/га, товарность 88 %). Ранняя продуктивность гибрида 1920/3-1 на 64 % превысила ранний сорт-стандарт, данный образец готовится к передаче на госсортоиспытание среди раннеспелой группы созревания под названием Атаман.

3. Средняя продуктивность изученных сортообразцов во время уборки варьировала от 21,4 т/га у стандарта Невский до 38,7 т/га у гибрида 1920/3-1 (Атаман). Продуктивность свыше 30 т/га отмечена у восьми гибридов конкурсного питомника: 4797/3-1 (30,4 т/га), 886/1-4 (30,7 т/га), 1-14-1a (31,1 т/га), 1014/8-1 (32,4 т/га), 785/8-5 (32,9 т/га), 2302 (34,6 т/га), 2029 (36,1 т/га) и 1920/3-1 (38,7 т/га). Два среднеранних продуктивных гибрида находятся на госсортоиспытании: 785/8-5 (Алка) – с 2022 г.; 1014/8-1 (Ника) – с 2023 г.

4. По результатам всероссийского пункта по испытанию картофеля на устойчивость к раку и нематод (ВНИИКС, Москва) 83 % гибридов конкурсного питомника устойчивы к золотистой картофельной нематоды, все гибриды устойчивы к раку картофеля (далемский патотип).

5. По пригодности к переработке на хрустящий картофель выявлен один высокопригодный образец – 2660/1 (8 баллов), а также три пригодных (7 баллов): 2681/4, 4797/3-1 и 1920/3-1. Для переработки на картофель фри рекомендуются три высокопригодных (8–9 баллов) гибрида: 2681/4, 4797/3-1, 1920/3-1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dolnicar P. Importance of potato as a crop and practical approaches to potato breeding // *Solanum tuberosum: Methods and Protocols*. – 2021. – P. 3–20.
2. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1: «Сорта растений» (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 630 с.
3. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России / Е.А. Симаков, Б.В. Анисимов, С.В. Жевора [и др.] // *Картофель и овощи*. – 2020. – № 12. – С. 22–26.
4. *Potato breeding* / M.W. Bonierbale [et al.] // *The potato crop: Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind*. – 2020. – P. 163–217.
5. Батов А.С., Гуреева Ю.А. Исходный материал для селекции картофеля на продуктивность в условиях лесостепи Новосибирского Приобья // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 4. – С. 22–29.
6. Сравнительная оценка ранних сортов картофеля и среднеспелого сорта Златка и пути повышения эффективности их семеноводства в лесостепи Приобья / А.И. Мурзин, П.Н. Потапов, Р.Р. Галеев [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 3. – С. 74–81.
7. Эколого-географическое испытание картофеля ранней и очень ранней групп спелости в лесостепи Приобья / А.Д. Сафонова, А.С. Батов, Ю.А. Гуреева [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. – 2020. – Т. 34, № 10. – С. 56–61.
8. Скороспелый сорт для получения раннего картофеля в Западной Сибири / С.Н. Красников, Н.В. Дергачева, О.В. Братчик [и др.] // *Евразийское Научное Объединение*. – 2017. – Т. 2, № 2. – С. 182–185.
9. Логинов Ю.П., Казак А.А., Хайруллина З.А. Урожайность раннеспелых сортов картофеля при раннем сроке посадки в северной лесостепи Тюменской области // *Агропродовольственная политика России*. – 2017. – № 4. – С. 35–39.
10. Эффективность выращивания раннего картофеля / М.И. Теммоев, А.Ю. Кишев, Т.Б. Жеруков [и др.] // *Экономические, био-техничко-технологические аспекты устойчивого сельского развития в условиях цифровой трансформации*. – 2019. – С. 266–268.
11. В Новосибирской области собрали около 2,4 млн т зерна [Электронный ресурс] // *Растениеводство* // Новосибирский филиал ФГБУ «Центр Агроаналитики». – 2023. – 31 окт. – URL: <https://specagro.ru/news/202310/v-novosibirskoy-oblasti-sobrali-okolo-24-mln-t-zerna> (дата обращения: 05.11.2023).
12. Галеев Р.Р. Особенности семеноводства картофеля на безвирусной основе в лесостепи Западной Сибири // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2010. – Т. 64, № 2. – С. 9–13.
13. Приоритеты научно-технического и инновационного развития АПК / А. Пилипук, Н. Бычков, И. Войтко [и др.] // *Аграрная экономика*. – 2020. – № 6. – С. 3–25.
14. Об отмене в Новосибирской области карантинного фитосанитарного режима по золотистой картофельной нематоды на территории более 30 000 гектар // Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор). – 2018. – URL: <https://fsvps.gov.ru/news/ob-otmene-v-novosibirskoj-oblasti-karantinno-go-fitosanitarnogo-rezhima-po-zolotistoj-kartofelnoj-nematode-na-territorii-bolee-30-000-gektar/> (дата обращения: 05.11.2023).
15. Методические положения и информационное обеспечение селекции на устойчивость к золотистой картофельной нематоды в Западной Сибири: метод. рекомендации / Б.Н. Дорожкин и др.; Россельхозакадемия. Сиб. регион. отд., СибФТИ. – Новосибирск, 2009. – 84 с.
16. Сафонова А.Д., Полухин Н.И., Артёмов Г.В. Направления и результаты селекционных исследований по картофелю в лесостепи Приобья // *Достижения науки и техники АПК*. – 2016. – Т. 30, № 10. – С. 32–34.
17. Чернова В.Ю. Роль иностранных компаний пищевой промышленности в стабилизации социально-экономического кризиса в период пандемии covid-19 // *Журнал прикладных исследований*. – 2021. – Т. 2. – № 4. – С. 52–58.
18. Основные направления селекции картофеля в Томской области / С.Н. Красников, А.И. Мурзин, В.В. Мананков [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. – 2016. – Т. 30, № 10. – С. 41–43.
19. Жевора С.В., Симаков Е.А., Анисимов Б.В. Селекция и семеноводство картофеля: научное обеспечение и бизнес-проекты // *Картофель и овощи*. – 2023. – № 4. – С. 6–10.

20. Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. – 1994. – Т. 2. – С. 3–6.

REFERENCES

1. Dolnicar P., Importance of potato as a crop and practical approaches to potato breeding, *Solanum tuberosum: Methods and Protocols*, 2021, pp. 3–20.
2. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T.1: «Sorta rastenii» (State Register of Breeding Achievements Approved for Use. V.1: “Plant Varieties”), Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2023, 630 p. (In Russ.)
3. Simakov E.A., Anisimov B.V., Zhevora S.V., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Mityushkin A.V., Gaizatulin A.S., *Kartofel' i ovoshchi*, 2020, No. 12, p. 22–26. (In Russ.)
4. Bonierbale M.W., Amoros W.R., Salas E., de Jong W., Potato breeding, *The potato crop: Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind*, 2020, pp. 163–217.
5. Batov A.S., Gureeva Yu.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 4, pp. 22–29. (In Russ.)
6. Murzin A.I., Potapov P.N., Galeev R.R., Potapov N.A., Potapova S.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 3, pp. 74–81. (In Russ.)
7. Safonova A.D., Batov A.S., Gureeva Yu.A., Orlova E.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, T. 34, No. 10, pp. 56–61. (In Russ.)
8. Krasnikov C.N., Dergacheva N.V., Bratchik O.V., Manankov V.V., *Evrasiiskoe Nauchnoe Ob"edinenie*, 2017, T. 2, No. 2, pp. 182–185. (In Russ.)
9. Loginov Yu.P., Kazak A.A., Khairullina Z.A., *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*, 2017, No. 4, pp. 35–39. (In Russ.)
10. Temmoev M.I., Kishev A.Yu., Zherukov T.B., Temmoev A.M., *Ekonomicheskie, bio-tekhniko-tekhnologicheskie aspekty ustoichivogo sel'skogo razvitiya v usloviyakh tsifrovoi transformatsii*, 2019, pp. 266–268. (In Russ.)
11. *Rasteniyevodstvo*, available at: <https://specagro.ru/news/202310/v-novosibirskoy-oblasti-sobrali-okolo-24-mln-t-zer-na> (data obrashcheniya: 05.11.2023). (In Russ.)
12. Galeev R.R., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, T. 64, No. 2, pp. 9–13. (In Russ.)
13. Pilipuk A., Bychkov N., Voytko I. [i dr.], *Agrarnaya ekonomika*, 2020, No. 6, pp. 3–25. (In Russ.)
14. *Federal'naya sluzhba po veterinarnomu i fitosanitarnomu nadzoru (Rossel'khoz nadzor)*, available at: <https://fsvps.gov.ru/news/ob-otmene-v-novosibirskoj-oblasti-karantinogo-fitosanitarnogo-rezhima-po-zolotistoj-kartofelnoj-nematode-na-territorii-bolee-30-000-gektar/> (data obrashcheniya: 05.11.2023). (In Russ.)
15. Dorozhkin B.N. [i dr.], *Metodicheskie polozeniya i informatsionnoe obespechenie seleksii na ustoichivost' k zolotistoi kartofel'noi nematode v Zapadnoi Sibiri* (Methodological provisions and information support of breeding for resistance to golden potato nematode in Western Siberia), Rossel'khozakademiya. Sib. region. otd-nie, SibFTI, Novosibirsk, 2009, 84 p. (In Russ.)
16. Safonova A.D., Polukhin N.I., Artemova G.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, T. 30, No. 10, pp. 32–34. (In Russ.)
17. Chernova V.Yu., *Zhurnal prikladnykh issledovaniy*, 2021, T. 2, No. 4, pp. 52–58. (In Russ.)
18. Krasnikov S.N., Murzin A.I., Manankov V.V., Bratchik O.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, T. 30, No. 10, pp. 41–43. (In Russ.)
19. Zhevora S.V., Simakov E.A., Anisimov B.V., *Kartofel' i ovoshchi*, 2023, No. 4, pp. 6–10. (In Russ.)
20. Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I., *Selektsiya i semenovodstvo*, 1994, T. 2, pp. 3–6. (In Russ.)

Информация об авторах:

Ю.А. Гуреева, младший научный сотрудник
 А.С. Батов, младший научный сотрудник
 А.Г. Березовская, старший лаборант
 И.В. Кондратьева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Contribution of the authors:

Yu.A. Gureeva, junior researcher
 A.S. Batov, junior researcher
 A.G. Berezovskaya, senior laboratory assistant
 I.V. Kondratieva, candidate of agricultural sciences, associate professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОДБОР ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА В СЕЛЕКЦИИ САХАРНОГО СОРГО НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

О.П. Кибальник, С.В. Кибальник

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», Саратов, Россия

E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Для цитирования: Кибальник О.П., Кибальник С.В. Прогнозирование и подбор исходного материала в селекции сахарного сорго на основе кластеризации // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 54–61. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-54-61.

Ключевые слова: сорго, селекционные признаки, урожайность, вариабельность, кластер, евклидово расстояние.

Реферат. В селекции сельскохозяйственных культур кластеризация образцов по минимуму евклидова расстояния обуславливает объединение совокупности множества признаков (морфологических, биохимических, фенологических, хозяйственных и др.) в кластеры по мере их объективного сходства. В последнее время селекционеры широко используют этот метод для оценки исходного материала и формирования коллекций для целенаправленного ведения селекции. Целью исследований являлось проведение кластеризации рабочей коллекции образцов сахарного сорго по комплексу признаков с последующим подбором наиболее ценных генотипов для целенаправленной дальнейшей селекции гибридов с высоким выходом сахаров с единицы площади. В представленной работе в качестве объектов исследований выступали 47 генотипов сахарного сорго, которые выращивали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в период с 2021 по 2023 гг. Условия вегетации культуры можно охарактеризовать как засушливые: гидротермический коэффициент изменялся от 0,62 до 0,75. Рассматриваемая коллекция включала генотипы с вариабельностью изучаемых признаков от 6,9 до 47,4 %. На 42-м шаге итерации образцы сгруппировались в шесть кластеров, достоверно различающихся по всем признакам, за исключением высоты растений. Первый кластер состоит из восьми образцов, второй – двадцати восьми, третий – четырех, четвертый – четырех, пятый – одного, шестой – двух. Наиболее перспективными оказались 34 образца из 2, 3 и 6-го кластеров, отличающихся высокорослостью (188,9–198,8 см), продуктивностью (семян – 2,50–2,57 т/га, надземной биомассы – 20,09–31,53 т/га), высоким содержанием сахаров в соке стебля (16,4–17,0 %) и мощным листовым аппаратом (площадь наибольшего листа – 207,9–312,8 см², флагового – 65,2–156,8 см²). Вовлечение подобранных образцов в программу скрещиваний будет способствовать созданию гибридов первого поколения сорго с высоким выходом сахаров с гектара посевов.

FORECASTING AND CHOICE OF THE STARTING MATERIAL IN THE SELECTION OF SUGAR SORGHUM BASED ON CLUSTERING

O.P. Kibalnik, S.V. Kibalnik

Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Keywords: sorghum, breeding characteristics, yield, variability, cluster, Euclidean distance.

Abstract. In crop breeding, clustering of samples at a minimum of the Euclidean distance causes the combination of a set of features (morphological, biochemical, phenological, economic, and others) into clusters according to their objective similarity. Recently, breeders have widely used this method to evaluate the source material and form collections for purposeful breeding. The aim of the research was to cluster the working collection of sugar sorghum samples according to a set of characteristics, followed by the selection of the most valuable genotypes for targeted further breeding of hybrids with a high yield of sugars per unit area. In the presented work, 47 genotypes of sugar sorghum were used as research objects, which were grown in the experimental field of the Federal State Budgetary Research Institution Russian Research and Design-

Technological Institute of Sorghum and Corn in the period from 2021 to 2023. The growing conditions of the crop can be characterized as arid: the hydrothermal coefficient varied from 0.62 to 0.75. The collection in question included genotypes with variability of the studied traits from 6.9 to 47.4 %. At the 42nd iteration step, the samples were grouped into 6 clusters, significantly differing in all characteristics, except for plant height. The first cluster consists of 8 varieties, the second – 28, the third – 4, the fourth – 4, the fifth – 1, the sixth – 2. The most promising were 34 samples from 2, 3 and 6 clusters, characterized by tallness (188.9-198.8 cm), productivity (seeds – 2.50-2.57 t/ha, aboveground biomass – 20.09-31.53 t/ha), high sugar content in the juice of the stem (16.4-17.0 %) and a powerful leaf apparatus (the area of the largest leaf is 207.9-312.8 cm², flag – 65.2-156.8 cm²). The involvement of selected samples in the breeding program will contribute to the creation of hybrids of the first generation of sorghum with a high yield of sugars per hectare of crops.

Прогнозирование новых гибридных комбинаций сахарного сорго с заданными параметрами, например высоким выходом сахаров с единицы площади, основано на поиске и выделении компонентов скрещиваний, характеризующихся необходимыми значениями признаков. Подбор родительских форм проводится по комплексу морфометрических, биохимических, физиологических признаков и продуктивности, анализ которых – достаточно трудоемкий процесс. В этой связи применение методов многомерной статистики в обработке экспериментальных данных является необходимым.

Одним из методов, позволяющих обработать большой массив признаков объектов исследований и группировать их по мере сходства в кластеры, считается кластерный анализ [1–2]. Так, в каждый кластер включаются схожие генотипы по большинству признаков, при этом образцы разных кластеров должны достоверно различаться [3]. Мерой различия между кластерами является евклидово расстояние.

Предлагаемый подход к оценке и подбору исходного материала для будущих комбинаций значительно обусловит успех в селекции гибридов сахарного сорго за счет увеличения информативности экспериментальных данных, а также подбора генотипов из различных объединенных групп [4–5]. Известно, что выбор родительских форм должен основываться на более широком межкластерном расстоянии и более высоких средних показателях урожайности и других хозяйственноценных признаках [6]. Перспективность применения кластерного анализа в селекции сельскохозяйственных культур отражена в работах многих исследователей. У сорговых эффективность использования иерархической структуры исходного материала выявлена по подбору: для гибридизации

ЦМС-линий на основе разных типов цитоплазм, обладающих повышенной засухоустойчивостью [7], высокопродуктивных сортообразцов суданской травы [8], сортообразцов сахарного сорго с наибольшим выходом биоэтанола [9].

Цель исследований: проведение кластеризации рабочей коллекции образцов сахарного сорго по комплексу признаков с последующим подбором наиболее ценных генотипов для целенаправленной дальнейшей селекции гибридов с высоким выходом сахаров с единицы площади.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований: 47 образцов сахарного сорго. Рабочая коллекция состоит из 18 коллекционных сортообразцов, 9 сортов и гибридов, 20 селекционных линий (табл. 1).

В роли стандарта выступил сорт Волжское 51, допущенный к использованию в Нижневолжском регионе РФ.

Селекционные признаки образцов коллекции, возделываемых на опытном поле института, оценивали в течение 2021–2023 гг. Площадь делянки закладывалась в зависимости от питомника: селекционный и коллекционный – 7,7 м², предварительное сортоизучение – 15,4 м², конкурсное сортоизучение – 30,8 м². Густота стояния растений корректировалась вручную до 100 тыс. шт./га. Повторность трехкратная.

Оценку показателей признаков (высота растений, длина, ширина и выдвинутость ножки соцветия, параметры наибольшего и флагового листа, урожайность, содержание сахаров) проводили согласно общепринятой методике [10]. Площадь листа определяли путем умножения длины и ширины листа на поправочный коэффициент (0,746) [11].

Таблица 1

Состав рабочей коллекции образцов сахарного сорго
Composition of the working collection of samples of sugar sorghum

Количество	Название
Коллекционные сорто-образцы (всего 18)	к-38 Янтарь красный (США); к-48 Янтарь Dakota (США); к-50; к-164 Cane Black Amber (США); к-166 Cane Texas Seed Ribbon (США); к-232 Early orange (США); к-256C Heads Orange (США); к-393 (Сев. Кавказ); к-600 Янтарь ранний (США); к-1371 Saccaline Sorghum (Ц. Америка); к-1413 Bombay Foololer (О-в Цейлон); к-1502 Budh Perio 53 (Индия); к-1608 Sumac Sorghum (США); к-1801 Black Amber (Австралия); к-1910 Red x sorgho (США); к-2127 Ново-Кубанское 262 (Россия); к-2472 Сорго местное (Болгария); к-3859 Оранжевое т. Сумак (Венгрия)
Сорта и гибриды (всего 9)	Камышинское 8 (Россия); Ларец (Россия); Кинельское 4 (Россия); Зерноградское 13 (Россия); Изольда (Россия); Момент (Россия); Севилья (Россия); Капитал (Россия); Волжское 51 (Россия)
Селекционные линии (всего 20)	Л-3 (Россия); Л-4 (Россия); Л-12 (Россия); Л-21 (Россия); Л-23 (Россия); Л-24 (Россия); Л-25/1 (Россия); Л-31 (Россия); Л-33 (Россия); Л-98/14 (Россия); О-30/18 (Россия); Л-67/13 (Россия); Л-5 (Россия); Л-75 (Россия); Л-16 (Россия); Л-104/14 (Россия); Л-6 (Россия); Л-10 (Россия); Л-52/13 (Россия); Л-44/13 (Россия)

Гидротермический режим в периоды вегетации сорго характеризовался следующими показателями гидротермического коэффициента: 2021 г. – 0,62; 2022 г. – 0,75; 2023 г. – 0,69.

Совокупность экспериментальных данных обрабатывали методом кластерного анализа по минимуму евклидоваго расстояния в программе «Агрос 2.09».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование морфологических признаков является наиболее распространенным подходом, используемым для оценки взаимосвязей между генотипами [6]. При создании гибридов сорго с высоким выходом сахаров с едини-

цы площади наибольшее внимание уделено признаку «содержание сахаров в соке главного стебля». Для селекции этого направления важно использовать хорошо изученные и правильно подобранные образцы. В этой связи рабочая коллекция формировалась по итогам трехлетних результатов исследований. В нее преимущественно включены образцы с высоким содержанием сахаров в соке главного стебля, при этом с различной селекционной ценностью. Поэтому и изменчивость данного признака слабая, всего 6,9 %. Следует отметить, что невысокое накопление сахаров установлено у стандарта сорта Волжское 51 (11,1 %), линии Л-5 (13,3 %), Л-75 (13,8 %); остальные образцы характеризовались содержанием водорастворимых сахаров в пределах 15,0–18,9 % (табл. 2).

Таблица 2

Вариабельность селекционных признаков образцов рабочей коллекции, среднее за 2021–2022 г.
Variability of breeding characteristics of working collection samples, average for 2021–2023.

Признак	Амплитуда изменчивости признака		Размах вариации R	Коэф. вариации V, %
	min	max		
1	2	3	4	5
Высота растений, см	148,0	218,0	135,0	8,1
Площадь наибольшего листа, см ²	134,3	322,3	188,0	22,4

1	2	3	4	5
Площадь флагового листа, см ²	60,3	147,2	86,9	21,8
Выдвинутость ножки соцветия, см	0,6	32,6	32,0	47,4
Длина соцветия, см	16,0	32,4	16,4	12,0
Ширина соцветия, см	4,2	15,8	11,6	32,5
Содержание сахаров в соке стебля, %	11,1	18,9	7,8	6,9
Урожайность биомассы, т/га	11,79	34,68	22,89	23,6
Урожайность зерна, т/га	1,05	4,32	3,27	28,2

Несмотря на значительную амплитуду значений высоты растений (от 148,0 до 218,0 см) и размах вариации (135,0 см) изменчивость признака слабая ($V = 8,1\%$). По длине соцветия коэффициент вариации составил 12,0 %. По параметрам листьев ($V = 21,8\text{--}22,4\%$), ширине соцветия ($V = 32,5\%$), выдвинутости ножки соцветия ($V = 47,4\%$), урожайности ($V = 23,6\text{--}28,2\%$) образцы коллекции характеризовались сильной изменчивостью, что свидетельствует о разнообразии представленных в коллекции генотипов.

Для классификации исходного материала по совокупности рассматриваемых признаков 47 образцов сахарного сорго подвергли кластеризации. Графическое изображение иерархической структуры представленного исходного материала отражено на рисунке.

Так, на 42-м шаге итерации (евклидово расстояние равно 16,302) образовались кластеры со следующим количеством образцов:

1) Л-52/13, Изольда, Зерноградское 13, Л-3, Л-44/13, Л-5, Л-75, Волжское 51 (всего 8);

2) к-48, к-166, Л-10, Л-16, Л-104/14, Момент, Севилья, к-164, Кинельское 4, Л-98/14, Л-33, О-30/18, Л-21, к-50, Л-67/13, Л-23, Л-6, Капитал, Л-12, Л-25/1, к-1801, к-1910, к-1502, Л-4, Камышинское 8, к-600, Л-24, Л-31 (всего 28);

3) к-38, к-393, к-2127, к-2472 (всего 4);

4) к-1371, к-3859, к-1608, к-256С (всего 4);

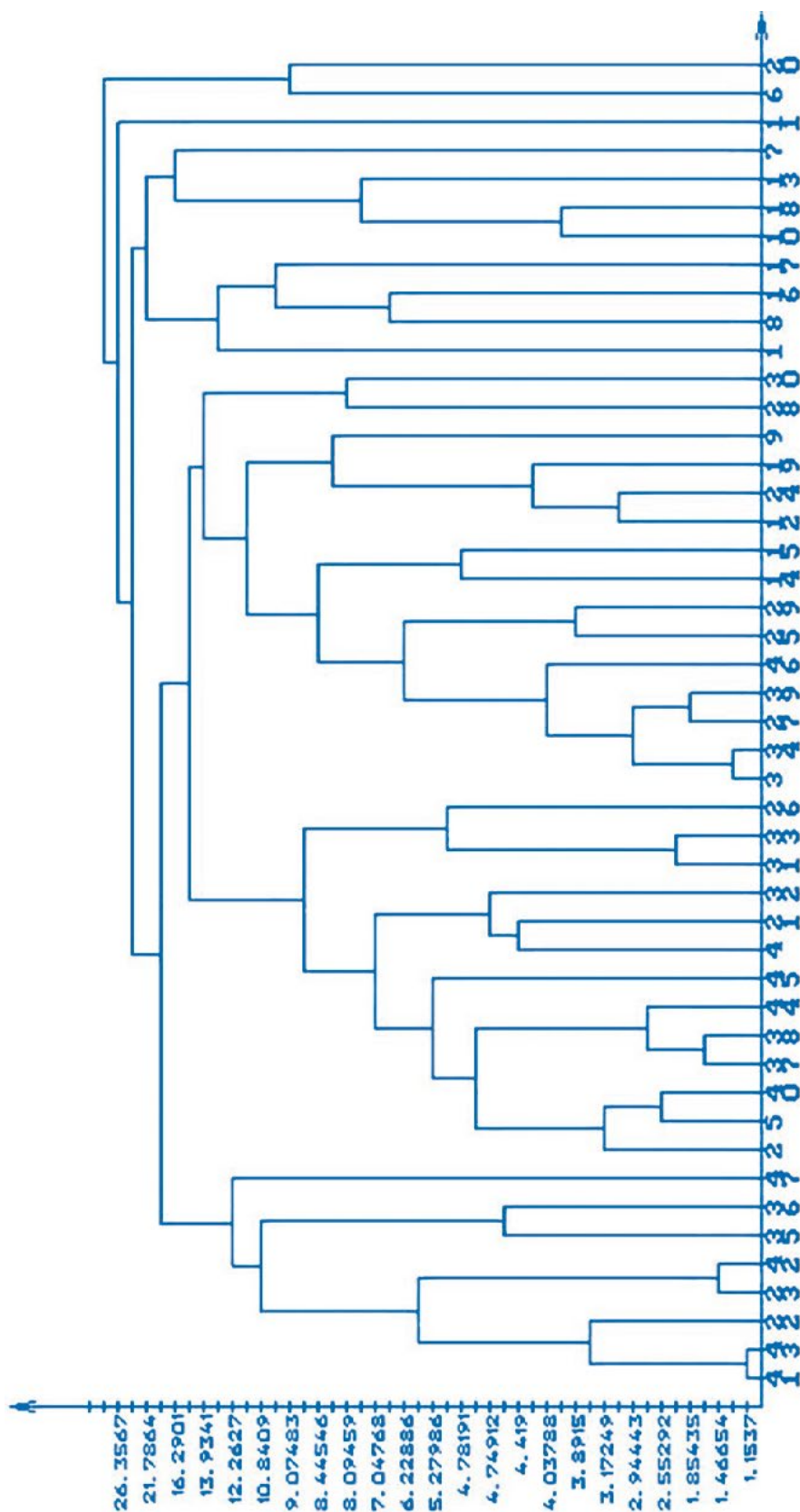
5) к-1413 (всего 1);

6) к-232, Ларец (всего 2).

Достоверные различия кластеров по селекционным признакам представлены в табл. 3 и подтверждены результатами дисперсионного анализа (табл. 4). Растения сортов и линий первого кластера с высокой урожайностью семян (3,84 т/га), длинным соцветием (23,2 см) и невысоким содержанием сахаров в соке стебля (14,4 %). Площадь фотосинтезирующей поверхности листьев средняя.

Самый многочисленный – это второй кластер, который объединил высокосахаристые (16,6 %) растения с некрупным наибольшим листом (площадь составила 207,9 см²), более выдвинутой ножкой (21,3 см) и шириной соцветия (11,1 см) по сравнению с представителями других кластеров, средней урожайностью семян и биомассы – 2,54 и 20,09 т/га соответственно.

Образцы третьего кластера отличаются высотой при созревании (192,4 см), продуктивностью зеленой массы (29,55 т/га) и семян (2,50 т/га), крупным наибольшим листом (площадь 271,5 см²), слабо выдвинутой ножкой соцветия (6,7 см) и более сжатой метелкой (ширина 5,8 см). При этом содержание водорастворимых сахаров в соке стебля высокое (17,0 %).



Дендрограмма кластеризации образцов рабочей коллекции сахарного сорго на основе исследований в среднем за 2021–2023 гг.
Dendrogram of clustering of samples of the working collection of sugar sorghum based on studies on average for 2021–2023.

Примечание. 1 – к-38; 2 – к-48; 3 – к-50; 4 – к-164; 5 – к-166; 6 – к-232; 7 – к-256С; 8 – к-393; 9 – к-600; 10 – к-1371; 11 – к-1413; 12 – к-1502; 13 – к-1608; 14 – к-1801; 15 – к-1910; 16 – к-2127; 17 – к-2472; 18 – к-3859; 19 – Камышинское 8; 20 – Ларей; 21 – Кинельское 4; 22 – Зерноградское 13; 23 – Л-3; 24 – Л-4; 25 – Л-12; 26 – Л-21; 27 – Л-23; 28 – Л-24; 29 – Л-25/1; 30 – Л-31; 31 – Л-33; 32 – Л-98/14; 33 – О-30/18; 34 – Л-67/13; 35 – Л-5; 36 – Л-75; 37 – Л-16; 38 – Л-104/14; 39 – Л-6; 40 – Л-10; 41 – Л-52/13; 42 – Л-44/13; 43 – Изольда; 44 – Момент; 45 – Севилья; 46 – Каптал; 47 – Волжское 51.

Таблица 3

Показатели признаков образцов, включенных в кластеры, среднее за 2021–2023 гг.
Indicators of the characteristics of the samples included in the clusters, the average for 2021–2023

Кластер	Высота растения, см	Площадь наибольшего листа, см ²	Площадь флагового листа, см ²	Выдвинутость ножки соцветия, см	Длина соцветия, см	Ширина соцветия, см	Содержание сахаров в соке стебля, %	Урожайность биомассы, т/га	Урожайность семян, т/га
1	183,8	215,3 ab	94,7 bc	16,7 bc	23,2 d	9,4 bc	14,4 a	23,86 b	3,84 d
2	188,9	207,9 a	101,3 bc	21,3 c	22,5 cd	11,1 c	16,6 bc	20,09 bc	2,54 c
3	192,4	271,5 bc	65,2 a	6,7 a	20,6 bc	5,8 a	17,0 bc	29,55 cd	2,50 bc
4	168,9	236,3 ab	86,5 ab	9,8 ab	17,0 a	5,1 a	17,8 c	17,20 a	1,70 a
5	186,5	248,0 ab	111,1 c	9,3 ab	32,4 e	6,5 ab	16,0 b	17,43 a	1,47 a
6	198,8	312,8 c	156,8 d	6,0 a	19,5 b	7,5 ab	16,4 b	31,53 d	2,57 c

Примечание. Данные, представленные в диаграмме и обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана при $p \leq 0,05$.

Таблица 4

Результаты дисперсионного анализа по селекционным признакам
The results of the analysis of variance on breeding grounds

Признак	df	SS	ms	Среднее значение признака	Стандартная ошибка	F ₀₅	HCP ₀₅
Высота растений, см	46	10645,65	213,42	187,0	6,15	1,77	—
Площадь наибольшего листа, см ²	46	114103,25	1961,58	222,3	18,65	3,43*	52,98
Площадь флагового листа, см ²	46	26276,08	340,48	98,4	7,77	7,23*	22,07
Выдвинутость ножки соцветия, см	46	3128,45	40,94	17,39	2,69	7,08*	7,65
Длина соцветия, см	46	419,48	4,19	22,07	0,86	11,78*	2,45
Ширина соцветия, см	46	465,03	5,90	9,59	1,02	7,55*	2,90
Содержание сахаров в соке стебля, %	46	85,38	1,03	16,3	0,42	8,36*	1,21
Урожайность биомассы, т/га	46	1207,02	13,60	21,71	1,55	9,54*	4,41
Урожайность зерна, т/га	46	26,05	0,22	2,66	0,20	14,55*	0,57

В четвертый кластер сгруппированы сорто-образцы, синтезирующее наибольшее количество сахаров (17,8 %). Однако значения остальных селекционных признаков низкие.

Растения пятого кластера выделились формированием длинных соцветий (32,4 см) и крупных флаговых листьев (площадь составила 111,1 см²). При этом сортообразец к-1413 оказался малопродуктивным: урожайность зеленой биомассы – 17,43 т/га, семян – 1,70 т/га.

В последний кластер включены два образца, характеризующиеся высокими показателями высоты при созревании (198,8 см) и урожайности

биомассы (31,53 т/га), площади наибольшего и флагового листьев – 312,8 и 156,8 см².

ВЫВОДЫ

1. Установлена различная вариабельность рассматриваемых девяти признаков у 47 образцов: слабая по высоте растений и содержанию водорастворимых сахаров в соке стебля ($V = 6,9–8,1\%$); средняя – длине соцветия ($V = 12,0\%$); сильная – параметрам флагового и наибольшего листьев, ширине соцветия, выдвинутости ножки соцветия, урожайности семян и биомассы ($V = 21,8–47,4\%$).

2. С помощью кластерного анализа выделены образцы 2, 3 и 6-го кластеров (пятнадцать селекционных линий Л-4, Л-6, Л-10, Л-12, Л-16, Л-21, Л-23, Л-24, Л-25/1, Л-31, Л-33, Л-67/13, Л-98/14, Л-104/14, О-30/18; шесть сортов и гибридов – Момент, Севилья, Кинельское 4, Ларец, Капитал, Камышинское 8; тринадцать коллекционных сортообразцов – к-38, к-48, к-50, к-164,

к-166, к-232, к-393, к-600, к-1801, к-1910, к-1502, к-2127, к-2472), обладающие совокупностью селекционных признаков. Данные образцы (всего 34) рекомендуются для включения в гибридизацию с целью создания гибридов сахарного сорго, характеризующихся высоким выходом сахаров с единицы площади.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перевязка Д.С., Перевязка Н.И., Супрунов А.И.* Кластерный анализ нового исходного материала для создания раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы // *Рисоводство*. – 2021. – № 4 (53). – С. 30–35. – DOI: 10.33775/1664-2464-2021-53-4-30-35.
2. *Гречишкина О.С., Хутамбирдина Р.Д., Мордвинцев М.П.* Изучение генофонда рабочей коллекции яровой мягкой пшеницы по урожайности и структурным элементам урожая с использованием кластерного анализа // *Известия Оренбургского аграрного университета*. – 2021. – № 6 (92). – С. 24–30.
3. *Плешаков А.А., Цаценко Л.В., Савиченко Д.Л.* Кластеризация коллекционных сортообразцов озимой пшеницы по элементам продуктивности колоса // *Научный журнал КубГАУ*. – 2021. – № 168 (04). – С. 195–207. – DOI: 10.21515/1990-4665-168-014.
4. *Применение многомерных методов для разделения сортов риса по реакции на изменение условий среды / Е.М. Харитонов, Ю.К. Гончарова, Н.А. Очкас [и др.]* // *Сельскохозяйственная биология*. – 2017. – Т. 52, № 1. – С. 152–160.
5. *Применение кластерного анализа для определения селекционной ценности нута (*Cicer arietinum* L.) / С.П. Кузьмина, Н.Г. Казыдуб, С.В. Булынтsev [и др.]* // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 2 (46). – С. 13–21. – DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_13.
6. *Sinha S., Kumaravadivel N.* Understanding Genetic Diversity of Sorghum Using Quantitative Traits // *Scientifica (Cairo)*. – 2016. – Vol. 2016. – e. 3075023. – DOI: 10.1155/2016/3075023.
7. *Кибальник О.П., Ларина Т.В., Каменева О.Б.* Селекционная ценность засухоустойчивых стерильных линий сорго // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 187–193. – DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193.
8. *Куколева С.С.* Использование кластерного анализа в селекции суданской травы // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2021. – № 12–1 (114). – С. 129–133. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.020.
9. *Umakanth A.V., Nikhil B.S.K., Tonapi V.A.* Genetic diversity studies in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], a candidate crop for biofuel production // *Forage Research*. – 2019. – Vol. 45(1). – P. 28–32.
10. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. Вып. 2. – М.: Агропромиздат, 1989. – 194 с.
11. *Чирков Ю.И.* Определение площади листьев расчетным методом. – М., 1961. – С. 5–6.

REFERENCES

1. *Perevyazka D.S., Perevyazka N.I., Suprunov A.I., Risovodstvo*, 2021, No. 4 (53), pp. 30–35, DOI: 10.33775/1664-2464-2021-53-4-30-35. (In Russ.)
2. *Grechishkina O.S., Khutamberdina R.D., Mordvintsev M.P., Izvestiya Orenburgskogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 6 (92), pp. 24–30. (In Russ.)
3. *Pleshakov A.A., Tsatsenko L.V., Savchenko D.L., Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2021, No. 168 (04), pp. 195–207. – DOI: 10.21515/1990-4665-168-014. (In Russ.)
4. *Kharitonov E.M., Goncharova Y.K., Ochkas N.A. [et al.], Sel'skhozhaistvennaya biologiya*, 2017, Vol. 52, No. 1, pp. 152–160. (In Russ.)
5. *Kuzmina S.P., Kazydub N.G., Bulyntsev S.V. [и др.], Vestnik Omskogo GAU*, 2022, No. 2 (46), pp. 13–21, DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_13. (In Russ.)
6. *Sinha S., Kumaravadivel N., Understanding Genetic Diversity of Sorghum Using Quantitative Traits, Scientifica (Cairo)*, 2016, Vol. 2016, e. 3075023, DOI: 10.1155/2016/3075023.
7. *Kibalnik O.P., Larina T.V., Kameneva O.B., Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2023, T. 24, No. 2, pp. 187–193, DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193. (In Russ.)
8. *Kukoleva S.S., Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2021, No. 12–1 (114), pp. 129–133, DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.020. (In Russ.)

9. Umakanth A.V., Nikhil B.S.K., Tonapi V.A., Genetic diversity studies in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], a candidate crop for biofuel production, *Forage Research*, 2019, Vol. 45 (1), pp. 28–32.
10. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Issue 2, Moscow: Agropromizdat, 1989, 194 p.
11. Chirkov Yu.I., *Opreделение ploschadi list'ev raschetnym metodom* (Determination of the leaf area by the calculation method), Moscow, 1961. pp. 5–6.

Информация об авторах:

О.П. Кибальник, кандидат биологических наук, главный научный сотрудник

С.В. Кибальник, младший научный сотрудник

Contribution of the authors:

O.P. Kibalnik, Candidate of Biological Sciences, Chief Researcher

S.V. Kibalnik, Junior Research assistant

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОРТОИСПЫТАНИЯ ГОРОХА ПОСЕВНОГО В УСЛОВИЯХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Корелина, О.Б. Батакова, И.В. Зобнина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

E-mail: 19651960@mail.ru

Для цитирования: Корелина В.А., Батакова О.Б., Зобнина И.В. Результаты экологического сортоиспытания гороха посевного в условиях Архангельской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 62–69. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-62-69.

Ключевые слова: сортоизучение, горох посевной, урожайность, зеленая масса, протеин, вегетационный период, скороспелость.

Реферат. *Посевной горох (*Pisum sativum* L.) — важнейшая зернобобовая культура для северных регионов России, используемая на зеленый корм КРС. Опыт по сортоизучению гороха полевого был заложен на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук в 2021–2023 гг., где проводили оценку продуктивности и питательной ценности шести новых сортов гороха полевого различного происхождения: Тюменец, Фрегат, Кабан, Велес, Тан, Варис. Исследования проводились согласно методическим указаниям «Методика Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур». Горох выращивали в одновидовом посеве. Цель работы – оценить сорта гороха посевного различного происхождения по кормовой продуктивности и питательной ценности и выявить наиболее адаптивные к условиям Архангельской области. Вегетационный период на зеленую массу варьировал от 36 до 41 дня, урожайность зеленой массы от 17,9 до 35,5 т/га. В результате проведенного опыта были выявлены скороспелые продуктивные сорта гороха полевого с высокими биохимическими показателями – Велес, Кабан, Фрегат, Тан. По основным хозяйственно ценным признакам выделился сорт Тан. Установлено, что эффективно выращивать на зеленый корм новые сорта гороха полевого в экстремальных климатических условиях.*

THE RESULTS OF ECOLOGICAL VARIETY TESTING OF SEED PEAS IN THE CONDITIONS OF THE ARKHANGELSK REGION

B.A. Korelina, B.B. Batakova, I.V. Zobnina

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

E-mail: 19651960@mail.ru

Keywords: variety study, seed peas, yield, green mass, protein, growing season, precocity.

Abstract. *Field peas (*Pisum sativum* L.) are the most important leguminous crop for the northern regions of Russia, used for green cattle feed. The experience in the variety study of field peas was laid on the basis of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in 2021-2023, where the productivity and nutritional value of six new varieties of field peas of various origins were evaluated: Tyumenets, Frigate, Boar, Veles, Tan, Varys. The research was carried out according to the methodological guidelines "Methodology of the State Commission for Variety testing of agricultural crops". Peas were grown in a single-species crop. The aim of the work was to evaluate varieties of seeded peas of various origins in terms of feed productivity and nutritional value and to identify the most adaptive to the conditions of the Arkhangelsk region. The growing season for the green mass varied from 36 to 41 days, the yield of the green mass from 17.9 to 35.5 t/ha. As a result of the conducted experience, precocious productive varieties of field peas with high biochemical parameters were identified – Veles, Wild Boar, Frigate, Tan. According to the main economically valuable characteristics, the Tan variety stood out. It has been established that it is effective to grow new varieties of field peas for green fodder in extreme climatic conditions.*

Горох (*Pisum sativum* L.) является одной из основных зернобобовых культур, возделываемых в России. Посевные площади и валовой сбор гороха растут во всем мире. В России с 2000 по 2018 г. площади, занятые под эту культуру, выросли в 2,6 раза, а валовой сбор зерна – на 94,5 %. К 2021 г. они достигли 1444,9 тыс. га и 2700 тыс. т соответственно. Общий объем валовых сборов гороха в России в 2022 г. составил 3616 тыс. т. [1]. Его зерно богато протеином, имеет высокую пищевую и кормовую ценность. Короткий вегетационный период гороха и высокая способность пожнивно-корневых остатков к разложению характеризуют эту культуру как хорошего предшественника для многих культур в севообороте, особенно для озимых зерновых [2]. Основными достоинствами этой культуры являются агроэкологическая пластичность и адаптивность, высокобелковость, азотфиксирующая активность [3]. Горох не содержит в своем составе вредных веществ, и за счет его питательности можно сократить расход кормов. Эта зернобобовая культура как в чистом виде, так и в травосмесях имеет большое значение для повышения плодородия почв [4, 5]. Кроме того, благодаря симбиотической фиксации азота из атмосферы клубеньковыми бактериями она способна обогащать почву биологическим азотом, что улучшает режим азотного питания последующих в севообороте культур и имеет важное значение при переходе на ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии [6–8]. При этом совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур предусматривает не только повышение степени использования биологического азота в севооборотах с зернобобовыми культурами, но и создание оптимальных условий вегетации сельскохозяйственных растений, обеспечивающих получение высоких и стабильных урожаев [9]. Одно из приоритетных направлений в сельском хозяйстве – это расширение производства данной культуры [10, 11].

В Государственный реестр селекционных достижений включено 20 сортов гороха полевого, из них всего три сорта по Северному (1) региону, 84 сорта гороха посевного и лишь один сорт по Северному региону. Гороху посевному принадлежит большая роль в создании прочной кормовой базы. В летний период они являются основным источником производства зеленых кормов, служат для приготовления сена, сенажа, силоса, концентрированных кормов в виде травяной муки, резки, полнорационных брикетов и

гранул. Одной из основных причин низкой эффективности кормопроизводства для неблагоприятных по климатическим условиям регионов является отсутствие высокоурожайных, пластичных сортов. Для максимального использования биопотенциала сорта необходимо изучить его по комплексу полезно хозяйственных признаков непосредственно в зоне возделывания.

Цель работы – оценить сорта гороха посевного различного происхождения по кормовой продуктивности и питательной ценности и выявить наиболее адаптивные к условиям Архангельской области.

Задачи:

- оценить кормовую продуктивность по урожайности зеленой массы сортов гороха посевного;
- проанализировать питательную ценность сортов гороха по содержанию в зеленой массе сырого и переваримого протеина, сбор кормопротеиновых единиц и обменной энергии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Получение планируемых урожаев гороха в различных природно-климатических районах возможно только с учетом всех зональных условий и местных особенностей. Полевые и лабораторные опыты проводили на базе опытной станции «Котласская», которая расположена на юго-востоке Архангельской области. Данный район входит в четвертый сельскохозяйственный район области, где наиболее благоприятные агроклиматические условия для производства сельскохозяйственной продукции. Данные метеорологических условий предоставлены ФГБУ «Северное УГМС» по Курцевской агрометеостанции. Сумма активных температур в данном районе исходя из многолетних данных составляет 1700–1850 °С, годовое количество осадков 470–620 мм, средняя продолжительность безморозного периода 127 дней [12]. Для условий Архангельской области среднее значение гидротермического коэффициента составляет от 1,5 до 2,5 [12]. Почва опытных участков – слабо-подзолистая глинистая, средне окультуренная на пермских глинах, с содержанием гумуса 4,05 %, P_2O_5 – 28,2 мг на 100 г почвы, K_2O – 35,4 мг на 100 г почвы, pH – 6,2, гидролитическая кислотность 0,45 мг-экв, сумма поглощенных оснований 18,83 мг-экв, степень насыщенности основаниями 97,5 %.

Объект исследований – сорта гороха посевного (*Pisum sativum* L.) различного происхождения.

Исследования проводились согласно методическим указаниям «Методика Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур» под редакцией Федина (1985) с применением Международного классификатора СЭВ рода *Pisum sativum* L. [13, 14].

Метеорологические условия вегетационных периодов в годы проведения исследований по температурному режиму и влагообеспеченности были благоприятными для развития гороха (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические условия за годы исследований
Meteorological conditions over the years of research

Год	Средняя температура воздуха с мая по август, °C	Отклонения от средних многолетних данных	Сумма эффективных температур с мая по август, °C	Отклонения от средних многолетних данных	Сумма осадков с мая по август, °C	Отклонения от средних многолетних данных
2021	16,6	+2,8	1457	+390	337	+78
2022	15,4	+1,6	1296	+229	279	+20
2023	14,9	+1,1	1266	+199	271	+12
Многолетние данные	13,8	–	1067	–	259	–

Вегетационные периоды за годы изучения по среднесуточной температуре воздуха и сумме превышали температуры средних многолетних данных. Сумма осадков за вегетационный период 2021 г. превысила среднемноголетние показатели на 33 %, за 2022 и 2023 гг. были на уровне.

Определяющим фактором варьирования урожайности являются гидротермические условия вегетационного периода, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) – это ключевой

показатель, позволяющий выяснить обеспеченность растений влагой как в отдельный период жизни растений, так и за весь год [15]. Среднее многолетнее значение ГТК за период с мая по август соответствует 1,9, что означает избыточное увлажнение почвы (табл. 2). Гидротермический коэффициент вегетационного периода варьировал за годы исследований от 1,3 до 1,8, что несколько ниже среднемноголетнего показателя.

Таблица 2

ГТК в сравнении с многолетними данными
SCC in comparison with long-term data

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Среднее
2021	2,7	0,4	1,2	2,6	1,8
2022	1,9	1,8	1,8	0,8	1,6
2023	1	1,3	2,2	0,6	1,3
Средние многолетние ГТК	2,7	1,7	1,4	1,6	1,9

Динамику условий увлажнения можно проследить по ГТК, рассчитанному за каждый месяц вегетационного периода. Осадки за вегетационные периоды по месяцам выпадали очень неравномерно, поэтому разброс показателя ГТК по месяцам с мая по август составил от 0,4 до 2,7. Значительный недостаток влаги отмечен в мае 2021 г., в августе 2022 и 2023 г., очень сильное увлажнение почвы отмечено в мае и августе 2021 г., а также в июле 2023 г., что на уровне средних многолетних данных. Благоприятными

периодами для развития растений гороха посевного являлись июль 2021 г. и май, июнь 2023 г. Наиболее оптимальным годом для получения высокого урожая зеленой массы гороха за период исследований является 2023 г.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [16] с использованием пакета компьютерных программ AGROS v. 2.07, а также программы STATGRAPHICS for Windows v. 5.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно соглашению между министерствами АПК и торговли Архангельской области и министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан было проведено экологическое сортоиспытание шести сортов гороха посевного в сравнении со стандартом Немчиновский 100. Семенной материал был доставлен в Архангельский НИИСХ в мае 2021 г., посев проведен 21 мая. Посев делянок в 2022 и 2023 гг. проведен в оптимальные сроки: 15–17 мая.

Основой для изучения служили сорта гороха посевного, включенные в Госреестр по Республике Татарстан (Средневолжский регион (7)): Фрегат, Кабан, Велес, Тан, Варис, Тюменец.

Площадь делянки составляла 75 м², без повторностей. Учет зеленой массы гороха посевного проводили на пробных метрочках, в пяти повторностях, взятых по диагонали делянки. Учет проводили с 6 по 13 августа. По результатам сортоизучения длина вегетационного периода варьировала от 36 до 48 дней, сорт Велес показал наиболее короткий период созревания для уборки на зеленую массу (36–41 день) (табл. 3).

Таблица 3

Результаты экологического сортоиспытания гороха посевного в 2021–2023 гг.
The results of ecological variety testing of field peas, 2021–2023

Сорт гороха	Оригинатор	Вегетационный период на зеленую массу, дней			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Стандарт – Немчиновский 100	ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр 'Немчиновка'»	44	46	47	46
Тюменец	ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр СО РАН»	46	49	48	48
Фрегат	ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр РАН»	42	43	45	43
Кабан		42	44	46	44
Варис		42	44	47	44
Велес	ООО Агрокомплекс «Кургансемена», ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр РАН»	36	39	41	39
Тан	ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр РАН»	44	47	46	46

По урожайности зеленой массы за все года исследований выделялись сорта Велес (31,8 т/га) и Тан (30,2 т/га), превысив стандарт Немчиновский 100 в пределах ошибки опыта (табл. 4).

Таблица 4

Урожайность зеленой массы гороха посевного в 2021–2023 гг.
Yield of green mass of field peas, 2021–2023

Сорт гороха	2021 г.		2022 г.		2023 г.		В среднем	
	Урожайность зеленой массы, т/га	Отклонение от стандарта	Урожайность зеленой массы, т/га	Отклонение от стандарта	Урожайность зеленой массы, т/га	Отклонение от стандарта	Отклонение от стандарта	Отклонение от стандарта
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стандарт – Немчиновский 100	25,0	–	26,1	–	29,4	–	26,8	–
Тюменец	24,3	-0,07	23,3	-2,4	27,5	-1,8	25,0	- 1,8
Фрегат	23,1	-1,9	25,4	0,7	28,1	-1,3	25,5	- 1,3
Кабан	25,1	0,1	24,5	-1,6	28,5	-0,8	26,0	- 0,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Варис	17,9	-7,1	21,0	-5,1	23,7	-6,1	20,9	- 6,1
Велес	31,1	6,1	32,4	6,3	35,5	6,2	33,0	+ 6,2
Тан	29,3	4,3	31,1	5,0	33,8	4,6	31,4	+ 4,6
НСР ₀₅	4,3	—	4,1	—	3,6	—	4,0	—

Отклонения по урожайности зеленой массы за период исследований от стандартного сорта Немчиновский 100 показаны в табл. 4. Минимальная урожайность зеленой массы отмечена в 2021 г., когда на всходы и развитие посевов гороха повлияли поздний посев, жаркий июнь (среднемесячная температура выше нормы на 4,5 °С), количество выпавших осадков 33 % от

средних многолетних данных. Наиболее благоприятным для развития гороха отмечен 2023 г., когда была получена наивысшая урожайность зеленой массы в наших условиях.

Высота растений совсем незначительно различалась по сортам и составляла 110–115 см (рисунок).



Высота растений гороха разных сортов в среднем по годам изучения, 2021–2023 гг.

The average height of pea plants over the years of study, 2021–2023

По урожайности сухого вещества необходимо отметить сорт гороха Велес, который достоверно превышает стандарт на 12,2 % и Тан на 11,9 % (табл. 5). Низкие показатели по данному признаку

в среднем отмечены по годам у сортов Варис и Тюменец. Сбор протеина с одного гектара также выше у сортов Велес и Тан.

Таблица 5

Урожайность сухого вещества в сортах гороха посевного, 2021–2023 гг.
Dry matter yield in pea varieties, 2021–2023

Сорт гороха	Урожайность сухого вещества, т/га				Сбор протеина, т/га	Отклонение от стандарта
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее		
Стандарт – Немчиновский 100	5,0	5,6	5,9	5,5	0,69	—
Тюменец	5,2	4,6	5,3	5,0	0,55	-0,14
Фрегат	5,1	5,4	5,9	5,5	0,69	0
Кабан	5,8	5,5	6,3	5,9	0,66	-0,03
Варис	4,0	4,6	5,3	4,6	0,48	-0,21
Велес	6,4	6,7	7,1	6,7	0,74	+0,05
Тан	5,9	6,6	6,9	6,5	0,83	+0,14
НСР ₀₅	0,78	0,84	0,77	0,80	0,12	—

По результатам химического анализа зеленой массы гороха все сорта имеют примерно одинаковое количество кормовых единиц: 0,62–0,65 к.е. Высокое содержание энергии отмечено у сортов Фрегат (9,98) и Тан (9,87) (табл. 6). По содержанию сырого и переваримого протеина

незначительно выделяются в сравнении со стандартом сорта Тан и Фрегат. Содержание жира и кальция у всех сортов на уровне стандарта. По обеспечению клетчатки выделились сорта Велес (299,3 г) и Кабан (293,4 г), каротина – Кабан (106,23 г), Фрегат (104,79 г) и Варис (104,69 г).

Таблица 6

Результаты химического анализа зеленой массы изучаемых сортов гороха
The results of chemical analysis of the green mass of the studied varieties

Химический состав	Стандарт – Немчиновский 100	Тюменец	Фрегат	Кабан	Варис	Велес	Тан
Кормовые единицы	0,65	0,62	0,65	0,63	0,63	0,62	0,65
Обменная энергия, ГДж	8,95	8,77	9,98	8,82	8,7	8,55	9,87
Протеин сырой, г	128,51	111,28	130,11	115,31	112,35	112,43	131,14
Протеин переваримый, г	83,53	72,33	85,57	74,88	72,95	73,02	85,16
Жир, г	37,56	36,38	37,34	35,99	36,14	35,62	34,89
Клетчатка, г	277,13	257,12	278,2	293,4	289,4	299,3	281,24
Сахара, г	87,63	78,09	75,65	88,4	83,6	81,6	79,3
Кальций, г	10,27	9,31	10,27	10,54	9,87	10,58	10,11
Фосфор, г	2,78	2,25	2,78	2,81	2,56	2,98	2,45
Каротин, мг	102,82	96,38	104,79	106,23	104,69	101,25	100,96

По итогам химического анализа зеленой массы на кормовую ценность по ряду показателей доминировали сорта гороха Кабан, Фрегат, Тан.

ВЫВОДЫ

1. В результате сортоизучения выявлены новые сорта гороха полевого для экстремальных климатических условий Архангельской области.

2. По урожайности зеленой массы сорта Велес и Тан превысили стандарт Немчиновский 100

на 23,1 и 17,2 % соответственно. Сорт Велес скороспелее стандарта на 7 дней. По сбору протеина с единицы площади сорт Тан превысил стандарт на 20,3 %. По кормовой ценности выделились сорта гороха Кабан, Фрегат, Тан. Таким образом, выделился по основным хозяйственно ценным признакам сорт Тан.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УроРАН по теме № FUUW-2024-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Влияние анатомического строения стебля на полегаемость гороха* / В.Л. Газе, И.А. Лобунская, Н.В. Яновская [и др.] // *Зерновое хозяйство России*. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 47–52. – DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-47-52.
2. *Jensen E.S., Carlsson G., Hauggaard-Nielsen H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis* // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2020. – Vol. 40, № 5. – Iss. 1. – DOI: 10.1007/s13593-020-0607-x.
3. *Пономарева С.В. Вариационная изменчивость и корреляционная взаимосвязь между зерновой урожайностью и элементами ее структуры у сортов гороха полевого (Pisum Arvense L.)* // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2021. – Т. 64, № 6 (384). – С. 50–52. – DOI: 10.24412/2587-6740-2021-6-50-52.
4. *Репко Н.В. Значение и использование однолетних трав* // *Научный журнал КубГАУ*. – 2014. – № 96 (02). – С. 183–192.

5. Оценка перспективных сортообразцов гороха по качеству и взаимосвязь биохимических показателей с урожайностью и массой 1000 зерен / И.С. Браилова, И.А. Филатова, Н.И. Юрьева, Ю.В. Белоусова // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2020. – № 3 (35). – С. 20–25.
6. *Optimizing Rhizobium-legume symbioses by simultaneous measurement of rhizobial competitiveness and N₂ fixation in nodules* / M.A. Mendoza-Suárez, B.A. Geddes, C. Sánchez-Cañizares [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2020. – Vol. 117 (18). – P. 9822–9831. – DOI: 10.1073/pnas.1921225117.
7. Зотилов В.И., Вилунов С.Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2021. – № 25 (4). – С. 381–387. – DOI: 10.18699/VJ21.041.
8. Влияние технологий возделывания на засоренность посевов и продуктивность гороха посевного / А.Н. Морозов, Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.В. Шумаков // *Зерновое хозяйство России*. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 98–105. – DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-98-105.
9. Урожайность и структура урожая гороха при различных способах обработки почвы в условиях Юго-Востока ЦЧР / В.И. Турусов, И.М. Гармашов, И.М. Корнилов [и др.] // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2020. – № 2 (34). – С. 5–12. – DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11163.
10. Бельшикина М.Е. Проблема производства растительного белка и роль зерновых бобовых культур в ее решении // *Природообустройство*. – 2018. – № 2. – С. 65–73. – DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-65-73.
11. Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В. Оценка параметров адаптивности образцов гороха с разным типом листа // *Зерновое хозяйство России*. – 2023. – Т. 15, № 6. – С. 24–28. – DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-24-28.
12. *Агроклиматические ресурсы Архангельской области* / Гл. упр. Гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сев. упр. гидрометеор. службы. Арханг. гидрометеор. обсерватория. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 135 с.
13. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*; Под общ. ред. М.А. Федина. – М.: Колос, 1985. – Вып. 2. – 267 с.
14. *Международный классификатор СЭВ рода Pisum sativum L.*; сост. Р.Х. Макашева [и др.]. – Л., 1986. – 46 с.
15. *Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата*. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 220 с.
16. *Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

REFERENCES

1. Gaze V.L., Labunskaya I.A., Yanovskaya N.V., Cherpakova E.Yu., Ayushiev A.R., *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2024, Vol. 16, No. 3, pp. 47–52. (In Russ.)
2. Jensen E.S., Carlsson G., Hauggaard-Nielsen H., Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis, *Agronomy for Sustainable Development*, 2020, Vol. 40, No. 5, Iss. 1, DOI: 10.1007/s13593-020-0607-x.
3. Ponomareva S.V., *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2021, T. 64, No. 6(384), pp. 50–52, DOI: 10.24412/2587-6740-2021-6-50-52. (In Russ.)
4. Repko N.V., *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2014, No. 96 (02), pp. 183–192. (In Russ.)
5. Brailova I.S., Filatova I.A., Yur'eva N.I., Belousova Yu.V., *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2020, No. 3 (35), pp. 20–25. (In Russ.)
6. Mendoza-Suárez M.A., Geddes B.A., Sánchez-Cañizares C., Jorin B., Poole P.S., Optimizing Rhizobium-legume symbioses by simultaneous measurement of rhizobial competitiveness and N₂ fixation in nodules, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, Vol. 117 (18), pp. 9822–9831, DOI: 10.1073/pnas.1921225117.
7. Zotikov V.I., Vilyunov S.D., *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*, 2021, No. 25 (4), pp. 381–387, DOI: 10.18699/VJ21.041. (In Russ.)
8. Morozov A.N., Dubovik D.V., Dubovik E.V., Shumakov A.V., *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2024, Vol. 16, No. 2, pp. 98–105, DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-98-105. (In Russ.)
9. Turusov V.I., Garmashov I.M., Kornilov I.M., Nuzhnaya N.A., Govorov V.N., Kryachkova M.P., *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2020, No. 2 (34), pp. 5–12, DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11163. (In Russ.)
10. Belyshkina M.E., *Prirodoobustroistvo*, 2018, No. 2, pp. 65–73, DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-65-73. (In Russ.)
11. Ashiev A.R., Khabibullin K.N., Skulova M.V., *Zernovoe khozyaystvo Rossii*, 2023, T. 15, No. 6, pp. 24–28, DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-24-28. (In Russ.)
12. *Агроклиматические ресурсы Архангельской области* (Agroclimatic resources of the Arkhangelsk region), Гл. упр. Гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сев. упр. гидрометеор. службы. Арханг. гидрометеор. обсерватория, Ленинград, Гидрометеиздат, 1971, 135 p. (In Russ.)

13. *Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Pod obshch. red. M. A. Fedina, Moscow: Kolos, 1985, Vyp. 2, 267 p.
14. *Makasheva R.Kh. i dr., Mezhdunarodnyi klassifikator SEV roda Pisum sativum L.* (International classifier of the genus *Pisum sativum* L.), Leningrad, 1986, 46 p.
15. Selyaninov G.T., *Methods of agricultural climate characteristics* (Methodology of agricultural climate characterization), Moscow: Hydrometeoizdat, 1977, 220 p.
16. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.

Информация об авторах:

В.А. Корелина, кандидат сельскохозяйственных наук

О.Б. Батакова, кандидат сельскохозяйственных наук

И.В. Зобнина

Contribution of the authors:

B.A. Korelina, Candidate of Agricultural Sciences

B.B. Batakova, Candidate of Agricultural Sciences

I.V. Zobnina

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПЫЛЬНАЯ ГОЛОВНЯ ЯЧМЕНЯ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ИСТОЧНИКИ УСТОЙЧИВОСТИ К НЕЙ

Л.В. Мешкова, О.Б. Сабаева, П.Н. Николаев

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

E-mail: meshkova@anc55.ru

Для цитирования: Мешкова Л.В., Сабаева О.Б., Николаев П.Н. Пыльная головня ячменя в Омской области и источники устойчивости к ней // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 70–78. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-70-78.

Ключевые слова: ячмень, устойчивость, патоген, популяция, пыльная головня, инфекционный фон.

Реферат. Большинство сортов ячменя, выращиваемых в Омской области на площади более 300 тыс. га, поражаются пыльной головней. Цель нашего исследования – проанализировать генофонд популяции возбудителя пыльной головни ячменя и выявить источники устойчивости к нему. В полевых условиях на искусственном инфекционном фоне лаборатории иммунитета растений в 2019–2023 гг. в первой декаде июля во время цветения заражали тест-сорты с идентифицированными генами устойчивости: Run 1, Run 3, Run 6, Run 7, Run 8, Run 12 и Run 14, сорта местной селекции Подарок Сибири (индикатор восприимчивости) и Омский 99 (индикатор устойчивости), образцы мировой коллекции ячменя ВИР и гибридный материал Омского АНЦ телиоспорами местной популяции пыльной головни *Ustilago tritici. hordei* (Jens.) Kell. Et. Sw. (старое название *Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Swings). Высевали инфицированные семена и учитывали поражение образцов на следующий год по методике ВИР и адаптированной методике СИММИТ. Результаты изучения популяции пыльной головни показали, что высокую устойчивость к патогену проявили сорта с генами Run 3, Run 6 и Run 8 и образец Л-6823 (Run 12). У образцов Trebi (Run 1) и Anoidium (Run 7) отмечено варьирование от практической устойчивости до слабой восприимчивости (поражение от 2,5 до 19,1 %), а у образца Korol (Run 14) – от слабой до сильной восприимчивости. Оценка устойчивости сортов, включенных в ГР РФ и гибридного материала лаборатории селекции зернофуражных культур, показала, что большинство форм поражается от слабой до средней степени. Сорт Омский 102, включенный в ГР РФ с 2023 г., подтвердил устойчивость к пыльной головне. В гибридном материале выделены образцы с практической устойчивостью и слабым поражением – Нутанс 4945 и Нутанс 4926. Среди коллекционного материала выявлены резистентные номера: Суздалец (к-30314), Задел, Витязь (РФ), Himalayen (к-15549), Galt (к-19910), Bonanza (к-21661) все из Канады и др. Перечисленные образцы рекомендованы как источники устойчивости для включения в селекционный процесс при создании устойчивых сортов для выращивания в Омской области.

THE DUSTY SMUT OF BARLEY IN THE OMSK REGION AND SOURCES OF RESISTANCE TO IT

L.V. Meshkova, O.B. Sabaeva, P.N. Nikolaev

Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia

E-mail: meshkova@anc55.ru

Keywords: barley, resistance, pathogen, population, loose smut, infectious background.

Abstract. Most barley varieties grown in the Omsk region on an area of more than 300 thousand hectares are affected by dusty smut. The purpose of our study is to analyze the gene pool of the pathogen population and identify the sources of resistance to it. In the field, on an artificial infectious background of the plant immunity laboratory in 2019–2023, in the first decade of July, during flowering, test varieties with identified resistance genes were infected: Run 1, Run 3, Run 6, Run 7, Run 8, Run 12 and Run 14, varieties of local selection Gift of Siberia (susceptibility indicator) and Omsk 99 (stability indicator), samples of the world collection of barley VIR and hybrid material of Omsk ancestor teliospores of the local population of the Dusty smut *Ustilago tritici. hordei* (Jens.) Kell. et. Sw. (Old name *Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Swings). Infected seeds were sown and the lesion of the samples for the next year was taken into account according to the VIR method and the adapted SIMMIT method. The results of the study of the dusty smut population showed that varieties with the Run 3, Run 6 and Run 8 genes and sample L-6823 (Run 12) showed high resistance to the pathogen. The Trebi (Run 1) and Anoidium (Run 7) samples showed

a variation from practical resistance to weak susceptibility (damage from 2.5 to 19.1%), and the Korol sample (Run 14) – from weak to strong susceptibility. The assessment of the stability of the varieties included in the GR of the Russian Federation and the hybrid material of the laboratory for the breeding of grain crops showed that most forms are affected from a weak to medium degree. The Omsk 102 variety, included in the GR of the Russian Federation since 2023, has confirmed its resistance to dusty smut. In the hybrid material, samples with practical stability and mild damage were isolated – Nutans 4945 and Nutans 4926. Among the collection material, resistant numbers were identified: Suzdalets (k-30314), Zadel, Vityaz (RF), Himalayen (k-15549), Galt (k-19910), Bonanza (k-21661) all from Canada, etc. The listed samples are recommended as sources of stability for inclusion in the breeding process when creating resistant varieties for cultivation in the Omsk region.

Ячмень посевной (*Hordeum sativum* Jess.) относится к числу древнейших возделываемых растений земного шара. Огромный ареал культурного ячменя в мировом земледелии и древность его происхождения обуславливают большую дифференциацию видов и рас патогенов, поражающих его. Потери урожая от болезней весьма велики [1].

В Западной Сибири это одна из основных и хорошо адаптированных к условиям региона зерновая культура. В аграрном комплексе Омской области ячмень по площади посева занимает более 300 тыс. га, находится на втором месте среди зерновых культур и выращивается в основном в зоне южной лесостепи, характеризующейся благоприятной теплообеспеченностью и недостаточным в большинстве лет увлажнением [2].

Специфические условия зоны обуславливают и наличие определённого вида фитопатогенов, среди которых головнёвые болезни отличаются наибольшей распространённостью и вредоносностью и имеют большое экономическое значение.

Возделываются в области двурядные и многорядные, плёнчатые и голозёрные сорта различного народно-хозяйственного назначения, но в производстве предпочтение отдано двурядным плёнчатым формам зернофуражного направления, 95 % которых составляют сорта Омского аграрного научного центра (АНЦ «Омский»).

Зерно ячменя ввиду количества белка и его аминокислотного состава широко используется в животноводстве как зернофураж, но также применяется при производстве круп и в пивоварении. Уменьшению сбора зерна и ухудшению его качества способствуют и грибные инфекции, среди которых пыльная головня относится к экономически значимым болезням ячменя в регионе.

Пыльная головня [*Ustilago tritici. hordei* (Jens.) Kell. Et. Sw.] (старое название [*Ustilago nuda* (Jensen) Rostr]), вызываемая грибом из класса Basidiomycetes, порядка Ustilaginales *Ustilago nuda* (Jens.) Kell. et Swing, – распространённое грибное заболевание на ячмене, поражающее ко-

лос. Пыльная головня обнаруживается в посевах после выколашивания растений, гриб полностью разрушает все части цветка и завязь, превращая их в чёрно-оливковую пылящую массу спор. Кроме явных потерь, обусловленных полным разрушением зерновок, снижение урожая может быть вызвано уменьшением количества взошедших растений и их угнетением, снижением продуктивной кустистости, числа зёрен в колосе, массы 1000 зёрен, ухудшению качества зерна и слабой устойчивостью к другим болезням [3, 4].

Для снижения вредного воздействия грибных болезней на зерновые культуры чаще всего используют химические средства защиты растений, оказывающие отрицательное влияние на экологическую ситуацию в агроценозах. Известно, что наиболее экологически и экономически выгодным методом борьбы с возбудителями головневых заболеваний является выращивание генетически устойчивых сортов, создание которых подразумевает и анализ природных популяций патогенов. Определение генотипической структуры популяций грибов основывается на изучении взаимодействия патогена с растениями, несущими различные гены устойчивости.

В селекции на иммунитет следует учитывать, что резистентность сорта к заболеванию, особенно если она является расоспецифической, – не постоянная величина, она в значительной степени зависит от эволюции патогена. Причиной снижения устойчивости сорта может быть как появление новых рас возбудителя, так и изменение в соотношении рас в популяции, вызванное распространением сорта на больших площадях, что приводит к необходимости регулярного мониторинга состава природных популяций патогена и создания сортов с другими эффективными генами устойчивости [5–7].

Цель работы – изучение генофонда природной популяции возбудителя пыльной головни ячменя в Омской области и выявление эффективных источников устойчивости для использования в практической селекции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в зоне южной лесостепи Омской области в полевых условиях на искусственном инфекционном фоне лаборатории иммунитета растений АНЦ «Омский» в 2019–2023 гг. Почва участка представлена черноземом луговым среднесуглинистым.

Климат зоны отличается контрастными погодными условиями по гидротермическому режиму.

Материал для исследования: спорообразцы местной популяции возбудителя пыльной головни ячменя; набор тест-сортов с идентифицированными генами устойчивости Run 1, Run 3, Run 6, Run 7, Run 8, Run 12 и Run 14; сорта местной селекции: Подарок Сибири – индикатор восприимчивости и Омский 99 – индикатор устойчивости; сорта ярового пленчатого двурядного ячменя, включённые в ГР РФ и допущенные к выращиванию в области; гибридный материал АНЦ «Омский» и образцы из мировой коллекции ячменя Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР, Санкт-Петербург). Ежегодно оценивалось от 80 до 100 номеров.

Высевали вышеперечисленные образцы в середине мая по пару, заражали растения во время цветения телиоспорами местной популяции пыльной головни шприц-методом по 10 колосьев каждого образца. Споровый материал патогена для инфицирования растений собирали в зоне южной лесостепи с селекционных и производственных посевов ячменя, раствор (споровая суспензия головни с водой) готовили непосредственно перед инокуляцией растений.

Инфицированные колосья убирали при полной спелости зерна, проводили ручной обмолот. По внешнему виду инокулированные пыльной головнёй семена не отличаются от здоровых зерен.

Заражённые семена высевали на следующий год в середине мая в 3-кратной повторности гнездовой сеялкой СПР-2 по 50 семян на глубину 6–8 см, площадь посева 10×30 см, предшественник – чистый пар. Учитывали поражение растений после фазы цветения подсчётом больных и здоровых стеблей.

Критерий оценки резистентности сорта к головне – число больных колосьев, выраженное в процентах к общему числу стеблей анализируемого образца по максимальному значению из трёх повторностей. При идентификации рас возбудителя пыльной головни определяли реакцию устой-

чивости растения – хозяина на внедрение патогена по критерию: $R-S$, где R (устойчивость) – поражение до 10 %, S (восприимчивость) – поражение более 10 % [8]. При оценке резистентности сорта к головне их унифицировали по пяти классам устойчивости, от высокой устойчивости до сильной восприимчивости, при степени поражения сорта – индикатора восприимчивости не менее 60 % [9]:

- высокая устойчивость, поражение отсутствует;
- практическая устойчивость, поражение не превышает 5 %;
- слабая восприимчивость, поражение не превышает 25 %;
- средняя восприимчивость, поражение не более 50 %;
- сильная восприимчивость, поражение более 50 %.

При поражении сорта – индикатора восприимчивости ≤ 60 %, резистентность образцов характеризовали через индекс устойчивости (ИУ), который позволяет нивелировать влияние условий внешней среды. Он рассчитывается как отношение значения поражения испытуемого образца к поражению сорта – индикатора восприимчивости. Степень устойчивости сортов определяли в соответствии со значениями $ИУ = 0$ – высокая устойчивость (иммунитет); 0,01–0,10 – практическая устойчивость; 0,11–0,40 – слабая восприимчивость; 0,41–0,80 – средняя восприимчивость; 0,81–1,0 – сильная восприимчивость [10].

Статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [11]. Для оценки достоверности различий между образцами использовали ошибку средней (S_x), при анализе корреляционных связей – вероятность погрешности p при 5%-м уровне значимости с использованием программы Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характерная особенность устойчивости сортов к головне – это её нестабильность по годам, обусловленная и влиянием метеорологических факторов, она может варьировать от практической устойчивости до сильной восприимчивости, что предполагает многолетнюю оценку сортов (не менее трёх лет) и использование ИУ.

Развитие возбудителей и инфекционный процесс существенно зависит от факторов внешней среды. Заражение растений пыльной головнёй

происходит во время цветения при определённом сочетании температуры и влажности. Оптимальная температура для прорастания телиоспор пыльной головки 18–20 °С, минимальная – 5 °С, максимальная – 26–30 °С, высокая влажность воздуха благоприятствует заражению и развитию инфекции [9].

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований по гидротермическому режиму отличались контрастностью во время инфицирования растений телиоспорами патогена – I декада июля. По температурному режиму условия были близки к оптимальным (18–20 °С),

а по осадкам – от оптимального увлажнения до засухи (рис. 1).

По сочетанию температуры и осадков более благоприятной для заражения растений была первая декада июля 2019 г., гидротермический коэффициент ГТК = 1,21, в 2021 г. этот период характеризовался как засушливый (ГТК = 0,56), а в 2020 и 2022 гг. – как сухой: ГТК 0,41 и 0,45 соответственно.

Расчёт коэффициентов корреляции показал высокую корреляцию между увлажнением, осадками и поражением ($r > 0,7$) и среднюю отрицательную с температурой воздуха ($r = -0,44$).

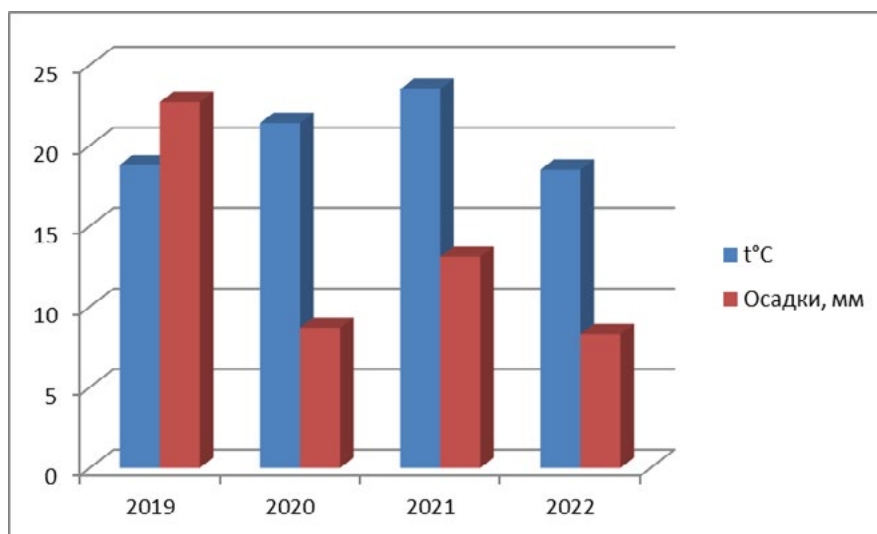


Рис. 1. Гидротермические условия I декады июля
Hydrothermal conditions of the first ten days of July

В целом гидротермические условия за годы исследования не способствовали созданию жесткого инфекционного фона, поражение сорта Подарок Сибири варьировало от 43,0 % в 2021 г. до 61,6 % в 2023 г., что подтверждает значительное влияние влажности на заражение ($r = 0,79$).

Проведенный анализ спорообразцов возбудителя пыльной головки ячменя на генетическом наборе тест-сортов за 2019–2022 гг. показал, что тест-сорта Keyston (с геном устойчивости Run 6),

CI.13664 (Run 8) и образец Л-6823 (Run 12) проявляют иммунитет или высокую устойчивость (поражение менее 5 %) во все годы исследований, а Paragon (Run 3) показывает высокую устойчивость или слабую восприимчивость. Устойчивость сортов Trebi (Run 1) и Anoidium (Run 7) варьируют от практической устойчивости до слабой восприимчивости, а сорт Korol (Run 14) проявил восприимчивость ко всем изучаемым популяциям патогена (табл. 1).

Таблица 1

Поражение пыльной головнёй сортов ячменя с идентифицированными генами устойчивости в 2020–2023 гг., %, класс устойчивости

Loose smut infestation of barley varieties with identified resistance genes in 2020–2023, %, resistance class

Каталог ВИР	Ген устойчивости	Сорт, образец	Страна	Max* поражение, % / тип устойчивости			
				2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4	5	6	7	7
к-11815	Run 1	Trebi	США	2,5/R	9,5/R	11,1/S	19,1/S

1	2	3	4	5	6	7	7
к-20259	Run 3	Paragon	Канада	2,4/R	1,4/R	7,9/R	0/R
к-19304	Run 6	Keystone	Канада	0/R	1,4/R	0/R	0/R
к-18671	Run 7	Anoidium	Канада	5,9/R	6,5/R	13,3/S	4,3/R
к-26419	Run 8	CI 13664	США	1,1/R	0/R	0/R	0/R
к-29630	Run 12	Л-6823	Украина	0/R	0/R	0/R	0/R
к-20327	Run 14	Korol	Канада	18,0/S	16,7/S	22,6/S	41,7/S
Индикатор устойчивости R		Омский 99	РФ	0/R	0/R	1,5/R	0/R
Индикатор восприимчивости S		Подарок Сибири	РФ	56,5/S	43,0/S	44,0/S	61,6/S

Max * максимальное значение.

Полученные ранее данные (2014–2019 гг.) анализа Омской популяции пыльной головни ячменя выявил высокую эффективность к возбудителю заболевания тест-сортов ячменя с генами Run 3 (Paragon), Run 6 (Keystone) и Run 8 (CI 13664) [16].

В результате проведенных многолетних исследований было установлено, что в популяции патогена практически отсутствуют биотипы, вирулентные к сортам, устойчивость которых обуславливают гены Run 6, Run 8 и Run 12. Незначительное поражение отмечено по тест-сорту Paragon (Run 3).

При анализе популяции пыльной головни лесостепи Приобья, по данным Н.П. Бехтольд и Е.А. Орловой, эффективны к патогену гены устойчивости растения-хозяина Run 6 и Run 8, из них ген Run 6 несет полную невосприимчивость к возбудителю. Аналогичные результаты получены и в Кировской области, где устойчивость обеспечивают гены Run 6 и Run 8 [12–14].

По данным W. Zang и др., ген Run 8 был признан одним из наиболее эффективных в мире к возбудителю пыльной головни [15].

Таким образом, многолетний анализ популяции возбудителя пыльной головни ячменя показал, что высокую устойчивость к патогену в Омской области сохраняют тест-сорта с генами

устойчивости Run 3, Run 6, Run 8 и Run 12. Такое постоянство вирулентности патогена объясняется тем, что отсутствует давление фактора устойчивости на генофонд патогена, так как у большинства сортов, выращиваемых в Омской области (по их родословным), отсутствуют эффективные гены устойчивости. Как отмечает В.М. Берлянд-Кожевников, «при постоянстве и невысокой интенсивности давления факторов на популяцию, её генотипический состав, неизбежно флуктуируя, может оставаться в течение длительного времени статистически довольно неизменным. Если, однако, популяция испытывает давление какого-либо фактора, то неизбежно происходит изменение в генофонде популяции» [17].

Оценка устойчивости к местной популяции пыльной головни сортов ячменя, возделываемых в области и находящихся на Государственном сортоиспытании (ГСИ), показала, что они в основном представлены средневосприимчивыми (ИУ = 0,41–0,80) и сильновосприимчивыми (ИУ = 0,81–1,0) двурядными формами (нутанс и медикум). Слабую восприимчивость (ИУ = 0,11–0,41) показал сорт Омский 102, включённый в ГР РФ с 2023 г. Отмечается значительная вариабельность поражения сортов Омский 91, Омский 96 и Омский 101 и Омский 103 (табл. 2).

Таблица 2

Оценка сортов ячменя по устойчивости к пыльной головне, инфекционный фон, 2020–2023 гг.
Evaluation of barley varieties for resistance to loose smut, infection background, 2020–2023

Сорт	Var.	Вкл. в ГР	Поражение, %, ИУ			
			2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4	5	6	7
Подарок Сибири *	Медикум	–	56,5/ 1,0	43,0/0,90	44,0/1,0	61,6/1,0
Омский 99*	Паллидум	2015	0 / 0	0/0	1,5/0,03	0/0
Омский 90	Медикум	2000	55,6/0,98	47,7/1,0	17,3/0,39	19,8/0,32

1	2	3	4	5	6	7
Омский 91	Нутанс	2004	47,3/0,84	4,3/0,09	5,2/0,12	44,4/0,72
Омский 95	Нутанс	2007	36,7/0,65	42,8/0,89	18,6/0,42	31,6/0,51
Омский 96	Нутанс	2008	37,6/0,66	3,7/0,08	25,9/0,59	16,8/0,27
Сибирский авангард	Медикум	2010	24,3/0,43	7,1/0,15	28,8/0,65	15,0/0,24
Саша	Медикум	2012	31,5/0,56	31,3/0,66	29,6/0,67	17,7/0,29
Омский 100	Медикум	2019	22,1/0,39	27,5/0,58	14,9/0,34	27,1/0,44
Омский 101	Медикум	2021	51,1/0,90	44,4/0,93	7,3/0,17	40,9/0,66
Омский 102	Нутанс	2023	–	9,4 / 0,22	6,0 / 0,14	–
Омский 103	Медикум	ГСИ	11,3/0,20	2,6/0,05	18,1/0,41	28,9/ 0,47
Омский 104	Нутанс	ГСИ	20,0/ 0,35	41,2/0,86	17,8/0,40	58,3/0,95

*Индикаторы поражения сортов.

Стабильно проявляет высокую устойчивость к патогену многорядный плёчатый сорт Омский 99, полученный от скрещивания резистентного

сорта Омский 89 с селекционным номером Паллидум 4466 (рис. 2).

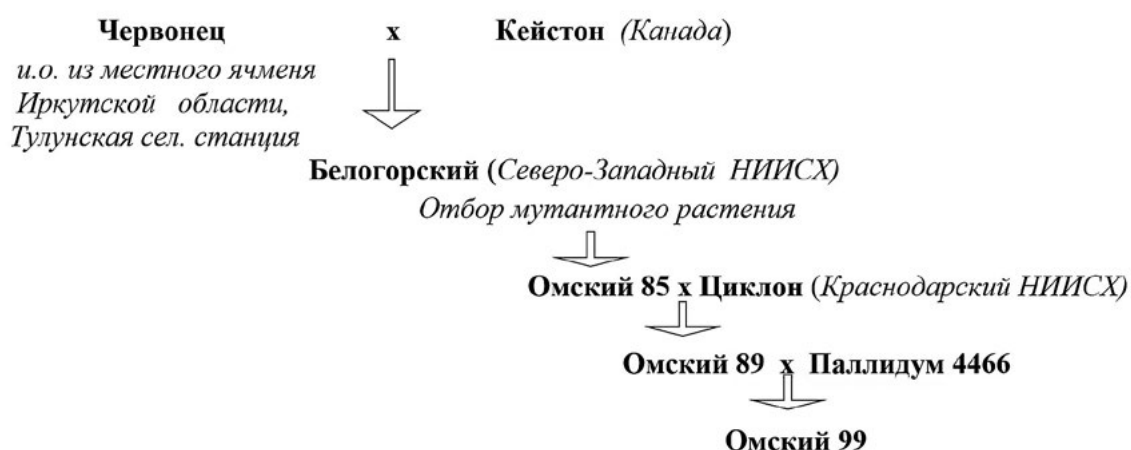


Рис. 2. Родословная сорта ячменя ярового многорядного Омский 99

Pedigree of the spring multi-row barley variety Omsky 99

Ранее было установлено, что резистентность в сорт Омский 89 привнесена от сорта Омский 85, полученного в результате отбора мутантного растения из сорта Белогорский, в родословной которого присутствует сорт Keyston, обладающий высокой устойчивостью к пыльной головне [18]. Следует отметить, что он унаследовал ген устойчивости Run 6 от сорта Jet (к-18703, Эфиопия) ещё в середине XX в. [8]. Этот ген и сегодня остается высокоэффективным и в других регионах России [19].

С целью расширения генетического разнообразия источников резистентности осуществлен скрининг коллекционных образцов ячменя по устойчивости к местной популяции пыльной головки из России, Беларуси, Канады, США, Швеции, Украины и других стран.

Оценка коллекционного материала по устойчивости к природной популяции пыльной головки выявила резистентные образцы (табл. 3).

Источники устойчивости к местной популяции пыльной головки ячменя Омской области
Sources of resistance to the local population of loose smut of barley in the Omsk region

Каталог ВИР	Ген устойчивости	Сорт	Оригинатор	Поражение: % / ИУ	
				2022 г.	2023 г.
к-30174	Run 8	Эльф	РФ	2,4 / 0,05	3,7 / 0,06
к-30314	Run 8, Run 15	Суздалец	РФ	0 / 0	0 / 0
–	–	Задел	РФ	0 / 0	0 / 0
–	–	Витязь	РФ	0 / 0	0 / 0
–	–	Московский 86	РФ	2,2 / 0,05	3,8 / 0,06
к-15549	–	Himalayen	Канада	2,0 / 0,05	0 / 0
к-18688	Run 4	Dorsett	Канада	5,4 / 0,12	6,0 / 0,10
к-19910	Run 3	Galt	Канада	2,6 / 0,06	0 / 0
к-21661	Run 3, Run 6	Bonanza	Канада	2,1 / 0,05	0 / 0
к-19326	–	Nepal	США	3,4 / 0,08	0 / 0
к-21929	–	Milton	Швеция	8,5 / 0,19	7,1 / 0,12
Индикатор R		Омский 99	РФ	1,5 / 0,03	0 / 0
Индикатор S		Подарок Сибири	РФ	44,0 / 1,0	59,6 / 1,0

Иммунитет к патогену проявили сорта: Суздалец (к-30314), Задел и Витязь; практическую устойчивость (поражение 0–5 %, ИУ = 0,01–0,10) показали сорта Эльф, Московский 86, Himalayen (к-15549), Galt (к-19910), Bonanza (к-21661) и Nepal.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведённых исследований было установлено, что в популяции возбудителя пыльной головки ячменя практически отсутствуют биотипы, вирулентные к сортам, устойчивость которых обуславливают гены Run 6, Run 8 и Run 12. Незначительное поражение отмечено по тест-сорт Paragon (Run 3).

2. Оценка устойчивости выращиваемых и перспективных сортов ячменя в области показала, что они в основном представлены средневоспри-

имчивыми (ИУ = 0,41–0,80) и сильновосприимчивыми (ИУ = 0,81–1,0) двурядными формами. Слабую восприимчивость (ИУ = 0,11–0,41) показал сорт Омский 102, включённый в ГР РФ с 2023 г.

3. Стабильно проявляет высокую устойчивость к патогену многорядный плёчатый сорт Омский 99, предположительно по родословной с геном устойчивости Run 6.

4. В результате оценки коллекционного материала выявлен ряд непоражаемых и устойчивых образцов: Суздалец, Задел, Витязь, Эльф, Московский 86, Himalayen, Galt, Bonanza и Nepal. Перечисленные образцы рекомендованы для использования в практической селекции при создании устойчивых к пыльной головке сортов ячменя для Омской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимовская А.Я. Ячмень (эволюция, классификация, селекция). – Л.: Колос, 1972. – 296 с.
2. Система адаптивного земледелия Омской области. ФГБНУ «Омский АНЦ». – Омск, 2020. – 522 с.
3. Усольцев Ю.А. Снижение потерь урожая ячменя от головневых заболеваний // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3. – С. 65–69.
4. Легкун И.Б. Создание и оценка сортов ячменя озимого на групповую устойчивость к головневым заболеваниям // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 19 – № 2. – С. 191–196.
5. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). – Пушкино, 1994. – С. 110–119.
6. Тенденция преодоления устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops speltoides* Tausch / Л.Я. Плотникова, Л.В. Мешкова, Е.И. Гульяева [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22, № 5. – С. 560–567. – DOI: 10.18699/VJ18.395.

7. Влияние сортов мягкой яровой пшеницы ФГБНУ «Омского АНЦ» с геном Lr 26 на вирулентность возбудителя бурой ржавчины / Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, О.А. Шмакова [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 10. – С. 20–25.
8. Кривченко В.И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головнёвых болезней. – М.: Колос, 1984. – 304 с.
9. Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головнёвые болезни зерновых культур // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие. – М., 2008. – С. 32–85.
10. Резистентность к каменной головне сортов и коллекционных образцов двурядного ячменя в Западной Сибири / Л.Я. Плотникова, Л.В. Мешкова, О.Б. Сабаяева [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1 (37). – С. 50–60.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
12. Бехтольд Н.П., Орлова Е.А. Изучение расового состава возбудителя пыльной головни ячменя // Научные исследования для АПК в Сибири и Казахстане. Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий: сб. – Барнаул, 2018. – С. 24–30.
13. Bekhtold N.P., Orlova E.A. Genetics of resistance of spring barley to the agent *ustilago nuda* // Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology. The 6th International Scientific Conference. Abstracts. Editors: Alexey V. Kochetov, Elena A. Salina. Новосибирск, 2021. С. 33.
14. Щуплецова О.Н., Щенникова И.Н. Генетические источники селекции ячменя (*Hordeum vulgare*) в Волго-Вятском регионе // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – Т. 180, № 1. – С. 82–88. – DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-82-88.
15. *Fain mapping and identification of a candidate gene for the barley Un8 true loose smut resistance gene* / W. Zang, P. E., Eckstem, M. Colin [et al.] // Theor. Appl. Genet. – 2015. – Vol. 128. – P. 1209–1218. – DOI: 10.1007/s00122-2501-5.
16. Иммунологическая характеристика ячменя и овса по устойчивости к природным популяциям головнёвых заболеваний / Л.В. Мешкова, П.Н. Николаев, С.В. Васюкевич [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 10. – С. 43–49. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006.
17. Берлянд-Кожеевников В.М. Сопряжённая эволюция растения-хозяина и паразита и селекция пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине. // Сб. «Генетика и селекция болезнеустойчивых сортов культурных растений». – М.: Наука, 1974. – С. 17–40.
18. Падерина Е.В. Источники ячменя со стабильной комплексной устойчивостью к головнёвым заболеваниям // Источники устойчивости сельскохозяйственных культур к болезням в Западной Сибири: Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд. СибНИИСХ. – 1990. – Вып. 6. – С. 17–21.
19. Новикова А.А., Богданова О.В. Возможности маркер-ориентированной селекции для создания сортов ячменя, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. – 2021. – Т. 104, № 1 – С. 138–142. – DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-138.

REFERENCES

1. Trofimovskaya A.Ya., *Yachmen' (evolyutsiya, klassifikatsiya, selektsiya)* (Barley (evolution, classification, selection)), Leningrad: Kolos, 1972, 296 p.
2. *Sistema adaptivnogo zemledeliya Omskoy oblasti* (System of adaptive farming of the Omsk region), FGBNU Omsk ANC, Omsk, 2020, 522 p.
3. Usoltsev Yu.A., *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*, 2018, No. 3, pp. 65–69. (In Russ.)
4. Legkun I.B., *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2015, Vol. 19, No. 2, pp. 191–196. (In Russ.)
5. Zhuchenko A.A., *Strategiya adaptivnoy intensivifikatsii sel'skogo khozyaystva (kontseptsiya)* (Strategy of adaptive intensification of agriculture (concept)), Pushchino, 1994, pp. 110–119. (In Russ.)
6. Plotnikova L.Y., Meshkova L.V., Gulyaeva E.I., Mitrofanova O.P., Lapochkina I.F., *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, Vol. 22 (5), pp. 560–567, DOI: 10.18699/VJ18.395. (In Russ.)
7. Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Shmakova O.A., Belan I.A., *Uspekhi sovremennoi nauchnostvennosti*, 2021, No. 10, pp. 20–25. (In Russ.)
8. Krivchenko V.I., *Ustoychivost' zernovykh kolosovykh k vozбудителям golovnevykh bolezney* (Stability of grain spikelets to pathogens of bunt diseases), Moscow: Kolos, 1984, 304 p. (In Russ.)
9. Krivchenko V.I., Khokhlova A.P., *Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoychivosti k vrednym organizmam* (Study of genetic resources of cereal crops for resistance to pests), 2008, pp. 32–85.
10. Plotnikova L.Ya., Meshkova L.V., Sabaeva O.B., Nikolaev P.N., *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 1 (37), pp. 50–60. (In Russ.)
11. Dospikhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methodology of field experience), Moscow: Alliance, 2014, 351 p. (In Russ.)

12. Bekhtold N.P., Orlova E.A., *Nauchnye issledovaniya dlya APK v Sibiri i Kazakhstane. Federal'nyy Altayskiy nauchnyy tsentr agrobiotekhnologiy*, Barnaul, 2018, pp. 24–30. (In Russ.)
13. Bekhtold N.P., Orlova E.A., Genetics of resistance of spring barley to the agent *ustilago nuda*, *Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology*, The 6th International Scientific Conference. Abstracts. Editors: Alexey V. Kochetov, Elena A. Salina, Novosibirsk, 2021, p. 33. (In Russ.)
14. Shchupletsova O.N., Schennikova I.N., *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2019, Vol. 180 (1), pp. 82–88, DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-82-88. (In Russ.)
15. Zang W., Eckstem P.E., Colin M. [et al.], Fain mapping and identification of a candidate gene for the barley Un8 true loose smut resistance gene, *Theor. Appl. Genet.*, 2015, Vol. 128, pp. 1209–1218, DOI: 10.1007/s00122-2501-5.
16. Meshkova L.V., Nikolaev P.N., Vasyukevich S.V., Sabaeva O.B., Pyatkova O.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 10, pp. 43–49, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006. (In Russ.)
17. Berlyand-Kozhevnikov V.M., *Genetika i selektsiya bolezneustoychivyykh sortov kul'turnykh rasteniy* (Genetics and breeding of disease-resistant varieties of cultivated plants), Moscow, Nauka, 1974, pp. 17–40. (In Russ.)
18. Paderina E.V., *Istochniki ustoychivosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur k boleznyam v Zapadnoy Sibiri*, VASHNIL. Siberian branch. SibNIISKh, 1990, Vol. 6, pp. 17–21. (In Russ.)
19. Novikova A.A., Bogdanova O.V., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2021, Vol. 104, No. 1, pp. 138–142, DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-138. (In Russ.)

Информация об авторах:

Л.В. Мешкова, кандидат биологических наук

О.Б. Сабаева

П.Н. Николаев, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

L.V. Meshkova, candidate of Biological Sciences

O.B. Sabaeva

P.N. Nikolaev, candidate of Agricultural Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ САЖЕНЦЕВ СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ

А.Ф. Петров, К.С. Макарова, О.Н. Колбина, И.В. Кархардин, Т.В. Гаврилец

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

E-mail: petrov190378@mail.ru

Для цитирования: Совершенствование элементов технологии выращивания саженцев смородины черной / А.Ф. Петров, К.С. Макарова, О.Н. Колбина, И.В. Кархардин, Т.В. Гаврилец // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 79–84. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-79-84.

Ключевые слова: смородина, сорт, приживаемость, одревесневшие черенки, гуматы, органические удобрения.

Реферат. В последние годы отрасль плодоводства существенно претерпела изменения. Так, например, за последние 10 лет отечественное производство плодовой и ягодной продукции возросло более чем на 40 %, львиная доля которой применяется в пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации и занимает в ней особое положение. Плодово-ягодная продукция является важнейшим источником витаминов, в их число входят такие витамины, как С, Р, Е, К и каротин, которые никак не синтезируются в нашем организме и должны регулярно поступать с пищей. Однако с ростом производства данной продукции растет и потребность в посадочном материале, а также затраты на производство самой продукции. В связи с этим низкое использование средств интенсификации в плодоводстве, в том числе применение гуминовых препаратов и корнеобразователей, существенно снижает эффективность производства качественного посадочного материала. Для решения данной проблемы и снижения затрат на производство саженцев способом одревесневшего черенкования необходимо использовать приемы интенсификации с применением органических удобрений на основе местных сырьевых ресурсов. Исследования проводились в 2019–2021 гг. на участке одревесневшего черенкования ягодных культур учебно-опытного хозяйства «Сад Мичуринцев» Новосибирского ГАУ. В работе проанализированы особенности размножения садовых культур способом одревесневшего черенкования. Показано влияние органических удобрений на приживаемость, укоренение и перезимовку черенкового материала. Изучены особенности роста и развития смородины черной под действием органических удобрений. Установлен выход товарных саженцев садовых культур под действием применяемых технологий.

IMPROVEMENT OF THE ELEMENTS OF THE TECHNOLOGY OF GROWING BLACK CURRANT SEEDLINGS.

A.F. Petrov, K.S. Makarova, O.N. Kolbina, I.V. Karkhardin, T.V. Gavrillets

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: petrov190378@mail.ru

Keywords: currant, variety, survival rate, lignified cuttings, humates, organic fertilizers.

Report. In recent years, the fruit growing industry has undergone significant changes, for example, over the past 10 years, domestic production of fruit and berry products has increased by more than 40%, the lion's share of which is used in the food and processing industry of the Russian Federation, and occupy a special position there. Fruit and berry products are the most important source of vitamins, including vitamins such as C, P, E, K and carotene, which are not synthesized in our body in any way and must be supplied regularly with food. However, with the growth of production of these products, the need for planting material is also growing, as well as the cost of manufacturing the products themselves. In this regard, the low use of intensification agents in fruit growing, including the use of humic preparations and root-forming agents, significantly reduces the efficiency of production of high-quality planting material. To solve this problem and reduce the cost of producing seedlings by the method of lignified cuttings, it is necessary to use intensification techniques using organic fertilizers based on local raw materials. The research was carried out in 2019–2021 at the site of lignified cuttings of berry crops, the educational and experimental farm "Michurintsev Garden" of the Novosibirsk State Agrarian University. The paper analyzes the features of propagation of garden crops by the method of lignified cuttings. The effect of

organic fertilizers on the survival, rooting and overwintering of cuttings is shown. The features of the growth and development of black currant under the action of organic fertilizers have been studied. The yield of commercial seedlings of garden crops has been established under the influence of applied technologies

Для обеспечения растущих потребностей человека в необходимых продуктах питания большое значение имеет производство плодово-ягодных культур. В настоящее время в Западной Сибири используется 43 млн га сельскохозяйственных угодий, в том числе 23,5 млн га природных сенокосов и пастбищ. Однако на долю многолетних насаждений приходится менее 2–3 % площадей, из которых 87 % возделываются в личных подворьях и на садово-огородных участках [1, 2]. Кроме того, в последние годы заметно возрос спрос на высокопродуктивные саженцы районированных сортов, а следовательно, увеличивается потребность в посадочном материале и необходимость в совершенствовании технологии их размножения, в частности смородины черной.

Смородина черная – листопадный кустарник семейства крыжовниковых. Популярное садовое плодово-ягодное растение. Она является одной из основных ягодных культур Сибири, которая благодаря высокому содержанию витаминов и биологически активных веществ лидирует по производству поливитаминной и экологически безопасной продукции.

В ягодах черной смородины содержится высокое содержание витамина С 400–600 мг/% [3, 4], а также повышенное содержание других витаминов, таких как В, Р, провитамина А, органических кислот (лимонной и яблочной), различных сахаров (в основном глюкозы и фруктозы), гликозиды, пектиновые, дубильные, антоциановые (дельфинидин, цианидин) и азотистые вещества. Минеральный состав ягод включает в себя: натрий – 32 мг/%, калий – 369 мг/%, кальций – 36 мг/%, магний – 36 мг/%, фосфор – 34 мг/%, железо – 1,4 мг/%. Кроме того, другие части растений также богаты витаминами и питательными веществами, так, например, содержание аскорбиновой кислоты в других частях растения очень высокое: в листьях – более 460 мг/%, в почках – более 180 мг/%, в бутонах более 400 мг/%, в цветках более 270 мг/%. Кроме того, листья черной смородины богаты аскорбиновой кислотой, каротином, фитонцидами, эфирными маслами. Масло семян черной смородины богато гамма-линоленовой кислотой [4–6]. Говоря о положительных свойствах смородины черной, нельзя не упомянуть и ее фармакологические свойства. В силу своего уникального состава

она обладает потогонным, мочегонным и закрепляющим свойствами. Зеленая масса и зрелые плоды смородины оказывают дезинфицирующее действие. Так, например, в народной медицине отваром листьев смородины лечат золотуху у детей [7], а свежими и даже переработанными ягодами лечат заболевания желудочно-кишечного тракта и, в частности, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Высушенные листья активны в отношении возбудителя дизентерии и могут применяться в качестве вспомогательного средства, повышающего активность антибиотиков [8].

Цель работы – изучение влияния органических удобрений на рост и развитие саженцев смородины черной из одревесневших черенков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2019–2021 гг. на участке одревесневшего черенкования ягодных культур учебно-опытного хозяйства «Сад Мичуринцев» Новосибирского ГАУ, расположенного в северной лесостепи Приобья, относящейся к Западно-Сибирскому региону лесостепной зоны страны.

За годы исследований гидротермические условия вегетационных периодов значительно различались. Так, например, вегетационный период 2019 г. в целом по увлажнению характеризуется как засушливый (ГТК = 1), умеренно теплый (1653 °С). 2020 г. в целом по увлажнению был аномально засушливый (ГТК менее 0,9), умеренно теплый (1664 °С). При этом наиболее засушливыми были весенний и осенний период (ГТК = 0,0). 2021 г. по гидротермическим параметрам был умеренно теплым, умеренно теплый (1683 °С) и влажным (ГТК = 1,3).

Почва участка – серая лесная. Содержание гумуса в пахотном горизонте 3,1–3,9 %, азота нитратного 11–12,5 мг/кг, азота аммиачного 9,2–11,9 мг/кг, подвижного фосфора 179–182 мг/кг (по Ю.И. Чирикову, 1969), обменного калия 196–202 мг/кг почвы. Сумма поглощенных оснований 31,1–48,0 мг.-экв. на 100 г почвы, рН солевой 7,1–7,5 (данные центра агрохимической службы «Новосибирский»).

В соответствии с поставленными задачами был заложен следующий опыт: «Совершенство-

вание элементов технологии выращивания саженцев смородины черной». Повторность опытах 4-кратная, размещение делянок рендомизированное, площадь делянок 2 м², учетная 1 м². В работе использовались районированные сорта смородины черной: Ядреная и Ксюша, на которых изучали действие органических удобрений ЖТ Экожизнь и Экофус.

В работе использовали полевой, лабораторный и статистический методы исследований [9]. Размножение смородины черной одревесневшими черенками проводили по методике М.Т. Тарасенко [10]. Посадку материала в грунт проводили в конце первой начале второй декады мая. Фенологические исследования проводили по методике В.Ф. Моисейченко [11, 12] Учеты перезимовки проводили после распускания вегетативных почек

[13–15]. Основные параметры сопутствующих учетов, наблюдений и урожайные данные обработаны методом дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате учета приживаемости одревесневших черенков смородины черной было установлено, что укоренение в большей степени зависело от условий вегетации, препаратов и в меньшей степени от генотипа. Так, в среднем по годам разница по приживаемости составляла до 35 % в зависимости от вариантов, а применение органоминеральных удобрений вызывало изменения до 20–25 %, при этом разница по сортам составляла не более 5–8 % (табл. 1).

Таблица 1

Приживаемость одревесневших черенков черной смородины при внесении органических удобрений (2019–2021 гг.), %

Survival rate of lignified cuttings of black currant with the application of organic fertilizers (2019–2021), %

Вариант опыта	Сорт							
	Ядреная				Ксюша			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Ср.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Ср.
Контроль	69	54	72	65,0	66	48	71	61,7
ЖТ Экожизнь	81	69	84	78,0	78	59	83	73,3
Экофус	78	62	85	75,0	79	63	86	76,0
НСР _{0,5}	4,3							

Максимальные показатели по приживаемости 85–86 % были отмечены в 2021 г. в вариантах с применением препарата Экофус, при этом варианты с применением препарата ЖТ Экожизнь незначительно им уступали, обеспечивая до 83–84 %.

Применение органических удобрений способствовало увеличению длины побегов черной смородины более чем в 2 раза по отношению к контролю (табл. 2).

Таблица 2

Влияние органических удобрений на формирование побегов смородины черной (2019–2022 гг.)

The influence of organic fertilizers on the formation of blackcurrant shoots (2019–2022)

Вариант опыта	1-й год роста (2019–2021 гг.)		Доращивание (2020–2022 гг.)	
	Среднее количество побегов, шт.	Средняя длина побега, см	Среднее количество побегов, шт.	Средняя длина побега, см
Ядреная				
Контроль	1,7	14,9	2,7	13,8
ЖТ Экожизнь	1,9	24,1	3,0	40,3
Экофус	1,8	20,8	3,1	36,9
Ксюша				
Контроль	1,7	15,3	2,9	35,1
ЖТ Экожизнь	1,9	31,2	3,2	63,1
Экофус	1,9	29,1	3,0	52,9

Установлено, что максимальный эффект на формирование вегетативной массы смородины черной оказывает органоминеральное удобрение ЖТ Экожизнь, когда количество побегов в зависимости от сорта достигает 3–3,2 шт, а их средняя длина составляет от 40,3 до 63,1 см. При этом максимальные показатели отмечены по сорту Ксюша, значения которой в среднем на 25–30 % выше сорта Ядреная, что объясняется генетическими особенностями сорта.

Смородина черная считается достаточно зимостойкой культурой, однако в условиях Западной Сибири, когда температура устойчиво снижается

до –35–40 °С и ниже, а также оттепели чередуются с резкими похолоданиями, могут повреждаться плодовые почки и древесина, особенно у молодых плохо укорененных саженцев. Поэтому зимостойкость является важным показателем в наших опытах. Так, например, применение органических удобрений способствовало достоверному снижению степени подмерзания древесины смородины черной. В среднем повреждение морозами тканей растений на этих делянках составляло не более 12 %, в то время как на контроле этот показатель достигал 29 % (табл. 3)

Таблица 3

Зимостойкость саженцев смородины черной в зависимости от применения органических удобрений, %
Winter hardiness of blackcurrant seedlings depending on the use of organic fertilizers, %

Вариант опыта	Сорт							
	Ядреная				Ксюша			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Ср.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Ср.
Контроль	81	86	65	77,3	86	88	71	81,7
ЖТ Экожизнь	94	98	84	92,0	88	99	83	90,0
Экофус	87	92	85	88,0	89	93	86	89,3
НСР _{0,5}	2,7							

Следует отметить, что зимостойкость саженцев смородины черной во многом зависела от условий года. Так, например, аномально холодная зима 2022 г. существенно снизила количество перезимовавших растений, на контроле до 35 %, а на обработанном фоне до 17 %. В то время как в 2020 и 2021 г. выпад не превышал 19 % по контролю и 12 % по обработанному фону. Из применяемых органических удобрений наибольший положительный эффект был достигнут в вариантах с ЖТ Экожизнь, где разница по отношению к вариантам с Экофус составляла 5 % и более 15 % по отношению к контролю. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что зимостойкость саженцев смородины черной в первую очередь зависит от условий года, а во вторую – от применяемых технологий и практически не зависит от генотипа растений.

ВЫВОДЫ

1. Почвенно-климатические условия лесостепи Западной Сибири по приходу фотосинтетически активной радиации и сумме активных температур достаточны для роста и формирования урожайности ягодных культур.

2. Приживаемость одревесневших черенков смородины, их рост и развитие, а также зимостойкость в большей степени зависят от условий года, препаратов и в меньшей степени от генотипа. Так, в среднем по годам разница по изучаемым параметрам составляла до 35 % в зависимости от вариантов, а применение органоминеральных удобрений вызывало изменения до 20–25 %, при этом разница по сортам составляла не более 1–5 %.

3. Установлено, что максимальный эффект на приживаемость одревесневших черенков, формирование вегетативной массы и зимостойкость смородины черной оказывает органоминеральное удобрение ЖТ Экожизнь, когда разница в зависимости от вариантов колеблется от 5 % по обработанному фону и 22 % по отношению к контролю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Интродукция новых сортов крупноплодной ремонтантной земляники в лесостепи западной Сибири* / К.С. Макарова, А.В. Пастухова, А.С. Газизулина [и др.] // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2021. – № 4 (34). – С. 128–134. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-34-4-132-138. – EDN AXYLPH.
2. *Introduction of Large-Fruited Strawberry Varieties on the Territory of the Novosibirsk Region in the Conditions of Western Siberia* / K.S. Makarova, A.F. Petrov, A.V. Pastukhova [et al.] // *Advancements in Life Sciences*. – 2022. – Vol. 9, N 3. – P. 328–333. – EDN WSPJTA.
3. *Ботанико-фармакогностический словарь: справ. пособие* / Под ред. К.Ф. Блиновой, Г.П. Яковлева. – М.: Высш. шк., 1990. – С. 270.
4. *Юхачева Е.Я., Акуленко Е.Г., Яговенко Г.Л. Оценка адаптивности и продуктивности отборных гибридных форм смородины черной* // *Садоводство и виноградарство*. – 2021. – № 3. – С. 11–15. – DOI: 10.31676/0235-2591-2021-3-11-15. – EDN BPYPJS.
5. *Ribes taxa: A promising source of γ -linolenic acid-rich functional oils* / S. Lyashenko, M.J. González-Fernández, F. Gómez-Mercado [et al.] // *Food chemistry*. – 2019. – 125309. – PMID 31398673. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125309.
6. *Black Currant Seed Oil*. Архивная копия от 5 марта 2021 на Wayback Machine. PMID 29999722.
7. *Губанов И.А., Крылова И.Л., Тихонова В.Л. Дикорастущие полезные растения СССР* / отв. ред. Т.А. Работнов. – М.: Мысль, 1976. – 360 с.
8. *Интродукция сортов земляники садовой крупноплодной в лесостепи Западной Сибири* / А.Ф. Петров, А.В. Пастухова, К.С. Макарова [и др.] // *Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. VI Всерос. (нац.) науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 20 декабря 2021 года*. – Новосибирск, 2021. – С. 143–148. – EDN XTCJJI.
9. *Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. – М.: Колос, 1979. – 416 С.
10. *Тарасенко М.Т. Зеленое черенкование садовых и лесных культур: (Теория и практика)*. – М.: Изд-во МСХА, 1991. – 268 с.
11. *Моисейченко В.Ф., Заверюха А.Х., Трифонова М.Ф. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве: учеб пособие*. – М.: Колос, 1994. – 382 с.
12. *Ермаков Б.С. Биолого-агротехнические особенности технологии зеленого черенкования древесных растений: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук*. – М., 1992. – 49 с.
13. *Интродукционные исследования древесных растений* / И.М. Гаранович, А.А. Чаховский, Н.В. Македонская, Н.В. Кравченко // *Биологическое разнообразие растений: его исследование, сохранение и использование в Республике Беларусь: сб. науч. работ (к 70-летию ЦБС НАН Беларуси)* / Национальная академия наук Беларуси, Центральный ботанический сад. – Минск: Технопринт, 2003. – С. 96–159.
14. *Маркелова Н.В. Хозяйственно-биологическая и селекционная оценка новых форм и гибридов черной смородины в условиях Брянской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук*. – Брянск, 2007. – 23 с.
15. *Мехедов М.А. Методика оценки качества саженцев черной смородины* // *Плодоводство и ягодоводство России*. – 2005. – Т. 14. – С. 193–197.

REFERENCES

1. Makarova K.S., Pastukhova A.V., Gazizulina A.S. [i dr.], *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2021, No. 4 (34), pp. 128–134, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-34-4-132-138. (In Russ.)
2. Makarova K.S., Petrov A.F., Pastukhova A.V. [et al.], *Introduction of Large-Fruited Strawberry Varieties on the Territory of the Novosibirsk Region in the Conditions of Western Siberia*, *Advancements in Life Sciences*, 2022, Vol. 9, No. 3, pp. 328–333, EDN WSPJTA.
3. *Botaniko-farmakognosticheskiy slovar'* (Botanical and Pharmacognostic Dictionary), Pod red. K.F. Blinovoy, G.P. Yakovleva, Moscow: Vyssh. shk., 1990, pp. 238.
4. Yuhacheva E.Ya., Akulenko E.G., Yagovenko G.L., *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2021, No. 3, pp. 11–15, DOI: 10.31676/0235-2591-2021-3-11-15. – EDN BPYPJS. (In Russ.)
5. Lyashenko S., González-Fernández M.J., Gómez-Mercado F. [et al.], *Ribes taxa: A promising source of γ -linolenic acid-rich functional oils*, *Food chemistry*, 2019, pp. 125309, PMID 31398673, DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125309.
6. *Black Currant Seed Oil*. Arkhivnaya kopiya ot 5 marta 2021 na Wayback Machine. PMID 29999722.
7. Gubanov I.A., Krylova I.L., Tikhonova V.L., *Dikorastushchie poleznye rasteniya SSSR* (Wild useful plants of the USSR), Moscow: Mysl', 1976, 360 p.

8. Petrov A.F., Pastukhova A.V., Makarova K.S. [i dr.], *Rol' agrarnoy nauki v ustoychivom razvitii sel'skikh territoriy* (The role of agricultural science in sustainable development of rural areas), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2021, pp. 143–148. (In Russ.)
9. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Kolos, 1979, pp. 416.
10. Tarasenko M.T., *Zelenoe cherenkovanie sadovykh i lesnykh kul'tur (Teoriya i praktika)* (Green cuttings of garden and forest crops: (Theory and practice)), Moscow: Izd-vo MSKhA, 1991, 268 p.
11. Moiseychenko V.F., Zaveryukha A.Kh., Trifonova M.F., *Osnovy nauchnykh issledovaniy v plodovodstve, ovoshchevodstve i vinogradarstve* (Fundamentals of scientific research in fruit growing, vegetable growing and viticulture), Moscow: Kolos, 1994, 382 p.
12. Ermakov B.S., *Biologo-agrotekhnicheskie osobennosti tekhnologii zelenogo cherenkovaniya drevesnykh rasteniy* (Biological and agrotechnical features of the technology of green cuttings of woody plants), Abstract of doctoral dissertation, Moscow, 1992, 49 p.
13. Garanovich I.M., Chakhovskiy A.A., Makedonskaya N.V., Kravchenko N.V., *Biologicheskoe raznoobrazie rasteniy: ego issledovanie, sokhranenie i ispol'zovanie v Respublike Belarus'* (Plant biological diversity: its research, conservation and use in the Republic of Belarus), Proceedings of the Conference Title, Minsk: Tekhnoprint, 2003, pp. 96–159. (In Russ.)
14. Markelova N.V., *Khozyaystvenno-biologicheskaya i selektsionnaya otsenka novykh form i gibridov chernoy smorodiny v usloviyakh Bryanskoy oblasti* (Economic-biological and selection evaluation of new forms and hybrids of black currant in the conditions of the Bryansk region), Abstract of a candidate's dissertation, Bryansk, 2007, 23 p.
15. Mekhedov M.A., *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2005, T. 14, pp. 193–197. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.Ф. Петров, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
 К.С. Макарова, аспирант
 О.Н. Колбина, аспирант
 И.В. Кархардин, старший преподаватель
 Т.В. Гаврилец, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

A.F. Petrov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
 K.S. Makarova, post-graduate student
 O.N. Kolbina, post-graduate student
 I.V. Karkhardin, Senior lecturer
 T.V. Gavrillets, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИТОГИ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ ПО РАПСУ В СИБИРИ

¹О.А. Познахарева, ¹Н.В. Данилов, ^{2,3}В.П. Данилов, ^{2,3}Т.А. Садохина, ¹В.А. Ланин¹Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Красноярск, Россия²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, пос. Краснообск Новосибирской обл., Россия³ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

E-mail: sadohina78@yandex.ru

Для цитирования: Итоги селекционной работы по рапсу в Сибири / О.А. Познахарева, Н.В. Данилов, В.П. Данилов, Т.А. Садохина, В.А. Ланин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 85–94. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-85-94.

Ключевые слова: яровой рапс 00-типа, селекция, гибридизация, отбор, урожайность, зеленая масса, семена.

Реферат. Рапс – одна из ведущих сельскохозяйственных культур в мире с широким ареалом возделывания. В статье показана история развития рапсоводства в Сибири и представлены итоги селекционной работы по рапсу. Приведены сорта ярового рапса Восточно-Сибирской селекции, перспективные для Западной и Восточной Сибири. Дана краткая характеристика сорта рапса Ужурский – первого сорта, созданного методом ускоренной селекции с низким содержанием эруковой кислоты. Представлена история районирования безэрукового и низкоглюкозинолатного сорта ярового рапса пищевого направления использования Дубравинский скороспелый с высокой урожайностью семян – до 27,2 ц/га и масличностью до 43–45%. Показана история создания самого известного в Красноярском крае и сопредельных областях сорта ярового рапса Надежный 92, полученного методом диаллельных скрещиваний, с урожайностью зеленой массы до 315–380 ц/га, семян до 21,9 ц/га, с содержанием в семенах до 22,8 % белка и до 42–44 % жира. Дальнейшая селекционная работа способствовала созданию сорта ярового рапса комплексного направления использования (на зеленый корм и семена) Подарок и сорта масличного направления использования Сибирский. Последние 15 лет ведется работа с сортообразцом № 595, получившим название сорт Ладный, с урожайностью зеленой массы до 50,4 т/га (на 16 % выше стандарта), сбором сухого вещества – 9,36 т/га (на 12% выше стандарта), кормовой ценностью зеленой массы – кормовых единиц – 0,148 г, переваримого протеина – 18,18 г, переваримого протеина в 1 к. ед. – 124,6 г, урожайностью семян за пять лет исследований от 1,37 до 2,58 т/га, в среднем 2,01 т/га (на 17,5 % выше стандарта Надежный 92–1,71 т/га). Новый сорт Ладный рекомендуется для возделывания в Западной и Восточной Сибири.

THE RESULTS OF THE BREEDING WORK ON RAPESEED IN SIBERIA

¹O.A. Poznakhareva, ¹N.V. Danilov, ^{2,3}V.P. Danilov, ^{2,3}T.A. Sadokhina, ¹V.A. Lanin¹Krasnoyarsk Scientific Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk, Russia²Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia³Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: sadohina78@yandex.ru

Keywords: 00-type spring rape, breeding, hybridization, selection, yield, green mass, seeds.

Abstract. Rapeseed is one of the leading agricultural crops in the world with a wide area of cultivation. The article shows the history of the development of rapeseed farming in Siberia and presents the results of breeding work on rapeseed. The varieties of spring rapeseed of East Siberian breeding, promising for Western and Eastern Siberia, are given. A brief description of the Uzhursky rapeseed variety is the first variety created by accelerated breeding with a low content of erucic acid. The article presents the history of zoning of the aneruk and low-glucosinolate varieties of spring rapeseed in the food direction of use Dubravinsky precocious with high seed yield – up to 27.2 c/ha and oil content up to 43–45%. The history of the creation of the most famous variety of spring rapeseed Reliable 92 in the Krasnoyarsk Territory and adjacent regions, obtained by the method of diallel crosses, with a yield of green mass up to 315–380 kg/ha, seeds up to 21.9 kg/ha, with a seed content of up to 22.8%

protein and up to 42-44% fat. Further breeding work contributed to the creation of a variety of spring rapeseed for complex use (for green feed and seeds) The gift and varieties of the oilseed direction of use are Siberian. Over the past 15 years, work has been carried out with variety sample No. 595, called the Ladny variety, with a yield of green mass up to 50.4 t/ha (16% higher than the standard), a dry matter content of 9.36 t/ha (12% higher than the standard), a feed value of green mass - feed units – 0.148 g, digestible protein – 18.18 g, digestible protein in 1 K. unit - 124.6 g. Seed yield over five years of research ranged from 1.37 to 2.58 t/ha, on average 2.01 t/ha (17.5% higher than the standard Reliable 92 – 1.71 t/ha). The new Ladny variety is recommended for cultivation in Western and Eastern Siberia.

Рапс – одна из ведущих сельскохозяйственных культур в мире, ареал возделывания которой необычайно широк и охватывает практически все природно-климатические зоны земледелия. Чрезвычайно разнообразна и область его применения [1].

Рапс считается одной из наиболее древних сельскохозяйственных культур, первое упоминание о нем относят к 2000 г. до н. э. в Индии, откуда культура (35 г. до н.э.) распространилась в Китай и Японию. Считается, что рапс был введен в культуру более 4000 лет назад, доказано гибридное происхождение рапса ($2n = 38$) как естественного амфидиплоида от спонтанного скрещивания каких-то форм дикой капусты ($2n = 18$) и сурепицы ($2n = 20$), однако в диком состоянии рапс не найден. Известно, что в конце XVII века рапс начали возделывать в Европе, к 1870 г. в одной лишь Германии его посевы занимали 300 тыс. га [2, 3].

В России к 1870 г. рапса было 25 тыс. га, в течение 30 лет его посевы возросли до 350 тыс. га, рапс в основном возделывали для получения технических масел, а также как зеленый корм [4]. Однако к началу 50-х гг. XX в. его производство было практически свернуто. Основной причиной этого считается интенсивное развитие производства подсолнечника, с которым рапс не смог конкурировать в экономическом отношении, а также отсутствие эффективных средств защиты растений от вредителей. К 1970 г. в России рапсом было занято всего около 3 тыс. га. Широкое производственное испытание и возделывание этой культуры в нашей стране было возобновлено с 1980 г. [5, 6].

В Сибири основными масличными культурами были рыжик и горчица, рапс выращивали на небольших площадях некоторые хозяйства Сибири и Дальнего Востока в основном на кормовые цели. В Читинской области (Ононское ОПХ ЗабНИТИ ОМС) в 1970–1973 гг. на площадях от 2 до 36 га была получена урожайность семян от 6,1 ц/га в 1970 г. до 20,7 ц/га в 1973 г. С 1979 г. начали производственное возделывание рапса в Омской области, там было посеяно 1,3 тыс. га, и

за короткий срок эта культура получает в Сибири широкое распространение: в 1982 г. в Читинской области рапсом было засеяно около 88 тыс. га, в Иркутской – 60, Омской – 53,5, Красноярском крае – 40,3, Тувинской АССР – 12, Бурятской АССР – 15 тыс. га [7, 8].

В настоящее время семена технических сортов рапса должны содержать в масле 45–52 % (до 57,2 %) эруковой и 12–16 (до 20,2 %) – олеиновой кислот, 3–8 % глюкозинолатов [9, 10]. Рапсовое масло с высоким содержанием эруковой кислоты устойчиво к действию высоких температур и используется в качестве смазки в реактивных двигателях, в металлургии для закалки стали. При нагревании с серой при температуре 160–250 °C рапсовое масло полимеризуется, образуя «фактис» – каучукоподобную массу, применяемую для изготовления эластичных изделий. Производные эруковой кислоты являются необходимыми компонентами для выработки мягчителей, нейлона и других полимерных материалов. Масло используется также в лакокрасочной, мыловаренной, косметической, полиграфической, кожевенной и текстильной промышленности.

Наступление качественно новой эпохи в возделывании рапса тесно связано с достижениями селекции: созданием сортов рапса с низким содержанием или полным отсутствием в масле эруковой кислоты и глюкозинолатов (0–2 %). Масло таких сортов (сорта 00-типа) содержит большое количество ненасыщенных жирных кислот, необходимых в питании человека: олеиновой – 52–65 % (до 70 %), линоленовой – 8–10 %; линолевой – 18–25 %, которые играют важную роль в регуляции жирового обмена, снижают уровень холестерина, уменьшая возможность заболеваний [11, 12]. Рапсовое масло широко используется в пищу как салатное, в маргариновой и консервной промышленности, по вкусовым качествам приравнивается к оливковому.

При повышении цен на нефть и газ и истощении их природных запасов возникает необходимость в поисках альтернативных источников энергии. В этом случае рапсовое масло может быть использовано в производстве горюче-сма-

зочных материалов и гидравлических масел, а также при производстве экологически безопасного биотоплива.

При переработке семян на масло остаются жмыхи и шроты, которые содержат более 10 % жира и 35–45 % белка, в 1 кг рапсового жмыха содержится 1,0–1,5 к. ед.; 300–330 г сырого или 255–280 – переваримого протеина. Жмыхи и шроты, а также рапсовая мука – ценные концентрированные корма для животных и птицы, одной тонной можно сбалансировать по белку 8–10 т комбикормов, повышая обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином с 81 до 112–114 г. При введении в рацион дойных коров 0,8–1,0 кг (до 1,5 кг) рапсового жмыха на одну голову в два первые месяца лактации надой повышается на 30 %, причем молоко от коров, получавших рапсовый жмых, отличается более высокой жирностью (до 4,2 %) [14].

Рапс – прекрасное кормовое растение на зеленый корм, для приготовления силоса, сенажа, витаминно-травяной муки и гранул. Зеленую массу рапса используют для подкормки и выпаса животных. Сочная зеленая масса в течение лета мало грубеет, богата белком (16–24 % на абсолютно сухое вещество) и витамином С, имеет высокую поедаемость – 85–90 % и хорошую переваримость – 80–86 %, в условиях Сибири в 1 кг зеленой массы ярового рапса содержится 0,24–0,36 к. ед. и 22,2–34,8 г переваримого протеина. Яровой рапс широко используется в Сибири для получения 35–45 т/га зеленой массы в позднеосеннее время, когда другие культуры практически не могут вегетировать, тем самым продлевается на 1,5–2 мес. пастбищный период крупного рогатого скота.

Зеленая масса рапса является хорошим сырьем для заготовки высококачественного силоса. Глюкозинолаты, содержащиеся в зеленой массе, разрушаются при силосовании на 75 %, и скармливание рапсового силоса не представляет опасности. Рапсовый силос характеризуется благоприятным соотношением органических кислот: молочной – 59 %, уксусной – 41 %, масляная кислота отсутствует; рН – 4,17, наличие сахара в 2 раза превышает сахарный минимум. Питательность 1 кг силоса – 0,15–0,18 к. ед. Таким образом, по урожайности и сбору переваримого протеина яровой рапс является ценной кормовой культурой и превосходит по своей эффективно-

сти все высеваемые в настоящее время в Сибири кормовые культуры [13].

Рапс имеет большое агротехническое значение. Благодаря глубоко проникающей коневой системе (до 1,5–2,0 м) он способствует улучшению структуры почвы, перемещению питательных веществ из нижних слоев в верхние, увеличивая тем самым запасы питательных веществ, доступных последующим культурам, и является хорошим предшественником.

В настоящее время в мировом сельском хозяйстве рапс занимает второе место среди масличных культур, с валовым производством порядка 70 млн т. Ключевыми производителями семян рапса являются страны ЕС, Канада, Китай, Австралия и Россия, на долю которой по объему посевных площадей и урожаю приходится около 5 %.

По данным Росстата РФ, посевные площади рапса в России в 2021 г. составили 1408 тыс. га, увеличившись за последние три года более чем на 500 тыс. га, причем 75 % площадей приходится на долю ярового рапса. Валовые сборы семян рапса составили 2307 тыс. т в первоначальном весе, в том числе ярового рапса собрали 1864,4 тыс. т, средняя урожайность рапса в России 16,2 ц/га, в том числе урожайность ярового рапса составила 15,0 ц/га.

Основной прирост посевных площадей и валового сбора маслосемян приходится на Сибирский федеральный округ (СФО), в 2019 г. яровым рапсом было засеяно 680 тыс. га, 2020 г. – 567,9, 44 % всех посевов рапса в России. СФО также находится на первом месте по валовым сборам семян рапса: 793,0 тыс. т в 2019 г. и 908,9 тыс. т в 2020 г. (35 % в общих сборах семян рапса). В общем объеме валового сбора семян рапса в России в 2021 г. лидирует Красноярский край – 306,9 тыс. т, 11,0 % от общего сбора, на втором месте Алтайский край – 203,7 тыс. т, 7,3 %. Урожайность рапса в Сибири за последние годы возросла на 48 % – с 11 до 16 ц/га.

Для возделывания на территории России в Госреестре РФ зарегистрировано 130 сортов ярового рапса отечественной и зарубежной селекции, все сорта – 00-типа, безэруковые и низкоглюкозинолатные. Половина этих сортов (65) может успешно возделываться в Сибири, из них 54 сорта зарегистрированы для условий Западной Сибири и 31 – для более суровых условий Восточной Сибири, причем 16 сортов созданы сибирскими селекционерами (таблица).

Сорта ярового рапса, включенные Госреестр РФ
Spring rapeseed varieties included in the State Register of the Russian Federation

Культура, оригинатор	Кол-во сортов, включенных в Госреестр РФ	Кол-во сортов для Сибири	В том числе для региона	
			Западно-Сибир- ского (10)	Восточно-Сибир- ского (11)
Рапс яровой, всего	130	65	54	31
В том числе ВНИИ рапса г. Липецк	26	13	11	11
Алтайский НИИСХ, Сибирская ОС, СибНИИ кормов	16	16	14	9

В 1978 г. был передан на Государственное сортоиспытание, а в 1981 г. районирован первый сибирский сорт ярового рапса Восточно-Сибирский. В 70-е гг. прошлого века рапс возделывался для кормовых и технических целей, основной задачей селекции в те годы было создание скороспелых, высокопродуктивных, устойчивых к неблагоприятным факторам среды сортов рапса. Селекция на качество масла и шрота не проводилась. Поэтому первые районированные сорта рапса имели высокое содержание в семенах эруковой кислоты и глюкозинолатов. Например, сорт Восточно-Сибирский содержал в масле 35–37 % эруковой кислоты и 3–4 % глюкозинолатов; сорт Львовский селекции Львовского СХИ, районированный в 1982 г., соответственно 45–48 и 2–3 %, а сорт Васильковский, селекции Украинской СХА (районирован в 1983 г.) – до 45 % эруковой кислоты и 3 % глюкозинолатов.

Цель селекционных работ – создать новый сорт ярового рапса 00-типа масличного направления использования, превосходящий стандарт по продуктивности на 10–15 %, безэруковый, низоглюкозинолатный, хорошо адаптированный к условиям Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Селекционные работы по рапсу проводились на полевом стационаре Восточно-Сибирского отдела Красноярского НИИСХ – обособленного подразделения Красноярского научного центра СО РАН (до 2019 г. – Восточно-Сибирский отдел СибНИИ кормов).

Климат зоны – резко континентальный со значительными колебаниями температур в течение года и коротким безморозным периодом. Зима продолжительная и суровая, лето короткое и жаркое. Среднесуточная температура июня +16,1 °С, самого теплого месяца – июля +18,2 °С, мак-

симум +37 °С, августа +14,2 °С. Среднесуточная температура самого холодного месяца (января) –23,6 °С, абсолютный минимум –48 °С. Для климата зоны характерен поздний возврат весенних и раннее наступление осенних заморозков. Среднегодовое количество осадков – 400 мм, за вегетационный период (май–сентябрь) – 256 мм. Основная масса осадков выпадает в летний период, на долю зимних осадков приходится 36 % годовой нормы. Мощность снежного покрова небольшая, на открытых повышенных местах снег сдувается, почва обнажается и промерзает на большую глубину. Из-за глубокого промерзания почва медленно и поздно оттаивает. Накопление влаги в пахотном слое в значительной степени зависит от осенних осадков, зимние осадки весной почти не впитываясь в мерзлую землю. Май обычно довольно засушливый, дождей выпадает 27 мм, что составляет 10 % осадков вегетационного периода. Дневные температуры II и III декад мая достаточно высокие +16–18 °С, иногда до +25 °С, что зачастую усугубляет почвенный недостаток влаги. Нередко дует сильный ветер, поднимая пыль и вызывая эрозию почвы.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном горизонте 7,8–8,0 %. Обеспеченность почвы легкорастворимым азотом высокая – 22,5–42,9 мг/кг, подвижным фосфором (по Чирикову) средняя – 5,4–28,3 мг/100 г, обменным калием (по Чирикову) высокая – 26,3–36,1 мг/100 г сухой почвы. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной – pH 6,8–7,1.

Методы создания селекционного материала – межвидовая и межсортная гибридизация, инбридинг, отборы в полевых и лабораторных условиях. Исходный материал изучали в коллекционном питомнике, оценку в селекционных, контрольных питомниках и конкурсном сортоиспытании проводили по общепринятым методикам для капустовых (крестоцветных) культур [14, 15].

Селекционный, контрольный питомник и экологическое сортоиспытание рапса ярового высевали вручную на делянках 0,6–2,4 м² в селекционном питомнике, 4,8 м² – в контрольном питомнике и экологическом сортоиспытании, повторность 3-кратная. После появления всходов рапс в рядках прорывали, оставляя в рядке 14–16 растений. В течение вегетации делянки регулярно пропалывали, обрабатывали инсектицидами против вредителей, все учеты и наблюдения проводили согласно общепринятым методикам. Убирали вручную, после созревания и высыхания снопы обмолачивали и семена очищали в лабораторных условиях на ситах.

Конкурсное и производственное сортоиспытание высевали сеялкой СН-16 с нормой высева 3 млн всхожих семян на 1 га (8–10 кг/га), размер делянки 29,7 м², повторность 4-кратная. В течение вегетации наблюдали за фазами роста и развития рапса, проводили учет зеленой массы и семян, другие наблюдения согласно методике. Уборку семян проводили комбайном Сампо-130. Обработка результатов исследований проводилась методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием ПК с помощью пакета прикладных программ SNEDECOR.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сорт Восточно-Сибирский получен методом индивидуально-семейного отбора из сортообразца К-2268 Суйдинский. Сорт высокорослый, 120–130 см, в благоприятных условиях может

достигать 170 см. Растения среднemosные, куст полусомкнутый, образует 7–8 ветвей 1-го порядка. Отличительной особенностью сорта является наличие антоциановой окраски на стебле и листьях. Позднеспелый, вегетационный период 116–120 дней. Урожай зеленой массы 300–350 ц/га, семян 15–18 ц/га. Масса 1000 семян 3,2–3,6 г, масличность 43–44 %, высокое содержание эруковой кислоты 35–37 %, что и послужило впоследствии причиной снятия его с районирования.

В 80-е гг. прошлого века было налажено плодотворное сотрудничество научных учреждений, занимающихся изучением и селекцией рапса и других крестоцветных культур – ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта (г. Краснодар), Сибирская опытная станция (г. Искиткуль), СибНИИ кормов (г. Новосибирск), Алтайский НИИЗиС (г. Барнаул), Ужурская ОС. Проводили скоординированные исследования по технологии возделывания рапса, апробации крестоцветных (капустовых) культур, экологическое испытание новых сортов.

В 1983 г. был включен в Госреестр селекционных достижений первый отечественный безэруковый сорт ярового рапса Кубанский селекции ВНИИМК им. В.С. Пустовойта, с 1985 г. у нас начали размножение этого сорта. В 1985 г. были переданы на Государственное сортоиспытание созданные методом ускоренной селекции сорта с низким содержанием эруковой кислоты яровой рапс Ужурский, полученный методом гибридизации сортов Кубанский и Nora с озимым рапсом. Однако эти сорта не были районированы из-за наличия в маслосеменах эруковой кислоты.

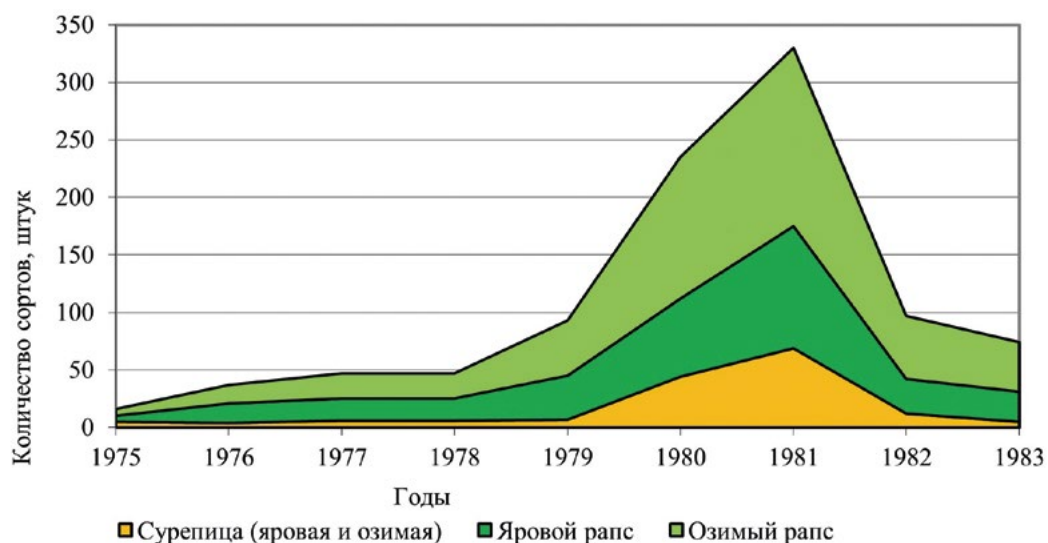


Рис. 1. Динамика сортов рапса и сурепицы, изучавшихся в коллекционном питомнике, 1975–1983 гг.

Dynamics of rapeseed and turnip rape varieties studied in a collection nursery, 1975–1983.

В 80-х гг. прошлого века в Сибири было организовано изучение сортов рапса отечественной и зарубежной селекции в коллекционных питомниках. Коллекционный питомник на Ужурской ОС впервые был заложен в 1975 г. семенами, присланными ВИР (ВНИИР) им. Н.И. Вавилова (Санкт-Петербург), всего было посеяно 14 сортов, в том числе три сорта сурепицы (яровой и озимой) и 11 сортов рапса. После того, как коллекция стала использоваться как источник исходного материала для нужд селекции, количество изучаемых сортов резко возросло, в 1979 г. было посеяно уже 93 сорта, в 1981 г. – 235, в 1981 г. – 330 сортов, в том числе рапса озимого – 155, ярового – 106, сурепицы озимой и яровой – 69 сортов (рис. 1). При изучении коллекции ярового рапса сформулированы принципы подбора исходного материала для селекции, которые помогли в создании новых сортов.

Селекционеры Сибири за 15 лет практически преодолели отставание от своих зарубежных коллег и стали создавать сорта ярового рапса с

улучшенным качеством масла – безруковых, низкоглюкозилатных, с повышенным содержанием олеиновой кислоты. Создание сортов – процесс сложный и длительный, требующий в среднем 10–12 лет. Для сокращения сроков выведения сортов на Ужурской ОС совместно Красноярским ГУ и Институтом биофизики был разработан метод ускоренной селекции рапса с использованием светокультуры. Были определены оптимальные режимы освещения при выращивании рапса, позволяющие получить 2–3 поколения гибридов в осенне-зимний период, тем самым сокращая с 5–7 до 2–2,5 лет начальные этапы селекционного процесса (размножение гибридного материала и их предварительная оценка, выделение элитных растений, отборы по некоторым признакам) и с 10–12 до 6–7 лет сроки создания нового сорта.

С помощью метода ускоренной селекции в условиях светокультуры было возможно направленное создание селекционного материала и сортов ярового рапса с заданными параметрами (рис. 2) [16, 17].

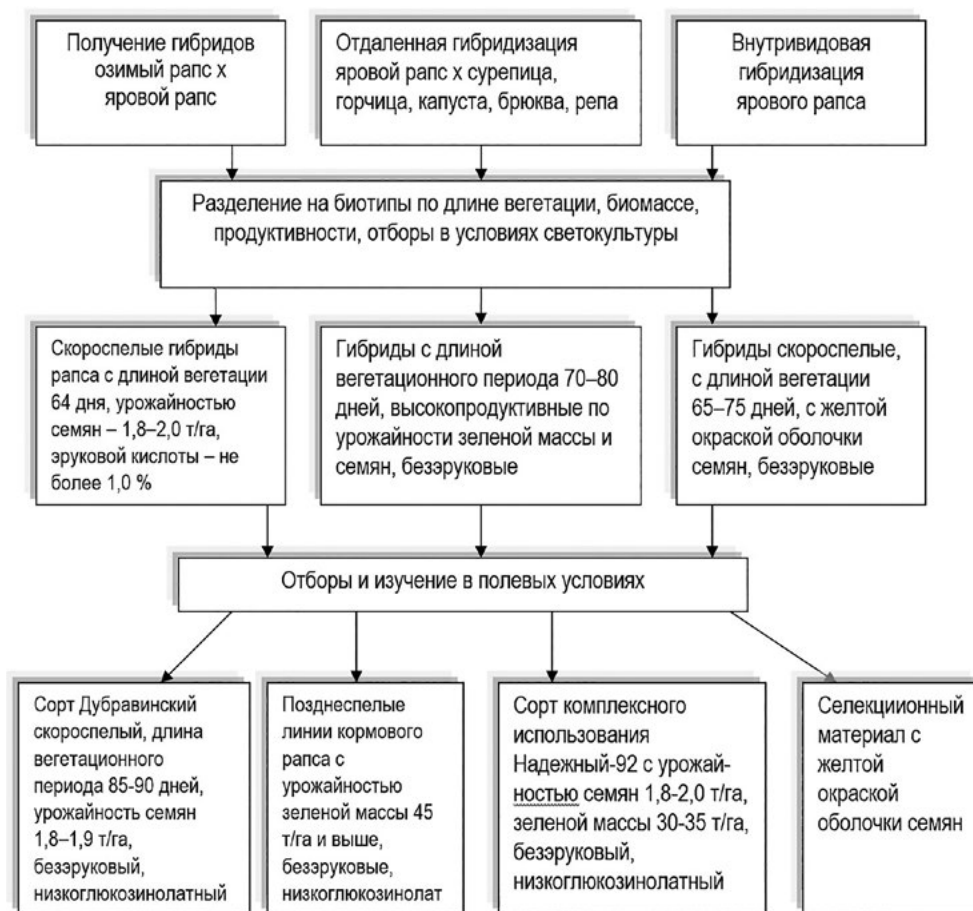


Рис. 2. Схема создания селекционного материала и сортов ярового рапса с помощью интенсивной светокультуры

Scheme for creating breeding material and varieties of spring rape using intensive light culture

В 1993 г. был районирован безэруковый и низкоглюкозинолатный сорт ярового рапса пищевого направления использования Дубравинский скороспелый. Сорт создан методом простой гибридизации сортов Нја 81839 (Финляндия) и Altex (Швеция) с последующим отбором на скороспелость и продуктивность, первое скрещивание было проведено в полевых условиях в 1985 г., а уже в 1989 году новый сорт был передан на Госсортоиспытание. Сорт скороспелый, длина вегетационного периода 86–96 дней, урожайность семян – 19,8 ц/га, в 2012 г. – 27,2 ц/га, масличность 43–45 %. Название сорта произошло от места его размножения.

Метод ускоренной селекции был успешно применен при создании наиболее известного в Красноярском крае и сопредельных областях сорта ярового рапса Надежный 92. Сорт Надежный 92 был получен методом диаллельных скрещиваний сортов Nora, Marv, Нја 82470 и сортообразца Ужурский с последующим отбором на продуктивность. В 1987 г. в фитотроне была получена гибридная комбинация № 1199, в полевых условиях из растений этого гибрида в F3 была сформирована популяция, которая быстро стабилизировалась при изучении и размножении в селекционных питомниках в светокультуре и в поле. После изучения сорта в конкурсном сортоиспытании в 1991–1992 гг. зимой 1992 г. сорт был передан на Государственное сортоиспытание. Создание сорта Надежный 92 – это идеальный пример успешного применения возможностей интенсивной светокультуры для сокращения продолжительности селекционного процесса, от получения гибрида до передачи сорта в Госсортоиспытание прошло всего 5 лет. В 1996 г. сорт был включен в Госреестр по Западной и Восточной Сибири и Дальнему Востоку. Сорт Надежный 92 безэруковый, низкоглюкозинолатный, комплексного направления использования, способен давать высокую урожайность зеленой массы и гарантированную урожайность семян, пригодных для получения пищевого масла. Среднеспелый, вегетационный период – 105–110 дней, выровненный, дружно созревает, почти не полегает. Засухоустойчивость средняя. Хорошо адаптирован к местным условиям. Высота растений 98–110 см. Урожайность зеленой массы – 315–380 ц/га, урожайность семян до 21,9 ц/га, масса 1000 семян – 3,6–4,0 г. В семенах содержится 22,8 % белка, до 42–44 % жира, олеиновой кислоты – 62,8 %.

Также немаловажно, что концу XX в. селекционерами Сибири были созданы сорта ярового

рапса, хорошо адаптированные к местным условиям – СибНИИК 198, Дубравинский скороспелый, АНИИЗиС-1, АНИИЗИС-2, Надежный 92 и др., позволившие получать высококачественные семена не только в условиях лесостепной зоны, но и в подтаежной и таежной зонах.

В 2005 г. Ужурская опытная станция была преобразована в Восточно-Сибирский отдел СибНИИ кормов (г. Новосибирск). В состав отдела вошли две лаборатории: масличных культур и селекции и семеноводства зерновых и кормовых культур. Научный потенциал: семь научных сотрудников, из них два кандидата наук.

Не прекращалась и селекционная работа, хотя без использования возможностей светокультуры сроки создания новых сортов значительно увеличились. В 2017 г. был получен патент на сорт ярового рапса комплексного направления использования (на зеленый корм и семена) Подарок (селекционный номер №125) и включен в Госреестр селекционных достижений сорт масличного направления использования Сибирский.

Сорт создан методом гибридизации сортов Ого и Salut с последующими отборами. Скороспелый, вегетационный период 95 дней. Высота 80–104 см, куст раскидистый, число ветвей 1-го порядка 6–7 шт. Стручки крупные, длинные – 69–75 мм с укороченным (7 мм) носиком и широкие – 5,0–5,5 мм, число семян в стручке 21–25 шт., масса 1000 семян 3,7–4,2 г. Урожайность семян в среднем за четыре года изучения 19,3 ц/га, семена содержат жира 41,7–43,8 %; олеиновой кислоты в составе масел 64,4–66,2 %, линолевой – 19,2–20,8 %, линоленовой – 7,2 %, эруковой – следы (0,1 %).

В 2018 г. в составе СибНИИ коров Восточно-Сибирский отдел вошел в Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий (г. Новосибирск), в начале 2020 г. как отдел Восточно-Сибирский – обособленное подразделение Красноярского НИИ сельского хозяйства. Селекционная работа продолжается – первая гибридная комбинация селекционного номера № 595 была получена в 2006 г., дальнейшее создание и изучение селекционного материала проходило в 2007–2019 гг. в Восточно-Сибирском отделе СибНИИ кормов СФНЦА РАН, в 2020–2023 гг. – в Восточно-Сибирском отделе КрасНИИСХ – ОП ФИЦ КНЦ СО РАН, расположенном в лесостепной зоне Красноярского края. Сортообразец № 95 получен от скрещивания сортообразца № 198, являющегося сложным гибридом озимого рапбрюка (рапс × брюква) и сортов рапса Librador,

Jet hef, K-4554 Gulliver, Tilde, Nora, Эмма, Кендл, Торкель, Дубравинский скороспелый, Нја 82470, Ужурский, Магу и сорта Ритм селекции ВНИИ рапса (г. Липецк).

К 2016 г., после проведенного инбридинга и многократных отборов, номер № 595 был выровнен, не расщеплялся, урожайность семян была высокой – 295,8 г/м². Вегетационный период у сортообразца № 595 был на два дня длиннее, чем у стандарта Надежного 92 (106 дней). В среднем за 5 лет изучения урожайность зеленой массы у № 595 была 50,4 т/га (на 16 % выше стандарта), сбор сухого вещества – 9,36 т/га (на 12 % выше стандарта). При уборке на корм у сортообразца № 595 было много хорошо сформированных стручков, поэтому суммарное содержание листьев и соцветий высокое – 61,6 % (на 4,1 % выше Надежного 92), стеблей – 38,4 %. Кормовая ценность зеленой массы № 595 высокая, в 1 кг зеленой массы кормовых единиц – 0,148 г, переваримого протеина – 18,18 г, кальция (Са) – 2,61 г, фосфора (P₂O₅) – 0,56 г, переваримого протеина в 1 к. ед. – 124,6 г, каротина – 154,0 мг/кг абсолютно сухого вещества, значительной разницы в кормовой ценности между сортообразцом № 595 и стандартом

Надежный 92 нет. Урожайность семян № 595 за пять лет исследований варьировала в пределах 1,37–2,58 т/га, в среднем 2,01 т/га (на 17,5 % выше стандарта Надежный 92–1,71 т/га). Новый сорт Ладный рекомендуется для возделывания в Западной и Восточной Сибири. В настоящее время на базе СибНИИ кормов СФНЦА РАН ведется разработка элементов сортовой технологии нового для Сибири сорта Ладный.

ВЫВОДЫ

1. За более чем 43-летний период работ по селекции рапса в Сибири создано и районировано более 16 сортов этой культуры, в том числе для Западной Сибири 14 и 9 для Восточной Сибири.

2. Доля сортов инорайонной селекции для Сибири составляет 40 и 22 сорта.

3. Сибирскими селекционерами созданы уникальные сорта ярового рапса комплексного направления использования. Широко известны в Сибирском регионе сорта рапса Надежный 92, СибНИИк 21, Сибирский и др., отличающиеся повышенной адаптивностью к условиям выращивания, урожайностью зеленой массы и маслосемян.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брикман В.И., Медведев В.Д. Рапс в Восточной Сибири. – Красноярск, 1975. – 10 с.
2. Возделывание ярового рапса в Красноярском крае: научно-практическое пособие / Г.М. Осипова, С.В. Брылев, О.А. Познахарева [и др.]; ФГБНУ СибНИИ кормов, МСХ Красноярского края, ЗАО Фирма «Август»; под ред. акад. РАН Н.И. Кашеварова. – Новосибирск, 2016. – 62 с.
3. Познахарева О.А. История выращивания рапса в Сибири // Томское земледелие: поиск ответов и современные вызовы: сб. докладов и мат-в III Агрономического собрания Томской области. – Томск, 2018. – С. 47–63.
4. Семенов В.И. Использование крестоцветных культур для получения масла и на корм скоту // Повышение продуктивности кормового поля лесостепи Причудымья Красноярского края: сб. науч. тр. СО РАСХН, Ужурская ОС. – Новосибирск, 1993. – С. 68–71.
5. Медведев В.Д. Химический состав и кормовые достоинства ярового рапса // Интенсивное кормопроизводство в лесостепи Причудымья Красноярского края: сб. науч. тр. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1980. – С. 11–15.
6. Возделывание ярового рапса в Сибири: метод. рекоменд. / И.П. Гейдебрехт, А.Г. Рожанский, В.И. Брикман, В.Д. Медведев. – Новосибирск, 1980. – 19 с.
7. Медведев В.Д. Биологические особенности ярового рапса в условиях Восточной Сибири // Интенсивное кормопроизводство в лесостепи Причудымья Красноярского края: сб. науч. тр. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1980. – С. 15–23.
8. Брикман В.И., Евтеев А.М., Юргин С.А. Рапс, сурепица и редька масличная в Восточной Сибири. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 60 с.
9. Создание новых сортов ярового рапса, разработка технологий их возделывания и использования на корм в Сибири / Н.И. Кашеваров, В.П. Данилов, Г.М. Осипова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 6. – С. 36–41.
10. Козлов А.А., Семенов В.И. Технология возделывания новых районированных сортов крестоцветных культур на зеленый корм и маслосемена в Красноярском крае: рекомендации. СО РАСХН, Ужурская ОС. – Новосибирск, 1993. – 12 с.
11. Познахарева О.А. Создание селекционного материала ярового рапса 000-типа на Ужурской опытной станции // Научное обеспечение АПК Сибири, Монголии, Беларуси и Башкортастана: мат-лы 5-й Междунар. науч.-производств. конф. (Абакан, 10–12 июля 2002 г.) – Новосибирск, 2002. – С. 237–239.

12. Познахарева О.А. Рапс. Частная селекция и генетика полевых культур в Сибири: учеб. пособие. Под ред. Н.А. Сурина. – Красноярск, Изд-во КГАУ, 2006. – С. 364–393.
13. Познахарева О.А. Селекция ярового рапса в условиях лесостепи Причулымья: дис. ... канд. с.-х. наук. – Новосибирск, 2006. – 140 с.
14. Куделич В.С., Шпота В.И., Бек Т.В. Классификатор вида *Brassica narus* L. (рапс). – Л., 1983. – 20 с.
1. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Госкомиссия по сортоиспытанию с.-х. культур при МСХ СССР. – М.: Колос, 1985. – Вып. 1. – 267 с.
2. Познахарева О.А. Селекция рапса кормового направления на Ужурской опытной станции // Кормопроизводство в полевых и луговых агробиоценозах Сибири. Селекция и семеноводство: сб. науч. тр. – Новосибирск, СО РАСХН, СибНИИ кормов, 2007. – С. 289–294.
3. Познахарева О.А. Использование возможностей интенсивной светокультуры в селекции // Кормопроизводство в полевых и луговых агробиоценозах Сибири. Селекция и семеноводство: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2007. – С. 314–321.

REFERENCES

1. Brikman V.I., Medvedev V.D., *Raps v Vostochnoj Sibiri* (Rapeseed in Eastern Siberia), Krasnoyarsk, 1975, 10 p.
2. Osipova G.M., Bry`lev S.V., Poznaxareva O.A. [i dr.], *Vozdely`vanie yarovogo rapsa v Krasnoyarskom krae* (Cultivation of spring rape in Krasnoyarsk Krai), Novosibirsk, 2016, 62 p.
3. Poznaxareva O.A., *Tomskoe zemledelie: poisk otvetov i sovremennye vy`zovy`* (Tomsk agriculture: search for answers and modern challenges), Collection of scientific papers, Tomsk, 2018, pp. 47–63. (In Russ.)
4. Semenov V.I., *Povy`shenie produktivnosti kormovogo polya lesostepi Prichuly`m`ya Krasnoyarskogo kraya* (Increasing the productivity of the forage field of the forest-steppe of Prichulymye in Krasnoyarsk Krai), Collection of scientific papers, Novosibirsk, 1993, pp. 68–71. (In Russ.)
5. Medvedev V.D., *Intensivnoe kormoproizvodstvo v lesostepi Prichuly`m`ya Krasnoyarskogo kraya* (Intensive forage production in the forest-steppe of Prichulymye, Krasnoyarsk Krai), Collection of scientific papers, Novosibirsk, SO VASXNIL, 1980, pp. 11–15. (In Russ.)
6. Gejdebrext IP., Rozhanskij A.G., Brikman V.I., Medvedev V.D., *Vozdely`vanie yarovogo rapsa v Sibiri* (Cultivation of spring rape in Siberia), Novosibirsk, 1980, 19 p.
7. Medvedev V.D., *Intensivnoe kormoproizvodstvo v lesostepi Prichuly`m`ya Krasnoyarskogo kraya* (Intensive forage production in the forest-steppe of Prichulymye, Krasnoyarsk Krai), Collection of scientific papers, Novosibirsk, SO VASXNIL, 1980, pp. 15–23. (In Russ.)
8. Brikman V.I., Evteev A.M., Yurgin S.A., *Raps, surepicza i red`ka maslich-naya v Vostochnoj Sibiri* (Rapeseed, rapeseed and oilseed radish in Eastern Siberia), Moscow: Rosagropromizdat, 1989, 60 p.
9. Kashevarov N.I., Danilov V.P., Osipova G.M. [i dr.], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2009, No. 6, pp. 36–41. (In Russ.)
10. Kozlov A.A., Semenov V.I., *Texnologiya vozdely`vaniya novy`x rajoniro-vanny`x sortov krestocvetny`x kul`tur na zeleny`j korm i maslosemena v Krasnoyarskom krae* (Technology of cultivation of new zoned varieties of cruciferous crops for green fodder and oilseeds in Krasnoyarsk Krai), Novosibirsk, 1993, 12 p.
11. Poznaxareva O.A., *Nauchnoe obespechenie APK Sibiri, Mongolii, Belarusi i Bashkortostana* (Scientific support for the agro-industrial complex of Siberia, Mongolia, Belarus and Bashkortostan), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2002, pp. 237–239. (In Russ.)
12. Poznaxareva O.A., *Raps. Chastnaya selekciya i genetika polevy`x kul`tur v Sibiri* (Rape. Private selection and genetics of field crops in Siberia), Krasnoyarsk, Izd-vo KGAU, 2006, pp. 364–393.
13. Poznaxareva O.A., *Selekciya yarovogo rapsa v usloviyax lesostepi Prichuly`m`ya* (Selection of spring rape in the forest-steppe conditions of Prichulymye), Candidate of Science Dissertation Novosibirsk, 2006, 140 p.
14. Kudelich V.S., Shpota V.I., Bek T.V., *Klassifikator vida Brassica narus* L. (*raps*) (Classifier of the species *Brassica narus* L. (rapeseed)), Leningrad, 1983, 20 p.
15. *Metodika gosudarstvennogo sortoispy`taniya sel`skozhazyajstvenny`x kul`tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Goskomissiya po sortoispy`taniyu s.-x. kul`tur pri MSX SSSR, Moscow: Kolos, 1985, Vyp.1, 267 p.
16. Poznaxareva O.A., *Kormoproizvodstvo v polevy`x i lugovy`x agrobiocenozax Sibiri. Selekciya i semenovodstvo* (Forage production in field and meadow agrobiocenoses of Siberia. Selection and seed production), Collection of scientific papers, Novosibirsk, SO RASXN, SibNII kormov, 2007, pp. 289–294. (In Russ.)
17. Poznaxareva O.A., *Kormoproizvodstvo v polevy`x i lugovy`x agrobiocenozax Sibiri. Selekciya i semenovodstvo* (Forage production in field and meadow agrobiocenoses of Siberia. Selection and seed production), Collection of scientific papers Novosibirsk, SO RASXN, SibNII kormov, 2007, pp. 314–321. (In Russ.)

Информация об авторах:

О.А. Познахарева, кандидат сельскохозяйственных наук

Н.В. Данилов

В.П. Данилов, кандидат сельскохозяйственных наук

Т.А. Садохина, кандидат сельскохозяйственных наук

В.А. Ланин, кандидат экономических наук

Contribution of the authors:

O.A. Poznakhareva, candidate of agricultural sciences

N.V. Danilov

V.P. Danilov, candidate of agricultural sciences

T.A. Sadokhina, candidate of agricultural sciences

V.A. Lanin, Candidate of Economic Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ *IN VITRO* НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОЗДАВАЕМЫХ ФОРМ ЛЬНА

Н.В. Пролётова, В.С. Зотова

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Тверь, Россия

E-mail: science.trk@fncl.ru

Для цитирования: Пролётова Н.В., Зотова В.С. Влияние селективных условий *in vitro* на изменчивость создаваемых форм льна // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 95–107. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-95-107.

Ключевые слова: лен-долгунец, питательная среда, культуральный фильтрат, штамм, патоген, устойчивость, селекция, регенерант, инфекционно-провокационный питомник, селекционный питомник.

Реферат. Лен-долгунец является стратегической культурой. Льнопродукция находит широкое применение в различных отраслях экономики, в том числе при производстве тканей, красок, медицинской ваты, пороха и др. Проявление заболеваний на посевах льна влечет за собой снижение урожайности культуры. Ухудшается качество льноволокна, полученного из пораженной льнотресты, а зараженные семена снижают всхожесть и заложенный биологический потенциал. Наиболее вредоносными болезнями льна-долгуна в настоящее время являются фузариозное увядание, ржавчина, антракноз, пасмо, бактериоз. Целью исследований, проведенных в 2021–2023 гг. на базе лаборатории селекционных и биотехнологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Тверская область), являлось создание биотехнологическими методами новых генотипов льна, устойчивых к антракнозу (*Colletotrichum lini*). В результате исследований из генотипов льна, восприимчивых к антракнозу, *in vitro* созданы новые, более устойчивые к патогену формы. Выявлено, что на селективном фоне на основе незрелых зародышей формировались растения с различной степенью устойчивости. Были отмечены как устойчивые, так и средневосприимчивые – восприимчивые формы, сформированные на основе одного и того же генотипа. Отмечено, что большинство регенерантов, полученных при селекции *in vitro* от восприимчивых к антракнозу генотипов, во вновь созданных селективных условиях характеризовались устойчивостью и средней восприимчивостью к культуральному фильтрату. Высказано предположение, что формирование на селективном фоне в культуре незрелых зародышей льна-долгуна растений-регенерантов, отличных от исходных форм, вызвано возникновением спонтанного мутационного процесса, который, по-видимому, не всегда зависит от создания селективных условий. В ходе исследований выявлены различия используемых штаммов возбудителя антракноза по морфологическим признакам. Установлено, что интенсивность спороношения и роста используемых штаммов не зависела от их вирулентности.

INFLUENCE OF SELECTIVE CONDITIONS *IN VITRO* ON VARIABILITY OF CREATED FLAX FORMS

N.V. Prolyotova, V.S. Zotova

Federal Scientific Center of Bast Crops, Russian Federation, Tver

E-mail: science.trk@fncl.ru

Keywords: fiber flax, nutrient medium, cultural filtrate, strain, pathogen gene, resistance, selection, regenerant, infectious-provocative nursery, breeding nursery

Abstract: Fiber flax is a strategic crop. Flax products are widely used in various sectors of the economy, including the production of fabrics, paints, medical cotton wool, gunpowder, etc. The occurrence of diseases on flax crops entails a decrease in crop yield. The quality of flax fiber obtained from the affected flax plant deteriorates, and infected seeds reduce germination and biological potential. The most harmful diseases of fiber flax at present are fusarium wilt, rust, anthracnose, pasmo, and bacteriosis. The goal of the research conducted in 2021–2023 on the basis of the laboratory of breeding and biotechnology of the Federal State Budgetary Institution “Federal Scientific Center for Bast Crops” (Tver Region) was to create new flax genotypes resistant to anthracnose (*Colletotrichum lini*) using biotechnological methods. As a result of research, new forms, more resistant to the pathogen, were created *in vitro* from flax genotypes susceptible to anthracnose. It was revealed that on a selective background, plants with varying degrees of resistance were formed on the basis of immature

embryos. Both resistant and moderately susceptible forms were noted - susceptible forms formed on the basis of the same genotype. It was noted that the majority of regenerants obtained during in vitro selection from genotypes susceptible to anthracnose, under the newly created selective conditions, were characterized by resistance and average susceptibility to the cultural filtrate. It has been suggested that the formation of regenerated plants, different from the original forms, against a selective background in the culture of immature fiber flax embryos, is caused by the occurrence of a spontaneous mutation process, which, apparently, does not always depend on the creation of selective conditions. The studies revealed differences in the used strains of the anthracnose pathogen according to morphological characteristics. It was established that the intensity of sporulation and growth of the strains used did not depend on their virulence.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ ФГБНУ ФНЦ ЛК по теме № FGSS 2024-0005.

Лен-долгунец является одной из культур, продукция которых широко востребована в производстве. Изделия из льняного волокна всегда имели большую ценность за свою прочность и экологичность. В настоящее время в волокне нуждаются легкая, тяжелая и оборонная промышленности, а в масле – пищевая, фармацевтическая, лакокрасочная как в России, так и за рубежом [1–7]. Трудно переоценить лен как источник линоленовой кислоты. В семенах льна Омега-3, или α -линоленовая кислота, в трехкратном размере превышает содержание ее в рыбе [8–10]. В постоянно изменяющихся условиях окружающей среды роль сорта приобретает решающее значение. Лен-долгунец представлен в Государственном реестре селекционных достижений 72 сортами [11]. За последние восемь лет в Российской Федерации создано и внедрено в производство 13 новых высокопродуктивных сортов льна-долгунца. Доля сортов льна-долгунца отечественной селекции в Госреестре селекционных достижений РФ в 2023 г. достигла 82 %. Однако не все возделываемые сорта полностью отвечают ежегодно возрастающим требованиям сельхозтоваропроизводителей [2, 3, 12]. Многие сорта, несмотря на высокие показатели урожайности, восприимчивы к наиболее опасным грибным заболеваниям, таким как фузариозное увядание, ржавчина, антракноз, пасмо, полиспороз. При проявлении этих патогенов в посевах льна урожайность льнопродукции (льноволокно, семена) резко снижается. При этом снижается качество волокна – основное условие при выборе сорта сельхозтоваропроизводителями для возделывания [1, 2, 13, 14]. Селекционное создание новых, устойчивых к наиболее опас-

ным болезням сортов льна-долгунца – процесс многолетний и достаточно трудоемкий. Использование биотехнологических приемов, направленных на получение новых, устойчивых к патогенам генотипов льна, позволяет сократить сроки селекционного процесса на устойчивость и создавать новые линии за 1–2 года [15–17]. В связи с этим целью исследований являлось создание биотехнологическими методами новых генотипов льна, устойчивых к антракнозу (*Colletotrichum lini*).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2021–2023 гг. на базе лаборатории селекционных и биотехнологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Тверская область).

Создание *in vitro* новых генотипов льна, устойчивых к культуральному фильтрату возбудителя антракноза (*Colletotrichum lini*), проводили с использованием методик, разработанных Н.В. Пролётовой, Л.П. Кудрявцевой, Е.Г. Виноградовой [18].

Исходным материалом при создании *in vitro* новых форм льна-долгунца, устойчивых к антракнозу, служили незрелые зародыши сортов и селекционных линий Л 957-8-7, Л 1506-8-6, Л 2053-5-11, Л 2053-6-10, Эр 130-3 и штаммы возбудителя антракноза: сильновирulentные – 793 и 784, средневирулентный – 780, слабовирулентный – 788.

Схема проведения исследований:

- выбор линий и сортов льна, а также штаммов возбудителя антракноза для проведения исследований;

- выращивание штаммов возбудителя антракноза на питательной среде в течение 30–50 сут и фильтрование жидкости, образующейся в результате жизнедеятельности патогена;

– посев семян в вегетационные сосуды Митчерлиха и уход за растениями льна – донорами незрелых зародышей;

– изолирование из коробочек льна незрелых зародышей на 9–11 сут после опыления, стерилизация и культивирование их на селективной среде, которая состояла из компонентов питательной среды MS (табл. 1) и культуральных фильтратов штаммов, отобранных в равных количествах для достижения концентрации в среде 40 мл/л;

– формирование в селективных условиях морфогенного каллуса и перенос морфогенных участков на свежие селективные среды, состоящие из компонентов питательной среды MS и культуральных фильтратов штаммов, отобранных в равных количествах для достижения концентрации в среде 44 мл/л (рис. 1);

– получение побегов и растений–регенерантов льна (рис. 2);

– культивирование семян льна и получение гипокотилей на их основе;

– культивирование гипокотильных сегментов (отрезков гипокотилей, размером 5–8 мм) на селективной среде, состоящей из компонентов питательной среды MS и культуральных фильтратов штаммов, отобранных в равных количествах для достижения концентрации в среде 48 мл/л;

– получение морфогенного каллуса и проведение оценки растений–регенерантов по устойчивости к культуральному фильтрату в условиях *in vitro* (рис. 3);

– оценка растений–регенерантов по устойчивости к антракнозу на инфекционно-провокационном фоне в полевых условиях (рис. 4);

– оценка растений–регенерантов по основным хозяйственно ценным признакам в селекционном питомнике второго этапа в полевых условиях (рис. 5).

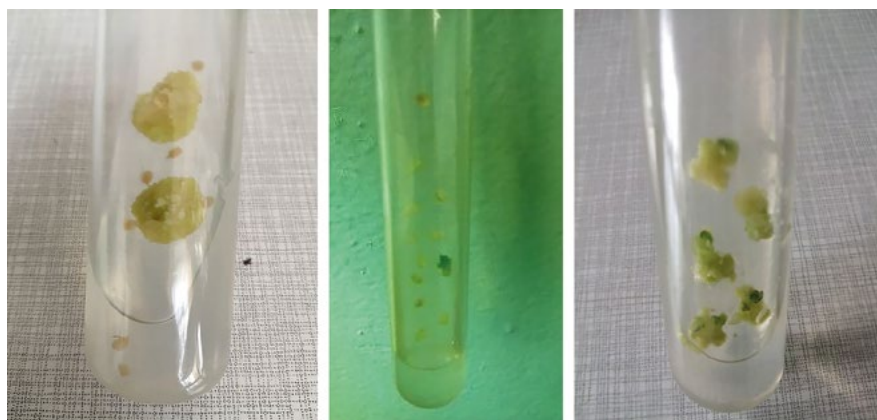


Рис. 1. Культивирование незрелых зародышей и формирование в селективных условиях морфогенного каллуса
Cultivation of immature embryos and formation of morphogenic callus under selective conditions



Рис. 2. Формирование побегов и растений–регенерантов льна
Formation of shoots and regenerated plants of flax

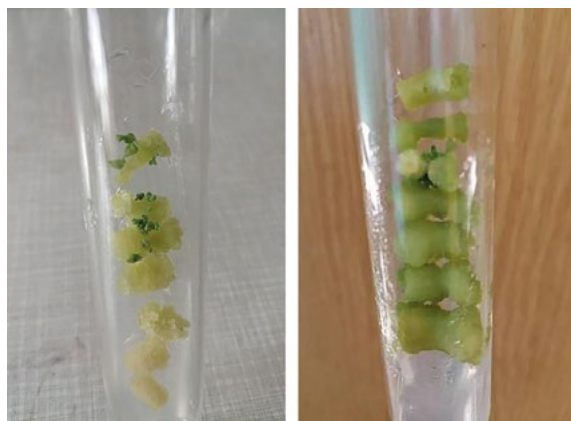


Рис. 3. Формирование морфогенного каллуса на основе гипокотильных сегментов
Formation of morphogenic callus based on hypocotyl segments



Рис. 4. Оценка растений-регенерантов по устойчивости к антракнозу на инфекционно-провокационном фоне в полевых условиях
Evaluation of regenerated plants for resistance to anthracnose against an infectious provocative background in field conditions

Evaluation of regenerated plants for resistance to anthracnose against an infectious provocative background in field conditions

Таблица 1

Состав питательных сред, используемых в эксперименте
Composition of the nutrient media used in the experiment

Вещество	Кол-во вещества, мг/л	
	Среда MS для клеток и тканей льна	Среда MS для грибов
1	2	3
NH_4NO_3	1650	1650
KNO_3	1900	1900
KH_2PO_4	170	170
$\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	370	370
$\text{MnSO}_4 \times 4 \text{H}_2\text{O}$	33,6	33,6
H_3BO_3	62	62
$\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	15,0	15,0
KJ	0,83	0,83
$\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	0,025	0,025
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$	0,5	0,5

1	2	3
$\text{CoCl}_2 \times 6 \text{ H}_2\text{O}$	0,025	0,025
$\text{FeSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$	27,8	27,8
$\text{Na}_2\text{EDTA} \times \text{H}_2\text{O}$	37,3	37,3
Инозитол	100	-
Никотиновая кислота	1	-
Рибофлавин	0,015	-
Пиридоксин HCl	0,5	-
Тиамин HCl	0,2	-
6-бензиладенин	1	-
α -нафтилуксусная кислота	0,05	-
Сахароза	30000	30000
Агар	7000	
pH	5,6–5,8	5,6–5,8

При создании инфекционно-провокационного питомника в полевых условиях для оценки растений-регенерантов по устойчивости к возбудителю антракноза использовали живую культуру патогена, выращенную на зернах овса. Искусственную популяцию патогена составляли из 45–50 % сильновирulentных штаммов и 50–55 % средневирulentных штаммов.

Культуру штаммов, согласно методике, вносили в почву за две недели до посева семян льна, при этом предварительно выполнив весь комплекс мероприятий по подготовке почвы к посеву (вспашка, боронование, внесение минеральных удобрений, культивация) [19].

Для получения гипокотилей семена исследуемых форм льна помещали в пробирки на фильтровальную бумагу, смоченную 1%-м раствором сахарозы, и выращивали до появления семядольных листочков. В зависимости от генотипа этот период составлял 8–10 сут. Гипокотили разрезали на сегменты размером 5–8 мм и культивировали в селективных условиях в течение 14 сут. По количеству сформированного на основе гипокотильных сегментов морфогенного каллуса судили об устойчивости льна, согласно следующей шкале: сформировалось морфогенного каллуса 70 % и более – устойчивые; 51–69 % – средневосприимчивые; 25–50 % – восприимчивые; менее 25 % – сильно восприимчивые. Новые генотипы

выращивали в условиях вегетационного домика в деревянных ящиках с целью размножения и на следующий год оценивали их в полевом инфекционно-провокационном питомнике по устойчивости к антракнозу и в селекционном питомнике второго этапа селекции – по комплексу хозяйственно ценных признаков.

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли с использованием расчета показателей вариации результатов эксперимента: среднее значение, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации (вариабельность).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Создание новых форм льна осуществлялось в лабораторных условиях *in vitro*. В качестве селективного агента для селекции *in vitro* использовали культуральный фильтрат штаммов возбудителя антракноза, который готовили путем фильтрования жидкости, образующейся в результате жизнедеятельности грибов штаммов 780, 794, 788, 793. Кусочки мицелия размером 1 см² помещали на поверхность жидкой питательной среды MS, которая для выращивания грибов была модифицирована и не содержала витамины и регуляторы роста. В течение роста гриба интенсивность спороношения в зависимости от штамма составляла 14,4–45,6 тыс. спор в 1 мл (рис. 5).

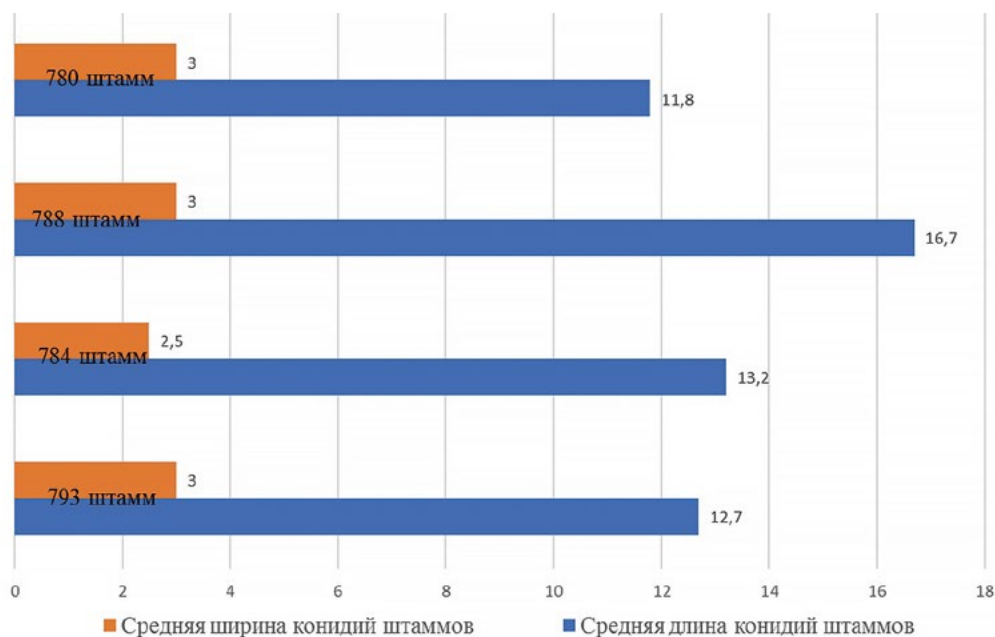


Рис. 5. Средняя длина и ширина конидий используемых штаммов гриба – возбудителя антракноза льна, нм
Average length and width of conidia of the used strains of the fungus – the causative agent of flax anthracnose, nm

В результате исследований выявлено, что если в процессе роста средняя ширина конидий у штаммов незначительно различалась и составляла 2,5–3,0 нм, то по длине конидий у штаммов различие было существенным. Наибольшую среднюю длину имели конидии слабовирулентного 788 штамма (16,7 нм), к тому же они были изогнутыми, в отличие от конидий штаммов 780, 793, 794. Наименьшую среднюю длину имели конидии средневирulentного 780 штамма (11,8 нм). Форма конидий была прямой, как и у штаммов 793 и 794. По темпам роста штаммы также различались между собой. Штамм 788 оказался быстрорастущим с наименьшей интенсивностью спороношения (14,4 тыс. спор в 1 мл). Штаммы 793, 784 и 780 были умеренно растущими с высокой интенсивностью спороношения (34,2; 45,6; 32,8 тыс. спор в 1 мл соответственно). Установлено, что интенсивность спороношения и роста используемых штаммов не зависела от их вирулентности.

Культивирование незрелых зародышей на питательной среде MS с культуральным фильтратом смеси штаммов возбудителя антракноза в концентрации 40 мл/л, первичного и пересадочного морфогенного каллус – на питательной среде MS с культуральным фильтратом смеси штаммов возбудителя антракноза в концентрации 44 мл/л позволило провести селекцию *in vitro* и получить растения-регенеранты льна-долгунца, устойчи-

вые к культуральному фильтрату используемых штаммов возбудителя антракноза.

Согласно схеме исследований регенеранты в последующем оценивали по устойчивости к культуральному фильтрату штаммов возбудителя антракноза в условиях *in vitro* и по устойчивости к антракнозу в инфекционно-провокационном питомнике.

При оценке регенерантов на устойчивость к антракнозу в условиях *in vitro* вначале получали морфогенный каллус на основе гипокотильных сегментов из семян растений-регенерантов. По количеству сформированных морфогенных каллусов судили об устойчивости регенерантной линии к культуральному фильтрату во втором поколении. В результате исследований выявлено, что на селективном фоне на основе гипокотильных сегментов формировались как морфогенные каллусы, так и каллусы, не содержащие морфогенные клетки. На основе одного и того же регенеранта льна во вновь созданных селективных условиях сформировались как устойчивые, так и средневосприимчивые – восприимчивые к культуральному фильтрату каллусные культуры. Так, например, у регенеранта НЛ-40-1, полученного на основе линии Л 2053-5-11, устойчивого к культуральному фильтрату возбудителя антракноза, во вновь созданных селективных условиях сформировалось 48 % морфогенных каллусов, характеристика регенеранта по шкале соответствовала крите-

рию «восприимчивый» (табл. 2). У регенеранта НЭ-12, полученного на основе линии Эр 130-3, сформировалось 22 % морфогенных каллусов и характеристика регенеранта по шкале соответствовала критерию «сильновосприимчивый». В то время как у регенеранта НЛ-40-2, полученного на основе линии Л 2053-6-10, в этих условиях сформировался 71 % морфогенных каллусов, характеристика регенеранта по шкале соответствовала критерию «устойчивый».

Отмечено, что большинство регенерантов, полученных при селекции *in vitro* из восприим-

чивых к антракнозу генотипов, во вновь созданных селективных условиях характеризовались устойчивостью и средней восприимчивостью к культуральному фильтрату. Формирование на селективном фоне в культуре незрелых зародышей льна-долгунца растений-регенерантов, отличных от исходных форм, вызвано возникновением спонтанного мутационного процесса, который, по-видимому, не всегда зависит от создания селективных условий.

Таблица 2

Характеристика регенерантов, полученных в результате селекции *in vitro*, по устойчивости к культуральному фильтрату возбудителя антракноза в условиях *in vitro*
 Characteristics of regenerants obtained as a result of *in vitro* selection for resistance to the culture filtrate of the anthracnose pathogen under *in vitro* conditions

Регенерант	Кол-во сформированного морфогенного каллуса, % $\pm$ Sp	Характеристика по устойчивости к антракнозу
НЛ-40-1	48 $\pm$ 1,1	Восприимчивый
НЛ-40-2	71 $\pm$ 1,0	Устойчивый
НЭ-12	22 $\pm$ 1,3	Сильновосприимчивый
НЭ-38	70 $\pm$ 0,9	Устойчивый
НЭ-36	71 $\pm$ 0,8	Устойчивый
НЭ-17	52 $\pm$ 1,1	Средневосприимчивый
НО-85	39 $\pm$ 1,2	Восприимчивый

С целью изучения изменчивости хозяйственно ценных признаков при селекции *in vitro* на устойчивость к антракнозу проведена оценка регенерантов, полученных от селекционных линий Л 957-8-7, Л 1506-8-6, Л 2053-5-11, Л 2053-6-10, Эр 130-3 (всего 21 регенерант) на искусственном инфекционно-провокационном фоне по устойчивости к антракнозу. Параллельно в питомнике 2-го этапа селекции проводилась их оценка по основным хозяйственно ценным признакам, таким как высота растений, длина стебля, число семян и коробочек на растении, содержание волокна.

Погодные условия 2021 г. в период вегетации льна были оптимальными и способствовали как хорошему развитию растений льна, так и проявлению антракноза. В результате анализа растений на инфекционном фоне выявлено, что новые формы, полученные при селекции *in vitro* из восприимчивых к антракнозу линий, по-разному проявляли чувствительность к патогену на искусственном инфекционно-провокационном

фоне. Проведенные исследования показали, что некоторые новые формы проявляли такую же восприимчивость, какой характеризовались исходные линии. Однако большинство полученных генотипов повысили устойчивость к болезни относительно исходной формы и характеризовались как средневосприимчивые и устойчивые с уровнем устойчивости более 50 % (табл. 3).

В первый год исследований наибольшую устойчивость к антракнозу (75 %) проявили регенеранты НЭ-36, НЭ-17-5, НЛ-103-1, полученные от линий Эр 130.3 и Л 957-8-7. Семь регенерантов (НЛ-40-2, НЭ-15, НЭ-17-2, НЭ-38, НЭ-17, НЭ-38-8) характеризовались как средневосприимчивые к антракнозу с уровнем устойчивости от 57 до 66,7 %. Для форм льна, проявивших в полевых условиях устойчивость к патогену более 50 %, характеристика «средневосприимчивый» считается допустимой при использовании формы в селекционном процессе как источника устойчивости.

Таблица 3

Характеристика регенерантов, полученных в результате селекции *in vitro*, по устойчивости к антракнозу
 Characteristics of regenerants obtained as a result of *in vitro* selection for resistance to anthracnose

Линия	Устойчивость, % $\pm$ Sp		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.
НЛ-40-2	60 $\pm$ 1,7	63 $\pm$ 1,1	58 $\pm$ 2,1
НЭ-15	57 $\pm$ 2,2	39 $\pm$ 3,1	48 $\pm$ 2,7
НЭ-17-5	75 $\pm$ 2,1	24 $\pm$ 2,4	55 $\pm$ 2,4
НЭ-17-2	57 $\pm$ 3,2	34 $\pm$ 2,2	37 $\pm$ 2,8
НО-85	44 $\pm$ 4,4	51 $\pm$ 2,7	48 $\pm$ 3,1
НЭ-38	67 $\pm$ 2,1	63 $\pm$ 1,9	61 $\pm$ 2,4
НО-65	45 $\pm$ 2,8	55 $\pm$ 1,3	55 $\pm$ 2,1
НЭ-36	75 $\pm$ 1,4	48 $\pm$ 3,4	60 $\pm$ 2,1
НЭ-8	27 $\pm$ 1,3	29 $\pm$ 2,6	16 $\pm$ 1,9
НЭ-17	57 $\pm$ 2,2	57 $\pm$ 1,2	48 $\pm$ 1,9
НЭ-38-8	63 $\pm$ 4,1	60 $\pm$ 2,7	67 $\pm$ 3,1
НЛ-103-1	75 $\pm$ 2,4	63 $\pm$ 1,9	57 $\pm$ 1,7
НЭ-15-2	12 $\pm$ 2,1	19 $\pm$ 1,2	15 $\pm$ 1,6
НЭ-12	161,1	10 $\pm$ 2,1	16 $\pm$ 1,9
Леона, ст.	75 $\pm$ 1,7	69 $\pm$ 1,7	74 $\pm$ 1,7
Пенджаб, ст.	28 $\pm$ 1,7	19 $\pm$ 1,7	32 $\pm$ 1,7

Следующий год исследований характеризовался оптимальными погодными условиями для проявления антракноза: температурой воздуха 20–24 °С и большим количеством выпавших осадков в период всходов льна и до фазы «елочка». Поэтому в инфекционно-провокационном питомнике болезнь проявлялась в сильной степени. Даже у высокоустойчивого сорта-стандарта Леона показатель устойчивости снизился с 75 до 69,2 %. У большинства регенерантов в условиях 2022 г. устойчивость к патогену также снизилась, у некоторых – значительно, на 20 % и более (НЭ-17-5, НЭ-17-2, НЭ-36). У регенерантов НЛ-40-2, НО-85, НО-65, НЭ-15-2, НЛ-16, НЛ-8 устойчивость несколько повысилась – на 2–9 %, хотя по шкале устойчивости они по-прежнему характеризовались как восприимчивые.

Условия вегетации в 2023 г. были благоприятны для роста и развития растений льна, но не для развития антракноза. Дополнительный полив инфекционно-провокационного питомника способствовал снижению влияния

засушливых условий и, соответственно, проявлению болезни. Показатели устойчивости к антракнозу у полученных растений-регенерантов были на уровне 2021 г., однако 75%-й устойчивостью не характеризовался ни один регенерант. Устойчивость на уровне 57–62,5 % проявили в сложившихся условиях генотипы НЭ-36, НЛ-103-1, НЭ-38, НЛ-40-2.

Эти и некоторые другие регенеранты в 2023 г. оценивались в искусственных инфекционно-провокационных питомниках по устойчивости к нескольким болезням: фузариозному увяданию, ржавчине и пасмо. В результате исследований выявлено, что форма НЛ-40-2 кроме устойчивости к антракнозу (57,5–62,5% – оценивается как средневосприимчивая) проявила устойчивость к фузариозному увяданию на уровне 98,3 %. Это выше, чем у сорта-стандарта А-93 – на 4,8 % и на 12,6 % выше, чем у сорта-стандарта Альфа (табл. 4). К ржавчине и пасмо все исследованные линии были восприимчивы (устойчивость менее 25 %).

Таблица 4

Характеристика некоторых генотипов льна, полученных при селекции *in vitro* по устойчивости к комплексу болезней
Characteristics of some flax genotypes obtained by *in vitro* selection for resistance to a complex of diseases

Генотип	Устойчивость, % $\pm$ Sp					
	Антракноз			Фузариозное увядание	Ржавчина	Пасмо
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2023 г.		
НЛ 29-2	58 $\pm$ 1,5	63 $\pm$ 1,2	65 $\pm$ 1,3	42 $\pm$ 1,7	1 $\pm$ 0,7	25 $\pm$ 1,7
НЛ 40-2	60 $\pm$ 1,7	63 $\pm$ 1,1	58 $\pm$ 2,1	98 $\pm$ 1,7	1 $\pm$ 0,6	1 $\pm$ 0,7
НЛ 103-1	75 $\pm$ 2,4	63 $\pm$ 1,9	57 $\pm$ 1,7	54 $\pm$ 1,7	1 $\pm$ 0,3	1 $\pm$ 0,6
Стандарты						
Леона, ст.	75 $\pm$ 1,1	69 $\pm$ 1,3	74 $\pm$ 1,6			15 $\pm$ 1,7
Пенджаб, ст.	28 $\pm$ 1,2	19 $\pm$ 1,0	32 $\pm$ 1,5			8 $\pm$ 1,7
И-7, ст.			53 $\pm$ 1,7	29 $\pm$ 1,9		10 $\pm$ 1,7
А-93, ст.				93 $\pm$ 1,2		
Альфа, ст.		38 $\pm$ 1,1	45 $\pm$ 1,3	86 $\pm$ 1,4	98 $\pm$ 2,0	32 $\pm$ 1,7
Полесский, ст.4					1 $\pm$ 0,5	
Белинка, ст.	45 $\pm$ 1,1	49 $\pm$ 1,1	51 $\pm$ 1,3			68 $\pm$ 1,7

При оценке хозяйственно ценных признаков у выделенных линий было выявлено, что все они в основном несколько уступали исходным формам по показателям продуктивности. В то же время у ряда линий некоторые характеристики (масса технической части стебля, количество коробочек на одном растении, количество семян с одного растения) превосходили сорт-стандарт Альфа. Так, по массе стебля исходную форму не превосходил ни один регенерант. Тогда как сорт-стандарт Альфа по этому показателю превзошли НЛ-40-2 – на 7,9 %, НЛ-40-1 – на 6,5 % (табл. 5). По количеству коробочек на одном растении все регенеранты кроме НЛ-40-2 превзошли исходные формы на 5–20 %. В то же время все

регенеранты по этому признаку превосходили сорт-стандарт Альфа. По массе волокна с одного растения и по содержанию волокна все полученные регенеранты несколько уступали исходным формам и сорту-стандарту Альфа. Выделен регенерант НЭ-17, который на 11 % по содержанию волокна превосходил исходную форму Эр 130-3. Проведенные исследования позволили выделить регенеранты НЛ-40-2 и НЛ-40-1, полученные от линий Л 2053-6-10 и Л 2053-5-11 соответственно, которые по трем показателям – масса технической части стебля, количество коробочек на растении, количество семян с одного растения – превосходили сорт-стандарт Альфа.

Таблица 5

Характеристика регенерантов, полученных в результате селекции *in vitro*, по основным хозяйственно ценным признакам, 2022 г.
Characteristics of regenerants obtained as a result of *in vitro* selection, according to the main economically valuable traits, 2022

Генотип	Масса тех. части стебля, мг $\pm$ Sp	Кол-во коробочек на растении, шт. $\pm$ Sp	Кол-во семян с одного растения, шт. $\pm$ Sp	Масса волокна с одного растения, мг $\pm$ Sp	Содержание волокна, % $\pm$ Sp
1	2	3	4	5	6
НЛ-103-2	382 $\pm$ 14,1	4 $\pm$ 0,8	23 $\pm$ 2,6	202 $\pm$ 3,3	28 $\pm$ 1,0
в % к и.ф.*	96,4	120,0	128,8	94,6	95,9
в % к ст.**	99,4	103,3	104,8	99,8	98,0
НЛ-40-2	277 $\pm$ 12,3	2 $\pm$ 0,7	11 $\pm$ 2,2	179 $\pm$ 4,0	27 $\pm$ 1,2

1	2	3	4	5	6
в % к и.ф.	92,1	98,0	101,6	96,9	93,6
в % к ст.	107,9	105,0	104,2	97,1	99,5
НЛ-40-1	272±13,1	2±0,7	13±2,9	176±3,5	2±1,2
в % к и.ф.	97,9	105,0	104,2	97,1	99,5
в % к ст.	106,5	111,7	112,3	95,0	98,9
НЭ-38	286±4,3	3±0,9	19±6,5	173±2,9	26±0,7
в % к и.ф.	88,1	110,0	106,9	98,0	98,0
в % к ст.	89,5	106,7	104,6	98,3	99,0
НЭ-17	397±9,1	4±1,7	24±9,5	197±4,6	27±,7
в % к и.ф.	99,6	118,7	115,3	96,1	111,0
в % к ст.	99,1	105,3	106,3	99,3	97,6

Примечание: и.ф.* – исходная форма; ст.** – сорт-стандарт Альфа.

Новые генотипы льна НО-65, НЭ-38, НЭ-36, НЭ-16, полученные в результате селекции *in vitro*, дополнили коллекцию генофонда в качестве источников устойчивости к антракнозу. Выявлено, что эти линии в 2023 г. не уступали сорту-стандарту Альфа по основным параметрам продуктивности волокна: высоте растений, весу технической

части растения. Превышения составили 2–16,01 % и 16,56–48,84 % соответственно. При этом линия НЭ-38 не уступала сорту-стандарту по семенной продуктивности (количество коробочек на одном растении, количество семян на одном растении), а линия НО-65 превосходила стандарт на 35,3 % (табл. 6).

Таблица 6

Характеристика линий льна, полученных при селекции *in vitro* на устойчивость к антракнозу, по параметрам продуктивности, 2023 г.
Characteristics of flax lines obtained through *in vitro* selection for resistance to anthracnose, according to productivity parameters, 2023

Генотип	Устойчивость к антракнозу, %	Высота растений, см	Вес тех. части растения, мг	Кол-во коробочек на одном растении, шт.	Кол-во семян на одном растении, шт.	Масса волокна с одного растения, мг	Содержание волокна, %
Альфа-ст.		57*	260	5	39	73	28
		2,46**	57,96	1,30	11,19	16,95	1,53
		4,30***	22,28	28,79	28,79	23,15	5,47
НО-65	55	66*	387	6	53	103	27
		5,21**	121,80	2,36	21,88	31,56	1,25
		7,86***	31,46	41,02	41,62	30,62	4,67
НЭ-38	60,9	59*	257	4	39	65	25
		5,39**	78,55	1,52	14,07	18,62	1,25
		9,14***	30,51	35,51	36,40	28,83	4,93
НЭ-36	59,8	58*	303	4	32	80	26
		4,75**	113,53	1,49	13,08	31,09	0,99
		8,16***	37,44	40,29	41,17	38,65	3,76
НЭ-16	53,9	59*	234	3	28	62	26
		3,63**	50,75	1,13	11,01	14,32	1,74
		6,16***	21,69	37,61	38,95	23,23	6,62

Примечание. * – среднее значение, ** – среднее квадратическое отклонение, *** – коэффициент вариации (вариабельность).

Из созданных источников устойчивости к антракнозу в культуре *in vitro* наибольший интерес представляет линия НО-65, которая при устойчивости к антракнозу на уровне 55 % существенно превзошла сорт-стандарт Альфа практически по всем показателям продуктивности: по высоте растений на 16,0 %, по весу технической части растения на 48,8 %, по массе волокна на 40,8 %, по количеству коробочек на одном растении на 28 %, по количеству семян на одном растении на 35,3 %.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследований выявлены различия используемых штаммов возбудителя антракноза по морфологическим признакам. Установлено, что интенсивность спороношения и роста используемых штаммов не зависела от их вирулентности.

2. Выявлено, что на селективном фоне на основе незрелых зародышей формировались растения с различной степенью устойчивости. Были отмечены как устойчивые, так и средневосприимчивые – восприимчивые формы, сформированные на основе одного и того же генотипа.

3. Отмечено, что большинство регенерантов, полученных при селекции *in vitro* от восприим-

чивых к антракнозу генотипов, во вновь созданных селективных условиях характеризовались устойчивостью и средней восприимчивостью к культуральному фильтрату. Высказано предположение что формирование на селективном фоне в культуре незрелых зародышей льна-долгунца растений-регенерантов, отличных от исходных форм, вызвано возникновением спонтанного мутационного процесса, который, по-видимому, не всегда зависит от создания селективных условий.

4. В результате исследований из генотипов льна, восприимчивых к антракнозу, созданы новые, более устойчивые к патогену формы НО-65, НЭ-38, НЭ-36, НЭ-16, которые не уступали сорту-стандарту Альфа по основным параметрам продуктивности волокна: высоте растений, весу технической части растения.

5. Выделена линия НО-65, которая при устойчивости к антракнозу на уровне 55 % существенно превзошла сорт-стандарт Альфа практически по всем показателям продуктивности: по высоте растений на 16,0 %, по весу технической части растения на 48,8 %, по массе волокна на 40,8 %, по количеству коробочек на одном растении на 28 %, по количеству семян на 35,3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трабурова Е.А., Рожмина Т.А. Результаты изучения коллекционных образцов льна-долгунца в Центральном регионе Нечерноземной зоны России // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – № 36 (3). – С. 79–84.
2. Рожмина Т.А., Янышина А.А. Изменчивость содержания волокна в стеблях у различных сортов льна-долгунца // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – № 4 (24). – С. 562–571.
3. Новый раннеспелый сорт льна-долгунца Стриж для условий Северо-Запада России / А.Д. Степин, М.Н. Рысев, Т.А. Рысева, С.В. Уткина, Н.В. Романова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – 4 (24). – С. 572–580.
4. Dudarev I. A Review of Fibre Flax Harvesting: Conditions, Technologies, Processes and Machines // J. Nat. Fibers. – 2020. – P. 1–13.
5. Perspective on oil flax yield and dry biomass with reduced nitrogen supply / Q. Zhang, Y. Gao, B. Yan [et al.] // Oil Crop Sci. – 2020. – № 5 – P. 42–46.
6. Omer T.A., El-Borhamy A.M.A., Abd El-adek M.S. Effect of Harvesting rates and Seeding Rates on Yield and Yield Components of some Flax Varieties // J. Plant Prod. – 2020. – № 11. – P. 1501–1505.
7. Growth, yield and quality improvement of flax (*Linum usitatissimum* L.) grown under tarai region of Uttarakhand, India through integrated nutrient management practices / A. Kumar, B. Pramanick, B. Mahapatra [et al.] // Ind. Crop. Prod. – 2019. – № 140. – P. 111710.
8. Straw, Seed Yield and Quality of Three *Linum usitatissimum* L. Cultivars in Relation to Nitrogen Fertilizer Rate and Plant Density / E.-S.M. El Gedwy, G.Y.M. Hammam, S.A.H. Allam [et al.] // Asian J. Adv. Agric. Res. – 2020. – № 14. – P. 8–29.
9. Copper-induced oxidative stress, initiation of antioxidants and phytoremediation potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) seedlings grown under the mixing of two different soils of China / M.H. Saleem, S. Fahad, S.U. Khan [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2020. – № 27. – P. 5211–5221.
10. Миневич И.Э., Гончарова А.А., Уцяповский В.И. Влияние сортовой вариабельности на эффективность водной экстракции белка из нативных семян льна // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. – 2023. – № 1 (55). – С. 3–9.

11. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорты растений (офиц. изд.). – М., 2023. – 631 с.
12. Понажев В.П., Пролётова Н.В. Состояние и перспективы развития селекции и семеноводства льна-долгунца в Российской Федерации // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – № 4 (10). – С. 30–38.
13. Mańkowska G., Mańkowski J. The Influence of Selected Habitat and Agronomic Factors on the Yield of Flax (*Linum usitatissimum* L.) // J. Nat. Fibers. – 2020. – P. 1–11.
14. Кудрявцева Л.П. Устойчивость сортов – важный элемент интегрированной защиты льна-долгунца от болезней // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 11 (214). – С. 36–44.
15. Пролётова Н.В. Селективная система *in vitro* «Гриб *Colletotrichum lini* – лен» – эффективный способ создания генотипов, устойчивых к антракнозу // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 2. – С. 42–50.
16. Шуплецова О.Н., Огородникова С.Ю., Назарова Я.И. Эффекты неспецифической устойчивости генотипов ячменя, полученных путем клеточной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – № 181 (4). – С. 192–199.
17. Корж С.О., Дубина Е.В. Биотехнологические подходы в селекции томата на устойчивость к *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – № 36 (7). – С. 31–35.
18. Пролётова Н.В., Кудрявцева Л.П., Виноградова Е.Г. Способ получения регенерантов льна-долгунца, устойчивых к антракнозу, методами *in vitro* // пат. на изобретение RU 2478282 С2. – 2013. – 6 с.
19. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: метод. указ. / В.П. Понажев, Л.Н. Павлова, Т.А. Рожмина [и др.]. – Тверь: Тверской гос. ун-т, 2014. – 140 с.

REFERENCES

1. Traburova E.A., Rozhmina T.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, No. 36 (3), pp. 79–84. (In Russ.)
2. Rozhmina T.A., Yanyshina A.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2023, No. 4 (24), pp. 562–571. (In Russ.)
3. Stepin A.D., Rysev M.N., Ryseva T.A., Ut-kina S.V., Romanova N.V., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2023, No. 4 (24), pp. 572–580. (In Russ.)
4. Dudarev I.A., Review of Fiber Flax Harvesting: Conditions, Technologies, Processes and Machines, *J. Nat. Fibers*, 2020, pp. 1–13.
5. Zhang Q., Gao Y., Yan B. [et al.], Perspective on oil flax yield and dry biomass with reduced nitrogen supply, *Oil Crop Sci.*, 2020, No. 5, pp. 42–46.
6. Omer T.A., El-Borhamy A.M.A., Abd El-adek M.S., Effect of Harvesting rates and Seeding Rates on Yield and Yield Components of some Flax Varieties, *J. Plant Prod.*, 2020, No. 11, pp. 1501–1505.
7. Kumar A., Pramanick B., Mahapatra B., Singh S., Shukla D., Growth, yield and quality improvement of flax (*Linum usitatissimum* L.) grown under tarai region of Uttarakhand, India through integrated nutrient management practices, *Ind. Crop. Prod.*, 2019, No. 140, pp. 111710.
8. El Gedwy E.-S.M., Hammam G.Y.M., Allam S.A.H., Mostafa S.H.A., Shimy K.S.S.E., Straw, Seed Yield and Quality of Three *Linum usitatissimum* L. Cultivars in Relation to Nitrogen Fertilizer Rate and Plant Density, *Asian J. Adv. Agric. Res.*, 2020, No. 14, pp. 8–29.
9. Saleem M.H., Fahad S., Khan S.U. [et al.] Copper-induced oxidative stress, initiation of antioxidants and phytoremediation potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) seed-lings grown under the mixing of two different soils of China, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2020, No. 27, pp. 5211–5221.
10. Minevich I.E., Goncharova A.A., Ushchapovsky V.I., *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Ser. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2023, No. 1 (55), pp. 3–9. (In Russ.)
11. *Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T. 1. Sorta rasteniy* (State register of selection achievements approved for use. V. 1. Plant varieties), Moscow, 2023, 631 p.
12. Ponahev V.P., Proletova N.V., *Tekhnicheskie kul'tury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2023, No. 4 (10), pp. 30–38. (In Russ.)
13. Mańkowska G., Mańkowski J., The Influence of Selected Habitat and Agronomic Factors on the Yield of Flax (*Linum usitatissimum* L.), *J. Nat. Fibers*, 2020, pp. 1–11.
14. Kudryavtseva L.P., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2021, No. 11 (214), pp. 36–44. (In Russ.)
15. Proletova N.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2019, No. 2, pp. 42–50. (In Russ.)
16. Shupletsova O.N., Oгородnikova S.Yu., Nazarova Ya.I., *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2020, No. 181 (4), pp. 192–199. (In Russ.)
17. Korzh, S.O., Dubina E.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, No. 36 (7), pp. 31–35. (In Russ.)

18. Proletova N.V., Kudryavtseva L.P., Vinogradova E.G., Method for obtaining fiber flax regenerants resistant to an-thracnose using *in vitro* methods, *Patent for invention RU 2478282 C2*, 2013, 6 p. (In Russ.)
19. Ponazhev V.P., Pavlova L.N., Rozhmina T.A. [et al.], *Selektsiya i pervichnoe semenovodstvo l'na-dolguntsa* (Selec-tion and primary seed production of fiber flax), Tver: Tver State. univ., 2014, 140 p.

Информация об авторах:

Н.В. Пролётова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
В.С. Зотова, аспирант

Contribution of the authors:

N.V. Prolyotova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
V.S. Zotova, Postgraduate Student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии кон-фликта интересов.

ОЦЕНКА СОРТОВ ОВСА ПО УРОЖАЙНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ К БОЛЕЗНЯМ В СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

А.Я. Сотник, Н.П. Бехтольд

Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра института цитологии и генетики СО РАН, р. п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: sotnik@bionet.nsc.ru

Для цитирования: Сотник А.Я., Бехтольд Н.П. Оценка сортов овса по урожайности и устойчивости к болезням в северной лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 108–115. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-108-115.

Ключевые слова: показатели адаптивности, пыльная головня, покрытая головня, красно-бурая пятнистость.

Реферат. Для условий лесостепи Приобья с ее резко континентальными погодными условиями селекция овса должна сочетать высокую продуктивность сортов с комплексной устойчивостью к болезням. Цель исследования – оценка сортов овса по устойчивости к болезням и по показателям адаптивности в северной лесостепи Новосибирского Приобья. Исследования проводились в 2018–2023 гг. в коллекционном севообороте и на фитопатологическом участке лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиал ФИЦ ИЦиГ СО РАН (расположенные в 17 км от Новосибирска). Материалом исследования являлись девять сортов ярового овса сибирского происхождения (Краснообский, Новосибирский 5, Ровесник, Сиг, Орион, Отрада, Факел, Сибирский Геркулес, Тобояк). Сорта оценены по таким показателям, как общая адаптивность к условиям внешней среды, устойчивость к экстремальным условиям внешней среды, стабильность формирования урожайности в контрастных условиях и устойчивость к трем патогенам (красно-бурая пятнистость, пыльная и покрытая головня). Высокую общую адаптивность к условиям внешней среды показали Факел, Отрада, Тобояк и Сибирский Геркулес ($K = 1,07–1,04$). Наиболее высокий потенциал урожайности формировали Тобояк (1359 г/м^2), Отрада (1270 г/м^2) и Орион (1236 г/м^2). Устойчивость к стрессу (наименьший перепад между максимальной и минимальной урожайностями) имели Факел (-365 г/м^2), Сибирский Геркулес (-420 г/м^2). Компенсаторной способностью (наибольшей средней урожайностью в контрастных условиях) характеризуются Тобояк (1090 г/м^2), Факел (987 г/м^2) и Отрада (970 г/м^2). Стабильную урожайность в контрастных условиях продемонстрировали Факел (31 %), Сибирский Геркулес (36 %) и Тобояк (39 %). Комплексную устойчивость к трем патогенам (красно-бурая пятнистость, пыльная и покрытая головня) показали Сибирский Геркулес, Факел и Новосибирский 5.

Работа поддержана бюджетным проектом ФИЦ ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

EVALUATION OF OAT VARIETIES FOR YIELD AND DISEASE RESISTANCE IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF THE NOVOSIBIRSK OB REGION

A.Ya. Sotnik, N.P. Behtold

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk village, Novosibirsk region, Russia

E-mail: sotnik@bionet.nsc.ru

Keywords: indicators of adaptability, dusty smut, covered smut, red-brown spot.

Abstract. For the forest-steppe conditions of the Ob region with its sharply continental weather conditions, oat selection must combine high productivity of varieties with complex disease resistance. The purpose of the study is to evaluate oat varieties for disease resistance and adaptability in the northern forest-steppe of the Novosibirsk Ob region. The studies were conducted in 2018–2023. in the collection crop rotation and in the phytopathological section of the plant gene pool laboratory of SibNIIRS - a branch of the Federal Research Center ICG SB RAS (located 17 km from Novosibirsk). The research material was 9 varieties of spring oats of Siberian origin (Krasnoobsky, Novosibirsky 5, Rovesnik, Sig, Orion, Otrada, Fakel, Sibirsky Hercules, Tobolyak). The varieties were assessed according to the following indicators: general adaptability to environmental conditions, resistance to extreme environmental conditions, stability of yield formation in contrasting conditions and resistance to three pathogens (red-brown spot, dusty and covered smut). High overall adaptability to environmental conditions was shown by:

Fakel, Otrada, Tobolyak and Siberian Hercules ($K = 1.07 - 1.04$). The highest yield potential was formed by: Tobolyak (1359 g/m²), Otrada (1270 g/m²) and Orion (1236 g/m²). Resistance to stress (the smallest difference between maximum and minimum yields) had: Torch (-365 g/m²), Siberian Hercules (-420 g/m²). Compensatory ability (the highest average yield in contrasting conditions) is characterized by: Tobolyak (1090 g/m²), Fakel (987 g/m²) and Otrada (970 g/m²). Stable yields in contrasting conditions were demonstrated by: Fakel (31 %), Siberian Hercules (36 %) and Tobolyak (39 %). Complex resistance to three pathogens (red-brown spot, dusty and covered smut) was shown by: Siberian Hercules, Fakel and Novosibirsk 5.

Уровень урожайности зависит от изменяющихся метеорологических условий по годам [1, 2] и по почвенно-климатическим зонам [3, 4]. Поэтому стабилизация сельскохозяйственной продукции по годам является приоритетной проблемой [5, 6]. Использование в производстве продукции новых селекционных достижений (сортов) является одним из пунктов для ее решения [7, 8]. Применение сортов, в наибольшей степени приспособленных к местным условиям, вносит существенный вклад в повышение уровня урожайности и качественных показателей зерна [9–11], которое у овса обеспечено сбалансированностью аминокислот белка [12, 13].

Для включения в селекционный процесс новых сортов, созданных в селекционных учреждениях Сибири и внесенных в Госреестр РФ [14], важна информация и по показателям адаптивности к экстремальным факторам, и по оценке их устойчивости к болезням [15–17]. Наиболее распространенными и вредоносными в условиях лесостепи Приобья являются пыльная (*Ustilago avenae* (Pers.) Jens.) и покрытая (*Ustilago kolleri* Wille) головня, а также красно-бурая пятнистость (*Drechslera avenae* (Eidam) Ito et Kurib). Недобор зерна от поражения растений перечисленными болезнями может достигать до 25 %, а в годы эпифитотий – до 50 % [18, 19].

Цель исследования – оценка сортов овса по устойчивости к болезням и по показателям адаптивности в северной лесостепи Новосибирского Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом исследований являются девять сортов овса сибирского происхождения, в том числе пять новых и четыре стандартных сорта (новые голозерные сорта в статье не рассматриваются). Стандартные сорта: Краснообский, Орион, Сиг и Ровесник. Сорта Краснообский и Орион на Государственном сортоиспытании по Новосибирской области много лет являлись стандартами раннеспелой и среднеспелой групп спелости. Сиг был стандартом вместо сорта Орион. Ровес-

ник ценится благодаря высокой устойчивости к полеганию и крупнозерности. Эти сорта и в настоящее время используется в производстве зерновой продукции, хотя и не имеют высокой устойчивости к болезням.

Исследования проводили в 2018–2023 гг. в коллекционном севообороте и на фитопатологическом участке лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиал ФИЦ ИЦиГ СО РАН (расположенные в 17 км от г. Новосибирска). Агротехника в коллекционном севообороте: площадь делянки 1 м², срок сева – преимущественно вторая декада мая сеялкой ССФК-7, норма высева 550 всхожих семян на 1 м², предшественник чистый пар, севооборот культур – 1) пар, 2) коллекционные питомники (делянки овса), 3) пар, 4) селекционное размножение пшеницы. Агротехника на фитопатологическом участке: площадь делянки 0,2 м², срок сева – преимущественно первая декада мая сеялкой СКС-6, норма высева 100 инфицированных зерен 1 п.м., предшественник чистый пар, севооборот культур – 1) пар, 2) инфицированные посевы (сортобразцы), 3) сидеральный пар (овес + горох, вика).

Почва – выщелоченный чернозем, среднесуглинистый по механическому составу. Среда верхнего слоя слабокислая (рН = 6,7), в карбонатных горизонтах – щелочная (рН 7,9). Гумуса содержится 4,2 %, азота – 0,34 %, фосфора – 0,30 %, Р₂О₅ = 29 и К₂О = 13 (по Чирикову) – 29 и 13 мг в 100 г образца соответственно, рН = 6,8 [20].

В почвенных пробах, отобранных в мае 2020 г., на участке коллекционного севооборота зафиксировано на глубине 0–20 и 20–40 см содержание подвижного азота – 13,0 и 10,2 мг/кг соответственно; подвижного фосфора и калия по Чирикову (30,0 и 30,4 мг/кг) и (102,0 и 85,3 мг/кг); Р₂О₅ по Карпинскому = 1,05 и 0,84 мг/кг).

Общую адаптационную реакцию сортов определяли по методике Л.А. Животкова с соавторами, отношением урожайности сорта к среднесортovому показателю [21]. Уровень устойчивости к стрессу оценивали по А.А. Гончаренко как разности между минимальной и максимальной урожайностями, компенсаторную способность – по средней урожайности сорта в контрастных

годах [22], показатель стабильного формирования урожайности – по методике В.А. Зыкина, как отношение разницы между максимальной и минимальной урожайностью к ее максимальной величине, выраженной в процентах [23].

Для инокулирования семян овса возбудителями пыльной и покрытой головни и учета степени поражения использовали методические рекомендации под ред. Ж.А. Бахарева и Ю.А. Христова [24]. Заражение семян проводили за месяц до посева телиоспорами *U. avenae* и *U. kolleri* на приборе РТ-1. Споровый материал представлен зараженными колосьями, собранными с различных сортов овса с селекционных полей СибНИИРС в фазу молочно-восковой спелости. Для заражения готовили инокулюм из расчета 2 г спор на 1 л. воды. Для быстрого и массового прорастания хламидоспор использовали питательную среду, содержащую 0,2 % агар-агара и 1 % глюкозы.

Для характеристики устойчивости сортов использовали метод учета по стеблям (подсчитывали количество больных и здоровых метелок и высчитывали процент пораженных от общего числа), регистрирующий действительную реакцию растений на внедрение паразита (особенно у слабовосприимчивых образцов). Устойчивость сортов к патогенам классифицировали по максимальному проценту поражения за ряд лет. Реакцию каждого сорта фиксировали по максимальному проценту поражения. Подсчет здоровых и больных метелок проводили в фазу полной спелости зерна.

Полевую оценку сортов на устойчивость к красно-бурой пятнистости проводили при естественном проявлении болезни в фазу молочно-восковой спелости в 2020–2023 гг. Степень поражения устанавливали в баллах по методике ВИЗР [25]. Тип реакции генотипа на поражение возбудителем оценивали по шкале:

1 – точечные некрозы без хлорозов (высокая устойчивость),

2 – мелкие (0,5–1 мм) некротические пятна без хлороза или со слабым хлорозом (устойчивость),

3 – некротические пятна крупные (> 3 мм), сливающиеся, окаймленные ярко выраженным хлорозом; отрезок листа может иметь красноватую окраску (восприимчивость),

4 – некроз и хлороз занимают весь отрезок листа, возможно появление мицелиальных выростов и спороношения (высокая восприимчивость),

2–3 – размер пятен как при балле 3, но отсутствует хлороз (промежуточный тип реакции).

По данным гидрометеорологической станции п. Огурцово за период проведения исследований сложились контрастные погодные условия. Года разнились и по температуре воздуха, и по сумме осадков, и по их распределению по декадам. Гидротермический коэффициент (ГТК), характеризующий период со среднесуточными температурами воздуха выше 10 °С (соотношение сумм осадков и эффективных температур) [26] колебался по годам от 0,68 до 1,94. Влагообеспеченность (грация по Е.К. Зоидзе, Т.В. Хомяковой [27]) в период роста и развития растений характеризовалась: в 2022 г. – очень низкая (ГТК 0,68); в 2023 г. – низкая (ГТК 0,98); в 2019 г. и 2021 г. – недостаточная (ГТК 1,36 и 1,32); в 2020 г. – достаточная (ГТК 1,58); в 2018 г. – повышенная (ГТК 1,94).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2018 и 2020 гг. сложились наиболее благоприятные по влагообеспеченности (повышенная и избыточная) условия для формирования высоких урожаев. Менее высокая урожайность сформировалась в 2019 и в 2021 гг. Осадков в эти годы было значительно меньше, но они распределились порционно в период вегетативного роста и генеративного развития, что обеспечило высокий урожай относительно годов с достаточной (оптимальной) влагообеспеченностью. В условиях 2022 г. из-за недостатка влаги сорта формировали низкую урожайность.

Перепад урожайности сортов по годам с экстремальными условиями составил от 535 г/м² (Орион) до 700 г/м² (Краснообский), а различия между сортами в условиях года отличались значительно меньшими численными значениями. В условиях засухи сортовая разница по урожайности составила 328 г/м², а в благоприятных условиях (с избыточной влагообеспеченностью) она была еще меньше – 189 г/м² (табл. 1), что указывает на преобладающее значение фактора внешней среды в выраженности рассматриваемого показателя.

Сравнение урожайности сортов с среднесортovým значением показало, что наиболее высокие показатели урожайности за 6 лет, превышающие среднее значение всего набора сортов (899 г/м²), имели Факел (964 г/м²), Отрада (956 г/м²), Тобояк (943 г/м²) и Сибирский Геркулес (937 г/м²), что свидетельствует об их высокой общей адаптивности к условиям внешней среды. Наиболее высокий потенциал урожайности за шесть лет показали Тобояк (1359 г/м²), Отрада

(1270 г/м²) и Орион (1236 г/м²). Необходимо отметить, что среднеспелый стандарт Орион входил в группу сортов с высокими показателями потенциала продуктивности и адаптивности и в 10-летнем эксперименте с большим набором сортов [27–28].

В неблагоприятных условиях потенциальная продуктивность проявляется слабо, но именно экстремальные условия (2022 г.) позволили определить степень адаптивности изучаемых генотипов.

Таблица 1

Адаптивность сортов овса по урожайности в 2018–2023 гг.
Adaptability of oat varieties by yield (2018–2023)

Сорт	Вегетационный период, сут $X \pm Sx$	Урожайность, г/м ²			Показатели адаптивности			
		средняя	минимальная	максимальная	К. адаптивности	Стрессоустойчивость, г/м ²	Компенсаторная способность, г/м ²	d
Краснообский	69 ± 2	803	494	1194	0,88	-700	844	59
Новосибирский 5	70 ± 2	883	595	1180	0,97	-585	887	50
Ровесник	72 ± 2	867	552	1158	0,95	-606	855	52
Сиг	72 ± 2	924	630	1193	1,01	-563	911	47
Орион	72 ± 2	934	701	1236	1,02	-535	968	43
Отрада	72 ± 2	956	671	1270	1,05	-599	970	47
Факел	74 ± 2	964	805	1170	1,06	-365	987	31
Сибирский Геркулес	75 ± 2	937	750	1170	1,03	-420	960	36
Тобольск	77 ± 2	943	822	1359	1,03	-537	1090	39
Средняя величина		912						

Одним из показателей степени приспособленности генотипа к изменяющимся по годам метеорологическим условиям является устойчивость к стрессу. Чем меньше перепад между крайними показателями урожайности из всего ряда лет, тем выше стрессоустойчивость сорта, тем более он приспособлен к экстремальным условиям. Установлено, что самую высокую устойчивость к стрессу имели сорта Факел (-365 г/м²), Сибирский Геркулес (-420 г/м²). В незначительной степени им уступают Орион (-535 г/м²) и Тобольск (-537 г/м²).

Степень приспособленности сорта к экстремальным условиям внешней среды дополняет показатель компенсаторной способности, который определяется по средней урожайности сорта в контрастных условиях (крайними значениями). Чем выше этот показатель, тем устойчивее сорт к контрастным перепадам среды. В наших исследованиях более высокую среднюю урожайность в контрастных условиях в сравнении с другими сортами имели сорта Тобольск (1090 г/м²), Факел (987 г/м²) и Отрада (970 г/м²). В большей степени выделяется сорт Тобольск. Он характеризуется не очень высоким уровнем устойчивости к стрессо-

вым условиям и вместе с тем обладает высокой компенсаторной способностью.

Высокая потенциальная урожайность сорта всегда будет являться приоритетной проблемой селекционного процесса. Другой важной проблемой селекции является создание сортов, формирующих не высокую, но стабильную по годам урожайность. Для определения степени стабильности сорта используется величина размаха варьирования урожайности. Генотипы могут иметь одинаковый разрыв между максимальной и минимальной урожайностью, но различаться по величине этих значений. Показатель размаха варьирования признака позволяет ранжировать генотипы по степени стабильности формирования урожайности по годам. Чем меньше размах варьирования, тем стабильнее урожайность генотипа в конкретных условиях. В нашем эксперименте размах варьирования урожайности у сортов составил от 31 % (Факел) до 59 % (Краснообский). Самый минимальный размах варьирования в контрастные по агроклиматическим условиям годы имели Факел (31 %), Сибирский Геркулес (36 %) и Тобольск (39 %).

Валовый сбор зерна зависит и от способности генотипа формировать более высокую урожайность в разных условиях внешней среды, и от способности сохранить заложенный потенциал растений от угрозы поражения их болезнями особенно в годы эпифитотий.

Рассмотрение реакции сортов в условиях искусственного заражения показало, что большинство сортов имели слабую и сильную степень восприимчивости к пыльной, покрытой головне (табл. 2)

Таблица 2

Поражение сортов овса головневыми болезнями (инфекционный фон, 2018–2023 гг.)
Damage to oat varieties by smut diseases (infectious background, 2018–2023)

Сорт	Происхождение	Год / зона районирования	Поражение, %			
			U. avenae		U. kolleri	
			min	max	min	max
Краснообский	Новосибирская область	1991 / 10	2,6	20,3	58,3	65,7
Новосибирский 5		2013 / 10	0,5	4,2	0,5	5,1
Ровесник (стандарт восприимчивости)		1995 / 10,11	9,7	82,0	43,1	82,4
Сиг		2008 / 10,11,12	2,9	25,9	4,7	44,5
Орион	Омская область	1996/9,10,11	0	26,2	20,1	55,7
Сибирский Геркулес		2019 / 9,10	0	0	0	0
Факел		2018 / 10	0	0,6	0	0,4
Отрада	Тюменская область	2013/9,10,12	2,6	58,7	33,7	57,8
Тобояк		2020 / 10,11,12	0	26,3	36,1	47,8

Варьирование поражения сортов овса с различной степенью устойчивости к головневым болезням по годам объясняется влиянием погодных условий: температуры, влажности почвы и воздуха. Так, например, погодные условия мая 2018 г. были неблагоприятны для развития возбудителя пыльной головни овса. Низкие положительные температуры почвы и воздуха способствовали снижению прорастания спор гриба и, как следствие, снижению интенсивности поражения генотипов. Восприимчивый сорт-индикатор Ровесник поражен патогеном только на 9,7 %, остальные сорта также имели слабую степень поражения либо не имели растений, пораженных пыльной головней. В таких условиях полученные сведения

об устойчивости сортов к болезням будут завышены.

Устойчивость же сортов, контролируемая генетическими факторами, проявляется стабильно даже на инфекционном фоне. Как видно из табл. 2, поражение возбудителем *U. kolleri* у сорта Сиг за годы изучения колебалось от 4,7 % (устойчивость) до 44,5 % (средняя степень восприимчивости). Сорта Новосибирский 5, Сибирский Геркулес и Факел на протяжении шести лет проявляют высокий иммунитет к двум патогенам.

Устойчивость образцов к красно-бурой пятнистости отмечали при естественном проявлении болезни (табл. 3).

Таблица 3

Поражение сортов овса возбудителем красно-бурой пятнистости (естественный фон, 2020–2023 гг.)
Damage to oat varieties by the causative agent of red-brown spot (natural background, 2020–2023)

Сорт	Поражение <i>Drechslera avenae</i> , балл / (тип устойчивости)			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	2	3	4	5
Краснообский	2-3 / (П)	2 / (У)	2-3 / (П)	2-3 / (П)
Новосибирский 5	1 / (БУ)	1 / (БУ)	1 / (БУ)	2 / (У)
Ровесник	1 / (БУ)	2-3 / (П)	2-3 / (П)	2 / (У)

1	2	3	4	5
Сиг	1 / (ВУ)	2 / (У)	2 / (У)	2 / (У)
Орион	1 / (ВУ)	2 / (У)	2-3 / (П)	3 / (В)
Сибирский Геркулес	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Факел	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)
Отрада	1 / (ВУ)	2 / (У)	2-3 / (П)	3 / (В)
Тоболяк	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	1 / (ВУ)	2 / (У)

Примечание. ВУ – высокая устойчивость; У – устойчивость; В – восприимчивость; П – промежуточный тип реакции.

Жаркая и влажная погода в июне 2022 г. и засушливые условия с ливневыми дождями в 2023 г. оказались благоприятными для развития красно-бурой пятнистости. Как видно из таблицы, практически все сорта до 2022 г. были устойчивы к возбудителю *D. avenae*. С 2022 г. сорта Краснообский, Ровесник, Орион и Отрада стали поражаться (тип устойчивости от промежуточного до восприимчивого). Комплексную устойчивость к трем патогенам показали Сибирский Геркулес, Факел и Новосибирский 5. Сорт Тоболяк имеет высокую устойчивость к красно-бурой пятнистости, но сильно восприимчив к пыльной и покрытой головне.

ВЫВОДЫ

1. Высокую общую адаптивность к условиям внешней среды показали: Факел, Отрада, Тоболяк и Сибирский Геркулес ($K = 1,07-1,04$).

2. Наиболее высокий потенциал урожайности формировали Тоболяк (1359 г/м²), Отрада (1270 г/м²) и Орион (1236 г/м²).

3. Устойчивость к стрессу (наименьший перепад между максимальной и минимальной урожайностями) имели Факел (-365 г/м²), Сибирский Геркулес (-420 г/м²).

4. Компенсаторной способностью (наибольшей средней урожайностью в контрастных условиях) характеризуются Тоболяк (1090 г/м²), Факел (987 г/м²) и Отрада (970 г/м²).

5. Стабильную урожайность в контрастных условиях продемонстрировали Факел (31 %), Сибирский Геркулес (36 %) и Тоболяк (39 %).

6. Комплексную устойчивость к трем патогенам (красно-бурой пятнистости, пыльной и покрытой головне) показали Сибирский Геркулес, Факел и Новосибирский 5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомина М.Н. Урожайность пленчатых сортов овса и особенности ее формирования в условиях северной лесостепи Тюменской области // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 12. – С. 24–27.
2. Анкудович Ю.Н. Влияние климатических и агрохимических факторов на урожайность овса в условиях севера Томской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 5. – С. 40–47.
3. Перспективные сорта ярового овса для возделывания в условиях полупустынной зоны Северного Прикаспия / В.А. Федорова, Н.А. Наумова, Ю.П. Тарасенкова, Д.П. Поляков // Вестник Марийского государственного университета. Сер. Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2019. – Т. 5, № 3 (19). – С. 335–340. – DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-335-340.
4. Характеристика адаптивного материала сортов овса пленчатого по результатам государственного испытания в Костромской области / Г.А. Баталова, А.А. Еремина, Н.В. Кротова [и др.] // Вестник Марийского государственного университета. Сер. Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2019. – Т. 5, № 3 (19). – С. 281–289.
5. Баталова Г.А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 3. – С. 14–22.
6. Чекмарев П.А. Стратегия развития селекции и семеноводства в России // Земледелие. – 2011. – № 6. – С. 3–5.
7. Сайнакова А.Б., Литвинчук О.В. Оценка экологической пластичности и стабильности коллекционных образцов овса по массе 1000 зерен // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – Т. 3, № 4 (64). – С. 72–74.
8. Кардашина В. Е., Николаева Л. С. Влияние метеорологических условий на продуктивность и хозяйственно ценные признаки овса // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 3 (19). – С. 70–75.

9. *Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях* / О.А. Юсова, П.Н. Николаев, В.С. Васюкевич [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2 (55). – С. 84–96. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96.
10. *Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives* / A. Gorash, R. Armonien, Z. Mitchell Fetch Liatukas, V. Danyte // Annals of Applied Biology. – 2017. – Vol. 78. – P. 94–103. – DOI: 10.1111/aab.12375.
11. *Санега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность и адаптивность сортов яровой пшеницы различных групп спелости в условиях лесостепи Северного Зауралья* // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3 (64). – С. 67–75. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.
12. *Oats and CVD risk markers: a systematic literature review* / F. Thies, L.F. Masson, P. Boffetta, P. Kris-Etherton // British Journal of Nutrition. – 2014. – Vol. 112 (Suppl 2). – P. 19–30. – DOI: 10.1017/S0007114514002281.
13. *Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss* / J. Schuster, G. Beninca, R. Vitorazzi [et al.] // Nutrición Hospitalaria. – 2015. – Vol. 32, № 5. – P. 2111–2116. – DOI: 10.3305/nh.2015.32.5.9590.
14. *Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию* [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (дата обращения: 16.02.2023).
15. *Бехтольд Н.П., Орлова Е.А. Устойчивость овса посевного к головневым болезням в условиях лесостепи Приобья* // Зерновое хозяйство России. – 2022. – № 3. – С. 102–107. – DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-102-107.
16. *Свиркова С.В., Старцев А.А., Заушинцева А.В. Болезни овса в Западной Сибири и генетические источники устойчивости* // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2016. – Вып. 1. – С. 108–115.
17. *Zhuikova O.A., Sheshegova T.K., Batalova G.A. Bioresources of Oats for Use in Selection for Phytoimmunity to Fungal Diseases in Kirov Oblast* // Russian Agricultural Sciences. – 2021. – Vol. 47, № 5. – P. 461–465. – DOI: 10.3103/S1068367421050189.
18. *Menzies J.G., Turkington T.K. Knox R.E. Testing for resistance to smut diseases of barley, oats and wheat in western Canada* // Canadian Journal of Plant Pathology. – 2009. – Vol. 31, Is. 3. – P. 265–279. – DOI: 10.1080/07060660909507601.
19. *Иммунологические исследования ячменя и овса по устойчивости к природным популяциям головневых заболеваний* / Л.В. Мешкова, П.Н. Николаев, С.В. Васюкевич [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 10. – С. 43–49. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006.
20. *Система земледелия опытно-производственного хозяйства «Элитное»*. – Новосибирск, 1983. – 36 с.
21. *Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность»* // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.
22. *Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур* // Вестник Россельхозакадемии. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
23. *Зыкин В.А., Шаманин В.П., Белан И.А. Экология пшеницы: монография*. – Омск, – 2000. – 124 с.
24. *Бахарева Ж.А., Христов Ю.А. Создание сортов зерновых культур, устойчивых к головневым заболеваниям в Западной Сибири: Метод. рекомен. РАСХН. Сиб. отд. СибНИИРС. Новосибирск, – 2003. – 49 с.*
25. *Петрова О.С., Афанасенко О.С. Методы определения вирулентности гриба Drechslera avenae и устойчивости сортов овса к красно-бурой пятнистости листьев* // Вестник защиты растений. – 2003. – № 1. – С. 63–66.
26. *Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшный В.Н. Агрометеорология*. – Л.: Гидрометеониздат, 1987. – 310 с.
27. *Зойдзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности на территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности* // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 2. – С. 98–105.
28. *Сотник А.Я. Оценка адаптивных свойств сортов овса по урожайности в Приобской лесостепи* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. – Т. 53, № 5. – С. 40–46. – DOI: 10.26898/0370-8799-2023-5-5.

REFERENCES

1. *Fomina M.N., Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, T. 30, No. 12, pp. 24–27. (In Russ.)
2. *Ankudovich Yu.N., Sibirskii vestnik sel'skhozaystvennoi nauki*, 2015, No. 5, pp. 40–47. (In Russ.)
3. *Fedorova V.A., Naumova N.A., Tarasenkova Yu.P., Polyakov D.P., Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki*, 2019, Vol. 5, No. 3 (19), pp. 335–340, DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-335-340. (In Russ.)
4. *Batalova G.A., Eremina A.A., Krotova N.V., Vologzhanina E.N., Zhuikova O.A., Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki*, 2019, Vol. 5, No. 3 (19), pp. 281–289. (In Russ.)
5. *Batalova G.A., Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2011, No. 3, pp. 14–22. (In Russ.)
6. *Chekmarev P.A., Zemledelie*, 2011, No. 6, pp. 3–5. (In Russ.)

7. Sainakova A.B., Litvinchuk O.V., *Vestnik Kemerovskii gosudarstvennyi Universitet*, 2015, Vol. 3, No. 4 (64), pp. 72–74. (In Russ.)
8. Kardashina V.E., Nikolaeva L.S., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2017, No. 3 (19), pp. 70–75. (In Russ.)
9. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasyukevich V.S., Aniskov N.I., Safonova I.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2020, No. 2 (55), pp. 84–96, DOI:10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96. (In Russ.)
10. Gorash A., Armonien R., Mitchell Fetch J. Liatukas Z., Danyte V., Aspekts in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives, *Annals of Applied Biology*, 2017, Vol. 78, Pp. 94–103, DOI: 10.1111/aab.12375.
11. Sapega V.A., Tursumbekova G.Sh., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No. 3 (64), pp. 67–75. (In Russ.)
12. Thies F., Masson L.F., Boffetta P., Kris-Etherton P., Oats and CVD risk markers: a systematic literature review, *British Journal of Nutrition*, 2014, Vol. 112 (Suppl. 2), pp. 19–30, DOI: 10.1017/S0007114514002281.
13. Schuster J., Beninca G., Vitorazzi R., Morelo Dal Bosco S., Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss, *Nutrición Hospitalaria*, 2015, Vol. 32, No. 5, pp. 2111–2116, DOI: 10.3305/nh.2015.32.5.9590.
14. *Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu* (State Register of Breeding Achievements Approved for Use), [Electronic resource], URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (accessed 16.02.2023).
15. Bekhtold N.P., Orlova E.A., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2022, No. 3, pp. 102–107, <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-102-107>. (In Russ.)
16. Svirskova S.V., Startsev A.A., Zaushintsena A.V., *Izvestiia Timiriazevskoi sel'skokhoziaistvennoi akademii*, 2016, Vol. 1, pp. 108–115. (In Russ.)
17. Zhuikova O. A., Sheshhegova T.K., Batalova G.A., Bioresources of Oats for Use in Selection for Phytoimmunity to Fungal Diseases in Kirov Oblast, *Russian Agricultural Sciences*, 2021, Vol. 47, No. 5, pp. 461–465, DOI: 10.3103/S1068367421050189.
18. Menzies J.G., Turkington T.K. Knox R.E., Testing for resistance to smut diseases of barley, oats and wheat in western Canada, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2009, Vol. 31, Is. 3, pp. 265–279, DOI: 10.1080/07060660909507601.
19. Meshkova L.V., Nikolaev P.N., Vasyukevich S.V. [i dr.], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 10, pp. 43–49, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006. (In Russ.)
20. *Sistema zemledeliya opytно-proizvodstvennogo khozyaystva «Elitnoe»* (The farming system of the Elite experimental production farm), Novosibirsk, 1983. 36 p.
21. Zhivotkov L.A. Morozova Z.A., Sekatueva L.I., *Selektsiya i semenovodstvo*, 1994, No. 2, pp. 3–6. (In Russ.)
22. Goncharenko A.A., *Vestnik Rossel'khozakademii*, 2005, No. 6, pp. 49–53. (In Russ.)
23. Zykina V.A., Shamanin V.P., Belan I.A., *Ekologiya pshenitsy* (Ecology of wheat), Omsk, 2000, 124 p.
24. Bakhareva ZH. A., Khristov YU.A., *Sozdaniye sortov zernovykh kul'tur, ustoychivyykh k golovnym zabolevaniyam v Zapadnoy Sibiri* (Development of grain crop varieties resistant to smut diseases in Western Siberia), Novosibirsk, 2003, 49 p.
25. Petrova O.S., Afanasenko O.S., *Vestnik zashchity rasteniy*, 2003, No. 1, pp. 63–66. (In Russ.)
26. Gringof I.G., Popova V.V., Strashny V.N., *Agrometeorologiya* (Agrometeorology), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, 310 p.
27. Zoidze E.K., Khomyakova T.V., *Meteorologiya i gidrologiya*, 2006, No. 2, pp. 98–105. (In Russ.)
28. Sotnik A.Ya., *Sibirskii vestnik sel'skokhoziaistvennoi nauki*, 2023, Vol. 53, No. 5, pp. 40–46. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.Я. Сотник, кандидат сельскохозяйственных наук
Н.П. Бехтольд, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

A.Ya. Sotnik, Candidate of Agriculture
N.P. Behtold, Candidate of Agriculture

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

МОНИТОРИНГ ВИРУСОВ КАРТОФЕЛЯ АЛТАЙСКОГО КРАЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ

^{1,2}К.А. Табанюхов, ^{1,2}В.С. Масленникова, ^{1,2}Е.В. Шелихова, ²А.С. Козлова, ²В.П. Цветкова, ¹К.И. Мосалев

¹Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

²ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

E-mail: vera.cvetkova.23.05@mail.ru

Для цитирования: Мониторинг вирусов картофеля Алтайского края и их влияние на морфометрические и биохимические показатели растений / К.А. Табанюхов, В.С. Масленникова, Е.В. Шелихова, А.С. Козлова, В.П. Цветкова, К.И. Мосалев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 116–123. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-116-123.

Ключевые слова: мониторинг, вирусы картофеля, Алтайский край, ОТ-ПЦР, морфологические и биохимические показатели.

Реферат. Картофель является одной из важнейших продовольственных культур, наиболее восприимчивых к заболеваниям, в том числе вирусным. Они могут приводить к существенным потерям урожая (до 30–80 %), а в случае поражения несколькими вирусами данный ущерб увеличивается. В статье представлены результаты оценки вирусного заражения семенного картофеля в Алтайском крае (по 10 проб картофеля из Кытмановского, Первомайского районов и г. Барнаул) и его влияния на морфометрические и биохимические показатели растений. Наличие вирусов (X, Y, M, A, S, вирус скручивания листьев и вириод веретеновидности клубней) в пробах определяли методом ОТ-ПЦР с использованием набора реагентов «СИНТОЛ». Определение биохимических показателей: концентрации хлорофилла а и b, малонового диальдегида, активность пероксидазы осуществляли спектрофотометрически. Максимальная частота встречаемости в районах области была отмечена для двух вирусов – PVY, PVS. На сортах Колумба и Джувел распространенность вируса Y достигала 100 %, вируса S – 90–100 %. Вириод веретеновидности клубней (карантинный объект), вирус скручивания листьев и вирус A отсутствовали во всех исследованных образцах. При оценке морфометрических показателей выявлено снижение количества листьев в 1,4 раза, пораженном вирусом Y, относительно безвирусных растений (сорт Колумба). На сорте Гала комбинация вирусов Y+S вызвала у растений измельчение листовых пластинок и увеличение количества листьев в 1,9 раза. Поражение вирусом S сорта Гала приводило к повышению концентрации МДА в 1,27 и активности пероксидазы в 1,26 раза. Комбинированная вирусная инфекция (PVY + PVS) усиливала негативный эффект, наблюдаемый при монозаражении.

MONITORING OF POTATO VIRUSES IN THE ALTAI REGION AND THEIR INFLUENCE ON MORPHOMETRIC AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF PLANTS

^{1,2}K.A. Tabanyukhov, ^{1,2}V.S. Maslennikova, ^{1,2}E.V. Shelikhova, ²A.S. Kozlova, ²V.P. Tsvetkova, ¹K.I. Mosalev

¹Federal research center of fundamental and translational medicine, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Agriculural University, Novosibirsk, Russia

E-mail: vera.cvetkova.23.05@mail.ru

Keywords: monitoring, potato viruses, Altai region, RT-PCR, morphological and biochemical parameters.

Abstract. Potatoes are one of the most important food crops, and most susceptible to diseases, including viral ones. They can lead to significant yield losses (up to 30-80 %), and in the case of infection by several viruses, this damage increases. The article presents the results of evaluation of viral infection of seed potatoes in Altai Territory (10 potato samples from Kytmanovsky, Pervomaisky districts and Barnaul city) and its influence on morphometric and biochemical parameters of plants. The presence of viruses (X, Y, M, A, S, leafroll virus and tuber spindle viroid) in the samples was determined by RT-PCR using a 'SINTOL' set of reagents. Biochemical parameters: chlorophyll a and b concentrations, malonic dialdehyde, peroxidase activity were determined spectrophotometrically. The maximum frequency of occurrence in the districts of the region was observed for two viruses - PVY, PVS. On varieties Colomba and Juwel, the prevalence of Y virus reached 100 %, S virus - 90-100 %. Tuber spindle viroid

(quarantine object), leafroll virus and A virus were absent in all tested samples. Evaluation of morphometric indices revealed a 1.4-fold decrease in the number of leaves affected by virus Y, relative to virus-free plants (variety Colombo). On the variety Gala, the combination of Y+S viruses caused in plants a reduction of leaf plates and an increase in the number of leaves by 1.9 times. S virus infection of Gala variety resulted in a 1.27-fold increase in MDA concentration and a 1.26-fold increase in peroxidase activity. Combined virus infection (PVY + PVS) enhanced the negative effect observed with mono-infection.

Серьезной проблемой картофелеводства является деградация семенного картофеля, вызванная вирусными заболеваниями. Вирусы вызывают разнообразные патологические изменения в организме растений. В первую очередь это негативные изменения в физиологии и биохимии клеток и тканей. Большинство вирусов угнетает рост, приводит к «карликовости», вызывает деформацию органов растений, некоторые штаммы вызывают некрозы на клубнях [1]. Смешанная вирусная инфекция может привести к еще более серьезному ущербу и снижению урожайности [2, 3]. Внешние признаки поражения сопровождаются гистологическими и цитологическими изменениями у растений [4]. Многочисленные исследования подтверждают, что целлюлоза и лигнин клеточной стенки растений играют основную роль в защите растения от инфекций [5, 6]. На сосудах могут появляться лигнифицированные участки, в ряде случаев флоэма дегенерирует [7].

При заражении вирусами активизируются клетки меристемы или отмечается избыточный рост ксилемы. На сегодняшний день сообщается, что по меньшей мере 39 вирусов растений были обнаружены в клетках, связанных с ксилемой различных хозяев, включая картофель [8].

Наиболее распространенным вирусным симптомом является хлороз листьев, отражающий структурные изменения хлоропластов. Влияние вируса на структуры и функции хлоропластов обычно приводит к истощению фотосинтетической активности [9, 10]. Ряд вирусов подавляет развитие органелл клеток: в хлоропластах могут появляться пузырьки, часто изменяется форма митохондрий [11]. Возможно также уменьшение интенсивности фиксации углерода, количества и активности некоторых фракций белка, хлорофилла и содержания хлоропластных рибосом. Часто снижается интенсивность образования крахмала [12], регистрируется увеличение интенсивности дыхания, изменение количества ферментов и их активности [13].

Одним из проявлений успешного иммунного ответа является реакция сверхчувствительности, при которой ограничение патогенов местом

заражения связано с локализованной программируемой клеточной смертью [14]. Реакции предшествует ряд биохимических и клеточных сигналов, одним из самых ранних признаков которых является быстрое и интенсивное производство активных форм кислорода [15–17]. Так, показано, что вирусная инфекция стимулирует активность дегидраз, которые влияют на начальные фазы дыхания, при этом активность пероксидазы пораженных растений увеличивается [18]. При заражении табака вирусом табачной мозаики наблюдается повышение активности дыхания, тогда как после воздействия вирусной инфекции на растения свеклы и картофеля выявлено повышение окислительной активности [19].

И.В. Киргизовой представлены результаты исследований по изучению физиологического ответа микроклонов картофеля (*S. tuberosum* L.) в ответ на инфицирование мозаичным вирусом картофеля PVS. Показано, что антиоксидантная система может быть использована в качестве маркерных признаков для ранжирования картофеля по данному признаку и проведения дальнейших селекционных работ [20]. Однако влияние вирусов и их комбинаций на биохимические показатели растений картофеля остается малоизученным.

Цель работы – оценка морфометрических и биохимических показателей растений картофеля, зараженного вирусами и их комбинациями.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены в 2024 г. на базе лаборатории биологической защиты растений и биотехнологии НГАУ и лаборатории исследования вирусных заболеваний растений и животных ФИЦ ФТМ, Новосибирская область, Россия. Образцы были отобраны в соответствии с ГОСТ 33996–2016, ФГБУ «Россельхозцентр» по Алтайскому краю. Клубни картофеля каждого сорта культивировали в пластиковых горшках (объемом 0,7 л) в боксах при температуре +24±1 °С, фотопериоде 16/8 ч: свет/темнота.

Определение вирусов в образцах картофеля. Оценка содержания патогенов в образцах картофеля осуществлялась методом ПЦР-анализа в реальном времени. Исследовали сто растений (по 10 проб с каждого сорта) картофеля *S. tuberosum* из Кытмановского (сорта Мемфис (Memphis), PC1; Ривьера (Riviera), PC1; Гала (Gala), PC1; Коломба (Colomba), PC1, Первомайского (сорта Ривьера, PC1; Ред Скарлетт (Red Scarlett), PC1) районов Алтайского края и г. Барнаул (сорта Джувел (Jewel), PC1; Гала, PC1 и PC2; Коломба, PC2). Пробы листьев для определения вирусной нагрузки отбирали на четвёртую неделю после посадки с верхнего, среднего и нижнего ярусов растений. Выделение вирусной РНК из собранных листьев картофеля проводили с использованием набора «ФитоСорб» на магнитных частицах компании ООО «Синтол» в соответствии с рекомендациями производителя. Анализ РНК проводили на амплификаторе Rotor-Gene Q (QIAGEN, Германия). Наличие вирусов в образцах листьев картофеля определяли с использованием набора реаген-

тов «Синтол» PV-005 (вирус X (PVX), вирус Y (PVY), вирус M (PVM), вирус скручивания листьев (PLRV), вирус A (PVA), вирус S (PVS) и вириод веретеновидности клубней (PSTVd)).

Определение биохимических показателей осуществляли на спектрофотометре Thermo Scientific Varioskan LUX (THERMO FISHER Scientific, США) с использованием 96-луночных планшетов (АО «Фирма Медполимер», Россия). Пробы гомогенизировали с помощью MagNA Lyser (ROCHE, Швейцария). Активность пероксидазы определяли по образованию продукта реакции – тетрагвая-кола за счет увеличения оптической плотности при 470 нм, ежесекундно в течение 270 с [21]. Концентрацию малонового диальдегида (МДА) – в реакции с 2-тиобарбитуровой кислотой [22]. Хлорофилл а определяли при 665 нм, хлорофилл b – при 649 нм. Концентрации хлорофиллов а и b в вытяжке рассчитывали по формуле Вернона [23]. Биохимические и морфометрические показатели анализировали у 79 растений из партий сортов Коломба и Гала (табл. 1).

Таблица 1

Количество растений, зараженных вирусами и их комбинациями
Number of plants infected with viruses and their combinations

Сорт	Кол-во растений и виды вирусов				Общее число растений
Коломба	Нет вирусов	PVY		PVY + PVS	20
	6	4		10	
Гала	Нет вирусов	PVS	PVM	PVY + PVS	59
	41	9	5	4	

Данные исследований обработаны с использованием программ Microsoft Office Excel и STATISTICA 8. Проводили попарное сравнение морфометрических и биохимических показателей у растений, зараженных вирусами, и безвирусных растений. Для этого использовали непараметрический U-критерий Манна–Уитни ввиду ненормального распределения данных и малого числа наблюдений в исследуемых группах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного мониторинга было выявлено, что наиболее часто в районах Алтайского края встречались вирусы Y и S (табл. 2). PVY обнаруживался во всех исследуемых районах и поражал все сорта картофеля. Наиболее

высокий уровень инфицирования PVY был выявлен на сорте Джувел (г. Барнаул) и Коломба (Кытмановский район). На тех же сортах была выявлена высокая распространенность вируса S картофеля (90,0–100,0 %). Вирус X встречался в образцах Первомайского района и г. Барнаул, однако его распространенность была на уровне 10,0 %. Наибольшая вирусная нагрузка (PVX, PVY, PVM, PVS) была выявлена на сорте Джувел. Вириод веретеновидности клубней картофеля (карантинный объект), вирус скручивания листьев и вирус A отсутствовали у всех протестированных образцов.

Своевременный мониторинг вирусов картофеля, а также использование для посадки безвирусного семенного материала может существенно снизить уровень зараженности вирусами и сохранить урожайность картофеля.

Таблица 2

Распространенность вирусов картофеля по районам Алтайского края, %
Prevalence of potato viruses by regions of Altai region, %

Сорт	Вирус картофеля						
	PVX	PVY	PVM	PLRV	PVA	PVS	PSTVd
Кытмановский район							
Мемфис, РС1	–	60,0	10,0	–	–	10,0	–
Ривьера, РС1	–	–	–	–	–	–	–
Гала, РС1	–	5,0	–	–	–	–	–
Коломба, РС1	–	100,0	–	–	–	90,0	–
Первомайский район							
Ривьера, РС1	10,0	10,0	10,0	–	–	–	–
Ред Скарлетт, РС1	–	80,0	–	–	–	–	–
г. Барнаул							
Джувел, РС1	10,0	100,0	50,0	–	–	100,0	–
Гала, РС1	–	–	–	–	–	5,0	–
Коломба, РС2	–	40,0	–	–	–	10,0	–
Гала, РС2	–	40,0	–	–	–	100,0	–

Измерения морфометрических показателей через четыре недели после посадки клубней показали, что в варианте, зараженном PVY, происходило снижение количества листьев на сорте Коломба относительно безвирусных растений в

1,4 раза (табл. 3). При этом на данном сорте не выявлено статистически достоверных различий между безвирусными и зараженными растениями по длине надземной части и количеству стеблей.

Таблица 3

Морфометрические показатели картофеля при заражении вирусами
Morphometric parameters of potato during virus infection

Сорт	Вариант	Длина надземной части, см	Кол-во стеблей, шт.	Кол-во листьев, шт.
Гала	Без заражения	14,47	3,41	17,90
	PVS	16,16	2,66	22,44
	PVM	14,20	3,20	16,80
	PVY + PVS	15,00	3,25	35,00**
Коломба	Без заражения	8,00	2,66	13,83
	PVY	8,50	2,50	9,75*
	PVY + PVS	10,30	3,30	15,30

* – достоверность различий по сравнению с группой «Без заражения» $p < 0,05$;

** – достоверность различий по сравнению с группой «Без заражения» $p < 0,01$.

При заражении комбинацией вирусов PVY + PVS на сорте Гала количество листьев увеличилось относительно безвирусных в 1,9 раза ($p \leq 0,01$). Однако присутствие данной комбинации вирусов вызывало измельчение листовых пластинок (рисунок), ненормальную пролиферацию

боковых побегов, их деформацию, что приводило к уменьшению площади ассимиляционной поверхности. Количество стеблей на обоих сортах достоверно не отличалось между вариантами с заражением вирусами и безвирусными растениями.



Листья картофеля: *a* – монозаражение PVY, *b* – заражение комбинацией вирусов PVY + PVS
 Potato leaves: *a* – mono-infection with PVY, *b* – infection with a combination of PVY + PVS viruses

При количественной оценке фотосинтетических пигментов на сорте Гала, пораженном вирусами М и S, наблюдается тенденция снижения концентрации хлорофилла *b*, однако достоверных отличий между группами сравнения обнаружено не было (табл. 4). При этом ранее Kereša и другими исследователями показано, что картофель, зараженный комбинацией вирусов PVM + PVS,

имел меньшее количество и вес клубней, чем растения с одиночным заражением PVM. Результаты исследований указывают на выраженное негативное влияние PVS при коинфекции с PVM [24].

На раннеспелом сорте Коломба статистически значимых различий по концентрации МДА и активности пероксидазы не установлено.

Таблица 4

Биохимические показатели картофеля при заражении вирусами
 Biochemical parameters of potato during virus infection

Сорт	Вариант	Концентрация хлорофилла, мг/л		Концентрация МДА, мкМ/1 г сырой массы	Активность пероксидазы, усл.ед./1 г сырой массы
		<i>a</i>	<i>b</i>		
Гала	Без заражения	14,40	8,21	3,24	1,48
	PVS	14,30	7,48	4,12**	1,86*
	PVM	12,47	7,79	4,02	1,71
	PVY + PVS	13,81	9,04	4,89**	2,04*
Коломба	Без заражения	13,52	6,61	4,59	1,40
	PVY	12,52	5,74	5,78	1,86
	PVY + PVS	13,49	6,47	5,26	1,41

* – достоверность различий по сравнению с группой «Без заражения» $p < 0,05$;

** – достоверность различий по сравнению с группой «Без заражения» $p < 0,01$.

Установлено, что вирусное заражение вызывает в листьях картофеля сорта Гала окислительный стресс, выявленный по накоплению

МДА и усилению активности пероксидазы. Активирование пероксидазы является характерной биохимической реакцией, по которой судят

об устойчивости растений [25]. На растениях среднераннего сорта Гала, пораженных PVS, концентрации МДА и пероксидазы были выше относительно безвирусных в 1,27 ($p < 0,01$) и 1,26 ($p < 0,05$) раз соответственно. При монозаражении вирусом М наблюдались те же тенденции. При этом комбинированное вирусное заражение (PVS + PVM) приводило к более тяжелому протеканию болезни, которое выражалось в увеличении концентрации МДА в 1,5 ($p < 0,01$) раза, и активности пероксидазы – в 1,38 ($p < 0,05$) раза. Изменение уровня МДА – продукта перекисного окисления липидов – является одним из маркеров интенсивности окислительного стресса у растений. По величине данного показателя можно судить о негативном влиянии вирусного заражения в отношении клеточных мембран растений картофеля [26]. Однако патофизиологические процессы при комбинированной вирусной инфекции нуждаются в дальнейшем изучении.

ВЫВОДЫ

1. Анализ распространенности вирусных болезней в клубнях картофеля показал, что чаще

все растения заражались PVY и PVS, которые встречались во всех районах Алтайского края с частотой от 5 до 100 %. Среди проанализированных образцов не было выявлено различий в распространении вирусов, связанных с сортоустойчивостью и репродукцией. Наиболее высокий уровень инфицирования PVY был выявлен на раннеспелых сортах Джувел и Коломба. Карантинный объект – вириод веретеновидности клубней картофеля отсутствовал у всех образцов.

2. Вирусы вызывали разнообразные патологические изменения в растениях картофеля: деформацию и снижение количества листьев на сорте Коломба в 1,4 раза и в то же время увеличение их количества на сорте Гала в 1,9 раза относительно безвирусных растений. По количеству стеблей и длине надземной части на обоих сортах достоверных различий не отмечено.

3. Сочетанная вирусная инфекция усиливала негативный эффект, наблюдаемый при монозаражении, и нарушала рост растений сорта Гала. Коинфекция вызывала стресс, приводящий к повышению активности пероксидазы (в 1,38 раза) и концентрации малонового диальдегида (1,5 раза) по сравнению с безвирусными растениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокофьев Л.С., Кинчарова М.Н. Распространение, вредоносность и особенности проявления штаммов вируса PVY картофеля в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник защиты растений. – 2012. – № 3. – С. 38–44.
2. Faccioli G. Control of potato viruses using meristem and stem-cutting cultures, thermotherapy, and chemotherapy // Virus and virus-like diseases of potatoes and seed potatoes, ed. G. Loebenstein, P.H. Berger, A.A. Brunt, and R.G. Lawson. – 2001. – P. 365–390.
3. Павлова Е.А. Диагностика скрытой вирусной инфекции картофеля – важный этап семеноводства // Защита и карантин растений. – 2014. – № 2. – С. 15–16.
4. Gergerich R.C., Dolja V.V. Introduction to plant Viruses, the invisible foe // Plant Health Instr. – 2006. – 414. – P. 1. – DOI: 10.1094/PHI-I-2006-0414-01.
5. Liu Q., Luo L., Zheng L. Lignins: biosynthesis and biological functions in plants // Int. J. Mol. Sci. – 2018. – № 19. – P. 335. – DOI: 10.3390/ijms19020335.
6. Meents M.J., Watanabe Y., Samuels A.L. The cell biology of secondary cell wall biosynthesis // Ann. Bot. – 2018. – № 121. – P. 1107–1125. – DOI: 10.1093/aob/mcy005.
7. Kozielec E., Otulak-Kozielec K., Bujarski J.J. Plant Cell Wall as a Key Player During Resistant and Susceptible Plant-Virus Interactions // Front. Microbiol. – 2021. – № 12. – P. 656809. – DOI: 10.3389/fmicb.2021.656809.
8. Sun Y.D., Spellman-Kruse A., Folimonova S.Y. Blaze a New Trail: Plant Virus Xylem Exploitation // Int J Mol Sci. – 2022. – № 23(15). – P. 8375. – DOI: 10.3390/ijms23158375.
9. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. *tsatsai*) after turnip mosaic virus infection / D.-P. Guo, Y.-P. Guo, J.-P. Zhao [et al.] // Plant Sci. – 2005. – № 168. – P. 57–63. – DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.07.019.
10. The symptomless leaf infection with grapevine leafroll associated virus 3 in grown in vitro plants as a simple model system for investigation of viral effects on photosynthesis / I. Christov, D. Stefanov, T. Velinov [et al.] // J. Plant Physiol. – 2007. – № 164. – P. 1124–1133. – DOI: 10.1016/j.jplph.2005.11.016.
11. Hong J.S., Ju H.J. The Plant Cellular Systems for Plant Virus Movement // Plant Pathol J. – 2017. – № 33(3). – P. 213–228. – DOI: 10.5423/PPJ.RW.09.2016.0198.
12. A Reduced Starch Level in Plants at Early Stages of Infection by Viruses Can Be Considered a Broad-Range Indicator of Virus Presence / W. Zhao, L. Wang, M. Liu [et al.] // Viruses. – 2022. – № 14(6). – P. 1176. – DOI: 10.3390/v14061176.

13. Jiang T., Zhou T. Unraveling the Mechanisms of Virus-Induced Symptom Development in Plants // *Plants* (Basel). – 2023. – № 12(15). – P. 2830. – DOI: 10.3390/plants12152830.
14. *Staying alive* – is cell death dispensable for plant disease resistance during the hypersensitive response? / A. Künstler, R. Bacsó, G. Gullner [et al.] // *Physiol. Mol. Plant Pathol.* – 2016. – № 93. – P. 75–84. – DOI: 10.1016/j.pmpp.2016.01.003.
15. Balint-Kurti P. The plant hypersensitive response: concepts, control and consequences // *Mol. Plant Pathol.* – 2019. – № 20. – P. 1163–1178. – DOI: 10.1111/mp.12821.
16. Biochemical characterization of oxidative stress in the compatible interaction between Pepper golden mosaic virus and habanero pepper plants / C. Aguilar-Sánchez, Y. Minero-García, C. Hernández-Zepeda, O. Moreno-Valenzuela // *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology.* – 2022. – № 40. – DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.2111-1.
17. Oxidative stress and antioxidative responses in plant–virus interactions / J.A. Hernández, G. Gullner, M.J. Clemente-Moreno [et al.] // *Physiological and Molecular Plant Pathology.* – 2016. – № 94. – P. 134–148. – DOI: 10.1016/j.pmpp.2015.09.001.
18. Hull R. *Plant virology*. 5th ed. – London: Academic Press. – 2014. – 1118 p. – DOI: 10.1016/C2010-0-64974-1.
19. Plant protection from virus: a review of different approaches / I. Anikina, A. Kamarova, K. Issayeva [et al.] // *Front. Plant Sci.* – 2023. – № 14. – P. 1163270. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1163270.
20. Кургузова И.В., Калашикова Е.А. Физиологические особенности реакции микроклонов картофеля (*S. tuberosum* L.) на заражение вирусом картофеля S // *Естественные и технические науки.* – 2022. – № 8(171). – С. 34–38.
21. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош [и др.]. – Л.: Агропромиздат, 1987. – С. 44–45.
22. Stewart R.R.C., Bewley J.D. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes // *Plant Physiol.* – 1980. – № 65. – P. 245–248.
23. Мякишева Е.П., Соколова Г.Г. Влияние качества света на содержание фотосинтетических пигментов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре in vitro // *Известия Алтайского государственного университета.* – 2014. – № 3–2(83). – С. 46–49. – DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.2-08.
24. Partial Elimination of Viruses from Traditional Potato Cultivar ‘Brinjak’ by Chemotherapy and Its Impact on Physiology and Yield Components / S. Kereša, D. Vončina, B. Lazarević [et al.] // *Horticulturae.* – 2022. – № 8. – P. 1013. – DOI: 10.3390/horticulturae8111013.
25. Оценка защитных реакций различных генотипов томата при инфицировании вирусными агентами / Л.И. Мэрий, Л.И. Андроник, С.В. Смеря, И.Ф. Ерхан // *Овощи России.* – 2021. – № 1. – С. 125–129. – DOI: 10.18619/2072-9146-2021-1-125-129.
26. Влияние биопрепаратов на активность стрессовых ферментов и концентрацию малонового диальдегида в растениях картофеля при вирусном инфицировании / О.А. Кучерявенко, И.Г. Будзанивская, А.В. Пирог, О.А. Дмитрук // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* – 2018. – № 4(162). – С. 22–28.

REFERENCES

1. Prokofiev L.S., Kincharova M.N., *Vestnik zashchity rasteniy*, 2012, No. 3, pp. 38–44. (In Russ.)
2. Faccioli G., Control of potato viruses using meristem and stem-cutting cultures, thermotherapy, and chemotherapy, *Virus and virus-like diseases of potatoes and seed potatoes*, ed. G. Loebenstein, P.H. Berger, A.A. Brunt, and R.G. Lawson, 2001, pp. 365–390.
3. Pavlova E.A., *Zashchita i karantin rasteniy*, 2014, № 2, P. 15–16. (In Russ.)
4. Gergerich R.C., Dolja V.V., Introduction to plant Viruses, the invisible foe, *Plant Health Instr*, 2006, 414, pp. 1, DOI: 10.1094/PHI-I-2006-0414-01.
5. Liu Q., Luo L., Zheng L., Lignins: biosynthesis and biological functions in plants, *Int. J. Mol. Sci.*, 2018, No. 19, pp. 335, DOI: 10.3390/ijms19020335.
6. Meents M.J., Watanabe, Y., Samuels A.L., The cell biology of secondary cell wall biosynthesis, *Ann. Bot.*, 2018, No. 121, pp. 1107–1125, DOI: 10.1093/aob/mcy005.
7. Kozieł E., Otulak-Kozieł K., Bujarski J.J., Plant Cell Wall as a Key Player During Resistant and Susceptible Plant-Virus Interactions, *Front. Microbiol.*, 2021, No. 12, pp. 656809, DOI: 10.3389/fmicb.2021.656809.
8. Sun Y.D., Spellman-Kruse A., Folimonova S.Y., Blaze a New Trail: Plant Virus Xylem Exploitation, *Int J Mol Sci.*, 2022, No. 23 (15), pp. 8375, DOI: 10.3390/ijms23158375. PMID: 35955508; PMCID: PMC9368924.
9. Guo D.-P., Guo Y.-P., Zhao J.-P. [et al.], Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. tsatsai) after turnip mosaic virus infection, *Plant Sci.*, 2005, No. 168, pp. 57–63, DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.07.019.

10. Christov I., Stefanov D., Velinov T., Goltsev V. [et al.], The symptomless leaf infection with grapevine leafroll associated virus 3 in grown in vitro plants as a simple model system for investigation of viral effects on photosynthesis, *J. Plant Physiol.*, 2007, No. 164, pp. 1124–1133, DOI: 10.1016/j.jplph.2005.11.016.
11. Hong J.S., Ju H.J., The Plant Cellular Systems for Plant Virus Movement, *Plant Pathol. J.*, 2017, No. 33(3), pp. 213–228, DOI: 10.5423/PPJ.RW.09.2016.0198.
12. Zhao W., Wang L., Liu M., Zhang D., Andika I.B., Zhu Y., Sun L., A Reduced Starch Level in Plants at Early Stages of Infection by Viruses Can Be Considered a Broad-Range Indicator of Virus Presence, *Viruses*, 2022, No. 14(6), pp. 1176, DOI: 10.3390/v14061176.
13. Jiang T., Zhou T., Unraveling the Mechanisms of Virus-Induced Symptom Development in Plants, *Plants (Basel)*, 2023, No. 12(15), pp. 2830, DOI: 10.3390/plants12152830.
14. Künstler A., Bacsó R., Gullner G., Hafez Y.M., Király L., Staying alive – is cell death dispensable for plant disease resistance during the hypersensitive response? *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 2016, No. 93, pp. 75–84, DOI: 10.1016/j.pmpp.2016.01.003.
15. Balint-Kurti P., The plant hypersensitive response: concepts, control and consequences, *Mol. Plant Pathol.*, 2019, No. 20, pp. 1163–1178, DOI: 10.1111/mpp.12821.
16. Aguilar-Sánchez C., Minero-García Y., Hernández-Zepeda C., Moreno-Valenzuela O., Biochemical characterization of oxidative stress in the compatible interaction between Pepper golden mosaic virus and habanero pepper plants, *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 2022, No. 40, DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.2111-1.
17. Hernández J.A., Gullner G., Clemente-Moreno M.J. [et al.], Oxidative stress and antioxidative responses in plant–virus interactions, *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2016, No. 94, pp. 134–148, DOI: org/10.1016/j.pmpp.2015.09.001.
18. Hull R., *Plant virology*, 5th ed., London: Academic Press, 2014, 1118 p., DOI: 10.1016/C2010-0-64974-1.
19. Anikina I., Kamarova A., Issayeva K. [et al.], Plant protection from virus: a review of different approaches, *Front. Plant Sci.*, 2023, No. 14, pp. 1163270, DOI: 10.3389/fpls.2023.1163270.
20. Kirgizova I.V., Kalashnikova E.A., *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2022, No. 8 (171), pp. 34–38. (In Russ.)
21. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. [et al.], *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* (Methods of biochemical research of plants), Leningrad: Agropromizdat, 1987, pp. 44–45.
22. Stewart R.R.C., Bewley J.D., Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes, *Plant Physiol.*, 1980, No. 65, pp. 245–248.
23. Myakisheva E.P., Sokolova G.G., *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No. 3–2(83), pp. 46–49, DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.2-08. (In Russ.)
24. Kereša S., Vončina D., Lazarević B. [et al.], Partial Elimination of Viruses from Traditional Potato Cultivar ‘Brinjak’ by Chemotherapy and Its Impact on Physiology and Yield Components, *Horticulturae*, 2022, No. 8, pp. 1013, DOI: 10.3390/horticulturae8111013.
25. Meriy L.I., Andronik L.I., Smerya S.V., Erhan I.F., *Ovoshchi Rossii*, 2021, No. 1, pp. 125–129, DOI: 10.18619/2072-9146-2021-1-125-129. (In Russ.)
26. Kucheryavenko O.A., Budzanivskaya I.G., Pirog A.V., Dmitruk O.A., *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 4 (162), pp. 22–28. (In Russ.)

Информация об авторах:

К.А. Табанюхов, младший научный сотрудник
 В.С. Масленникова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
 Е.В. Шелихова, младший научный сотрудник
 А.С. Козлова, аспирант
 В.П. Цветкова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
 К.И. Мосалев, младший научный сотрудник

Contribution of the authors:

K.A. Tabanyukhov, minor researcher
 V.S. Maslennikova, PhD in agricultural sciences, researcher
 E.V. Shelikhova, minor researcher
 A.S. Kozlova, PhD student
 V.P. Tsvetkova, PhD in agricultural sciences, associate professor
 K.I. Mosalev, minor researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЗНАЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РЕГУЛЯЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ХИЩНОГО КЛОПА *PODISUS MACULIVENTRIS*

Е.И. Шаталова, И.В. Андреева, А.В. Ходакова

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск
Новосибирской обл., Россия

E-mail: elenashatalova@mail.ru

Для цитирования: Шаталова Е.И., Андреева И.В., Ходакова А.В. Значение экологических факторов в регуляции численности колорадского жука при использовании хищного клопа *Podisus maculiventris* // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 124–133. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-124-133.

Ключевые слова: энтомофаг, подизус, колорадский жук, картофель, способ выпуска, биологическая эффективность, поврежденность, урожайность, экологические факторы.

Реферат. Начиная с середины прошлого столетия в различных регионах мира известна практика применения хищного клопа *Podisus maculiventris* для защиты пасленовых культур от вредителей. В условиях Сибирского региона до настоящего времени использование подизуса для регуляции численности колорадского жука не нашло широкого применения, что связано как с доступностью на рынке средств защиты растений самого энтомофага, так и с необходимостью отработки методов и условий его применения при производстве органической продукции растениеводства. В работе представлены сведения о влиянии экологических факторов на динамику численности колорадского жука, выживаемость и эффективность его энтомофага на цветном сорте картофеля *Rosemaria*. В годы проведения исследований количество генераций фитофага, развивающихся за вегетационный сезон, зависело от температурного фактора. В 2023 г. была отмечена высокая численность второго поколения колорадского жука, обусловленная более теплыми условиями этого вегетационного периода, в то время как в 2022 г. яйцекладки и личинки второго поколения были единичными. Отмечено влияние локальных погодных условий на выживаемость выпускаемых в открытый грунт особей подизуса и, как следствие, на его регуляторную активность. Выявлены различия по эффективности энтомофага в зависимости от способа его выпуска. При равномерном расселении нимф *P. maculiventris* по растениям наблюдалось снижение поврежденности листьев колорадским жуком и увеличение его биологической эффективности по сравнению с вариантом выпуска подизуса в одну точку. Максимальная эффективность подизуса была отмечена на 7 сут после его повторного выпуска и составляла 87,8 и 90,9 % в 2023 и 2022 гг. соответственно в варианте с равномерным распределением энтомофага по растениям, в то время как при выпуске в контрольную точку биологическая эффективность была на уровне 63,8 и 64,4 %. Урожайность картофеля в вариантах с использованием хищного клопа была в 1,3–1,5 раза выше по сравнению с контролем и варьировала от 124,3±6,6 до 149,9±6,5 ц/га в зависимости от года исследований и способа выпуска энтомофага.

IMPORTANCE OF ECOLOGICAL FACTORS IN THE REGULATION OF COLORADO POTATO BEETLE POPULATIONS USING THE PREDATORY BUG *PODISUS MACULIVENTRIS*

E.I. Shatalova, I.V. Andreeva, A.V. Khodakova

Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

E-mail: elenashatalova@mail.ru

Keyword: entomophage, podisus, Colorado potato beetle, potato, method of release, biological efficiency, damage, yield, environmental factors.

Abstract. Since the middle of the last century, the practice of using the predatory bug *Podisus maculiventris* to protect nightshade crops from pests has been known in various regions of the world. In the conditions of the Siberian region, the use of *Podisus* to regulate the number of Colorado potato beetles has not found wide application to date, which is due to both the availability of the entomophage itself on the market of plant protection products and the

*need to develop methods and conditions for its use in the production of organic plant products. The paper presents information on the influence of environmental factors on the dynamics of the Colorado potato beetle population, the survival rate and the effectiveness of its entomophage on the colored potato variety Rosemaria. During the years of research, the number of phytophage generations developing during the growing season depended on the temperature factor. In 2023, a high number of the second generation of the Colorado potato beetle was noted, due to the warmer conditions of this growing season, while in 2022, egg-laying and second-generation larvae were single. The influence of local weather conditions on the survival of podisus individuals released into open ground and, as a consequence, on its regulatory activity was noted. Differences in the effectiveness of the entomophage depending on the method of its release were revealed. With uniform dispersal of *P. maculiventris* nymphs over plants, a decrease in leaf damage by the Colorado potato beetle and an increase in its biological effectiveness were observed compared to the option of releasing podisus at one point. The maximum effectiveness of podisus was noted on the 7th day after its repeated release and was 87.8 and 90.9 % in 2023 and 2022, respectively, in the variant with uniform distribution of the entomophage among plants, while when released at the control point, the biological efficiency was at the level of 63.8 and 64.4 %. The potato yield in the variants using the predatory bug was 1.3-1.5 times higher compared to the control and varied from 124.3 ± 6.6 to 149.9 ± 6.5 c/ha depending on the year of research and the method of release of the entomophage.*

Размножение и развитие насекомых обусловлено влиянием разнообразных факторов окружающей среды. Абиотические факторы, преимущественно температурные, играют, как правило, ключевую роль в выживаемости, скорости развития, поведении и динамике численности насекомых, поскольку они являются пойкилотермными организмами [1]. Изменения климатических условий, наблюдаемые в последнее время в разных регионах мира, зачастую приводят к трансформации фитосанитарной обстановки в агро- и биоценозах, связанную с изменением популяционной динамики и вредоносностью некоторых фитофагов [2, 3], что, в свою очередь, оказывает прямое влияние на их естественных врагов [2, 4]. В РФ, в том числе и в Сибири, изменения погодно-климатических условий привели к удлинению вегетационных периодов, повышению теплообеспеченности сельскохозяйственных культур¹, что открывает новые перспективы для использования как аборигенных, так и интродуцированных видов энтомофагов для регуляции численности вредителей в условиях открытого грунта.

Хищные клопы признаны перспективными агентами биологической защиты растений [4–6]. В частности, ранее нами была показана принципиальная возможность использования хищного клопа подизуса (*Podisus maculiventris* Say) североамериканского происхождения, для регуляции численности колорадского жука на картофеле в условиях Сибирского региона [7]. Однако климат Сибири, отличающийся резкими перепадами погодных условий, может оказывать существенное влияние на выживаемость искусственно выпускаемых энтомофагов и, как следствие, на их

эффективность. Другими важными факторами, обуславливающим регуляторную активность энтомофагов являются сроки, способы и нормы их применения, а также пространственно-временное распределение полезных видов насекомых в агроценозах [8–10]. До настоящего времени ручной способ выпуска остается основным при применении энтомофагов, как в открытом, так и в защищенном грунте, для некоторых видов используются механизированные приемы с помощью техники со специальными дозаторами для разбрасывания. Кроме того, из биотических факторов важнейшую роль в регуляторной деятельности энтомофагов играет выбор оптимального соотношения «хищник – жертва», позволяющего эффективно сдерживать распространение вредителей. Количество выпускаемых особей энтомофага может существенно варьировать в зависимости от численности фитофага, защищаемой культуры и других условий [11, 12]. В связи с этим определение норм выпуска энтомофагов, в том числе хищных клопов, имеет исключительно важное значение. Опираясь на биологические особенности, для каждого вида энтомофага целесообразно индивидуально подходить к выбору оптимальных способов и норм выпуска при учете защищаемой культуры и других условий применения [8–10, 13].

Целью наших исследований являлась оценка эффективности хищного клопа *Podisus maculiventris*, используемого для регуляции численности колорадского жука на картофеле, в зависимости от способа и количества выпускаемых особей энтомофага, а также погодных условий вегетационных периодов в Западно-Сибирском регионе.

¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. – М., 2023. – 104 с.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись лабораторная культура подизуса *Podisus maculiventris* Say (Hemiptera: Pentatomidae) из коллекции лаборатории биологического контроля фитофагов и фитопатогенов СФНЦА РАН, а также популяции колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae) в агроценозе картофеля.

Разведение хищного клопа подизуса проводили при постоянных условиях температуры $+25 \pm 1$ °С, влажности воздуха – 70–90 % и 16-часовом световом периоде. Для кормления энтомофага использовали три вида насекомых-жертв – личинок большой вошинной огневки, капустной моли, большого мучного хрущака¹. Для экспериментов использовали нимф подизуса 2–3 возрастов.

Опыты проводили на полевом стационаре СФНЦА РАН в 2022–2023 гг., территориально расположенном в лесостепи Новосибирского Приобья

в районе п. Краснообск Новосибирской области (54.915278 N, 82.978686 E).

Погодно-климатические условия вегетационных периодов, во время которых проводились исследования, отличались от среднемноголетних значений как по температурному режиму, так и по количеству осадков. В 2023 г. превышение нормы по среднемесячной температуре наблюдалось практически во все месяцы вегетационного сезона, 2022 г. по температуре в целом соответствовал среднемноголетним данным, за исключением очень теплого и засушливого мая, когда отклонение от нормы составляло $+4,5$ °С при практическом отсутствии осадков (табл. 1). Дефицит осадков наблюдался в большинстве месяцев обоих вегетационных периодов, особенно остро недостаток осадков прослеживался в мае, который частично восполнялся дождями в отдельные летние месяцы (часто ливнями с грозами). Гидротермический коэффициент Селянинова (далее ГТК) в среднем за вегетационные периоды в агроценозе картофеля в годы проведения исследований составлял 0,6–0,9 в 2022–2023 гг. соответственно.

Таблица 1

Температура воздуха и осадки за вегетационные периоды 2022–2023 гг. по данным ГМС «Огурцово»
Air temperature and precipitation for the growing seasons 2022–2023. by according to GMS «Ogurtsovo»

Месяц	Среднемноголетние значения		Отклонения от нормы, по годам				ГТК, по годам	
	Температура воздуха, °С	Осадки, мм	Температура воздуха, °С		Осадки, %			
			2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.		
Май	+10,9	37	+4,5	-0,2	8	16	0,1	0,2
Июнь	+16,9	55	+0,4	+1,4	109	46	1,1	0,4
Июль	+19,4	61	-0,6	+2,1	71	87	0,8	0,9
Август	+16,2	67	-0,4	+0,9	40	191	0,4	2,1

Опыты закладывали на посадках картофеля цветного сорта Rosemaria согласно методике проведения полевых исследований². Основные элементы технологии возделывания картофеля соответствовали общепринятой для данного района³. Агротехника картофеля включала зяблевую безотвальную обработку, ранневесеннее боронование, культивацию (15–20 см), нарезку гребней. Посадка производилась в борозды с последующим закрытием почвой. Внесение минеральных удобрений (NPK) – согласно агрохимическому

анализу почвы. Предпосадочная обработка клубней во всех вариантах, включая контроль, проведена смесью биопрепаратов Алирин-Б и Гамаир согласно рекомендованным нормам расхода⁴. Уход за посадками включал междурядные обработки, окучивание, уборку.

Схема опытов вегетационных периодов 2022–2023 гг. включала три варианта:

1. Контроль (без проведения защитных мероприятий против колорадского жука).

1 Патент РФ № 2795991 от 16 мая 2023 г. «Способ разведения клопа подизуса *Podisus maculiventris* Say», авторы – Шаталова Е.И., Агриколянская Н.И., Андреева И.В., Ульянова Е.Г., Ходакова А.В.

2 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агроном. специальностям. – М., 2012. – 351 с.

3 Машьянова Г.К., Гринберг Е.Г., Штайнерт Т.В. Овощные культуры и картофель в Сибири. – Новосибирск, 2010. – 523 с.

4 Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ, 2022–2023 гг.

2. Выпуск подизуса равномерно по делянке (далее – равномерно).

3. Выпуск подизуса в контрольную точку в середине делянки (далее – точка).

В 2022 г. учетная площадь делянки составляла 36 модельных растений, в 2023 г. – 54 модельных растения, густота посадки из расчета 35,7 тыс. растений на 1 га, площадь питания 0,4 на 0,7 м. Повторность опытов 3-кратная. Защитными полосами между делянками и по периметру опытного участка служили двухрядный посев пшеницы (2022 г.) и три ряда картофеля (2023 г.). В 2022 г. эксперимент проведен с выравниванием по делянкам количества колорадского жука из резерваций с территории Новосибирской области, в 2023 г. – на естественном фоне заселения вредителем. Наблюдения за фенологией растений и колорадского жука, динамикой численности вредителя в полевых условиях проводили 1–2 раз в неделю.

Учет поврежденности растений колорадским жуком проводили визуально с использованием пятибалльной шкалы:

1 балл – объедено до 5 % листовой поверхности;

2 балла – объедено от 5 до 25 % листовой поверхности;

3 балла – объедено от 25 до 50 % листовой поверхности;

4 балла – объедено от 50 до 75 % листовой поверхности;

5 баллов – объедено более 75 % листовой поверхности.

Выпуск нимф хищного клопа осуществляли 2-кратно: первый выпуск подизуса на опытные делянки в 2022 г. был осуществлен в период массового отрождения личинок колорадского жука (из расчета 108 нимф на делянку), повторный – через 10 сут после первого (216 нимф на делянку). Суммарно на каждую делянку было выпущено по 324 личинок подизуса, что в пересчете на 1 га составило около 200 тыс. В 2023 г. первоначальное количество нимф подизуса из расчета 30 особей на делянку было выпущено во время появления первых яйцекладок вредителя. Второй выпуск энтомофага был осуществлен в период массового отрождения личинок колорадского жука в количестве ста особей подизуса на делянку, что в общей сумме в пересчете на 1 га составляло около 90 тыс. Распределение хищника по делянке осуществляли согласно вариантам опыта. Учеты

численности вредителя и энтомофага проводили с интервалом 2–5 дней после выпуска хищного клопа на посадки картофеля. Биологическая эффективность выпуска энтомофага рассчитана по формуле Аббота¹.

Учет урожайности картофеля проводили путем поделяночного взвешивания клубней с разделением на фракции (для учета товарной продукции) и пересчетом полученных результатов на 1 га.

Различия между вариантами определялись с помощью теста Краскела–Уоллиса с последующим тестом Данна для сравнения с контрольной группой с помощью программы Past 4.03.² Описательная статистика и графики были выполнены с использованием LibreOffice 7.6. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В годы исследований появление жуков перезимовавшего поколения было зафиксировано во второй декаде июня, а начало отрождения личинок вредителя – в третьей декаде июня.

Первый выпуск хищного клопа подизуса на опытные делянки в 2022 г. был проведен 28 июня, когда численность личинок вредителя составляла в среднем от 4,2 до 5,6 особей на растение (рис. 1). После выпуска энтомофага было зафиксировано ухудшение погодных условий – ураганный ветер и ливневые дожди, что привело к низкому заселению делянок выпущенными особями хищного клопа. Так, на 3 сут количество нимф подизуса снизилось в варианте с выпуском из одной точки в 29,5 раза, в варианте с равномерным заселением в 23 раза, а численность вредителя начала увеличиваться за счет отрождения новых личинок из яиц. В связи с этим при повторном выпуске количество выпускаемых особей было увеличено в 2 раза и составило 216 нимф на делянку. Существенное уменьшение количества личинок вредителя в опытных вариантах было отмечено после повторного выпуска энтомофага (восьмое июля) при улучшении погодных условий, при этом достоверные различия вариантов с разными способами выпуска подизуса и контролем отмечали до середины второй декады июля, после чего личинки фитофага стали уходить в почву на окукливание.

1 Abbott W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. – 1925. – № 18. – P. 265–267.

2 Гланц С. Медико-биологическая статистика /пер. англ. Ю.А. Данилов; ред.: Н.Е. Бузикашвили, Д.В. Самойлов. – М.: Практика, 1999. – 459 с.

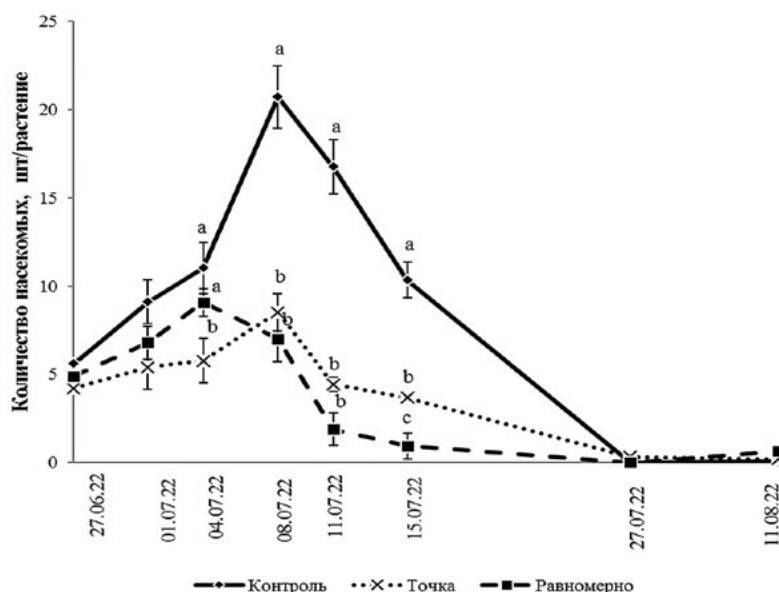


Рис. 1. Численность личинок колорадского жука в полевом эксперименте, СФНЦА РАН, 2022 г. (среднее значение $\pm$ SE). Точка – выпуск клопов из одной точки на делянке; Равномерно – равномерное расселение клопов по растениям. Одинаковыми буквами обозначены статистически не различающиеся значения при $p < 0,05$. Тест Данна использовался в качестве апостериорного анализа для теста Краскела–Уоллиса

Number of Colorado potato beetle larvae in a field experiment, SFNCA RAS, 2022 (mean $\pm$ SE). Point – bug release from one point on the plot; Uniform – uniform distribution of bugs on plants. The same letters indicate statistically indistinguishable values at $p < 0.05$. Dunn's test was used as a post hoc analysis for the Kruskal–Wallis test

В 2023 г. отмечали развитие двух поколений колорадского жука, что, вероятно, связано с превышением температуры во все летние месяцы в сравнении со среднеголетними данными, особенно жарким был июль (см. табл. 1). Коли-

чество имаго фитофага, вышедших из зимовки, не превышало в среднем 5,5 особей на делянку, активная яйцекладка вредителя была отмечена в третьей декаде июня.

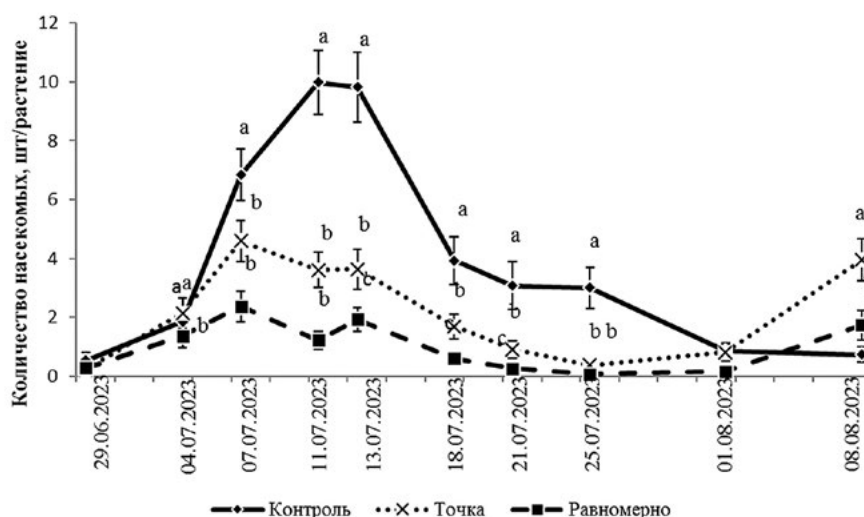


Рис. 2. Численность личинок колорадского жука в полевом эксперименте, СФНЦА РАН, 2023 г. (среднее значение $\pm$ SE). Точка – выпуск клопов из одной точки на делянке; Равномерно – равномерное расселение клопов по растениям ($p \leq 0,05$). Одинаковыми буквами обозначены статистически не различающиеся значения при $p < 0,05$. Тест Данна использовался в качестве апостериорного анализа для теста Краскела–Уоллиса

Number of Colorado potato beetle larvae in a field experiment, SFNCA RAS, 2023 (mean $\pm$ SE). Point – bug release from one point on the plot; Uniform – uniform distribution of bugs on plants ($p \leq 0.05$). The same letters indicate statistically indistinguishable values at $p < 0.05$. Dunn's test was used as a post hoc analysis for the Kruskal–Wallis test

Первый выпуск энтомофага в этом сезоне был проведен 26 июня, повторный – 4 июля. Выпущенные особи энтомофага сдерживали размножение личинок в течение всего периода развития первого поколения колорадского жука: до конца июля (рис. 2).

Использование энтомофага против личинок колорадского жука оказало влияние и на численность следующего поколения вредителя. Статистически значимые отличия между контролем и двумя способами выпуска подизуса были обнаружены при появлении имаго второго

поколения. Так, во время учета 04.08.2022 было зафиксировано сокращение количества взрослых особей колорадского жука в 2,5 раза при выпуске энтомофага из одной точки и в 13,1 раза при равномерном расселении хищного клопа по сравнению с контролем (рис. 3). В дальнейшем фиксировались только единичные яйцекладки и личинки вредителя. В 2023 г. второе поколение вредителя было более многочисленным, по количеству имаго также были зафиксированы различия между контрольным и опытными вариантами.

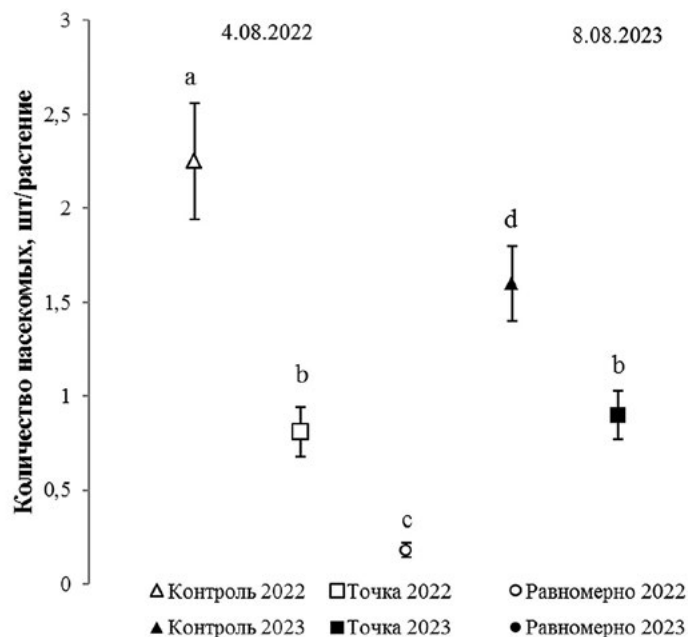


Рис. 3. Численность имаго колорадского жука второго поколения в полевом эксперименте в первую декаду августа, СФНЦА РАН, 2022–2023 гг. (среднее значение $\pm$ SE). Точка – выпуск клопов из одной точки на делянке. Равномерно – равномерное расселение клопов по растениям. Различия показаны внутри одного года. Одинаковыми буквами обозначены статистически не различающиеся значения при $p < 0,05$. Тест Данна использовался в качестве апостериорного анализа для теста Краскела–Уоллиса

Number of second-generation Colorado potato beetle adults in a field experiment in the first ten-day period of August, SFNCA RAS, 2022–2023 (mean $\pm$ SE). Point – bug release from one point on the plot. Uniform – uniform distribution of bugs on plants. Differences are shown within one year. The same letters indicate statistically indistinguishable values at $p < 0.05$. Dunn's test was used as a post hoc analysis for the Kruskal–Wallis test.

Появление личинок второго поколения фитофага в этом сезоне было отмечено в первой декаде августа (см. рис. 2), а в середине месяца их количество заметно увеличилось. При этом в экспериментальных вариантах численность вредителя даже превышала контрольные показатели, что объясняется существенной дефолиацией листового аппарата картофеля на контрольных делянках, с чем и было связано перераспределение личинок на опытные варианты, где облиственность растений была существенно больше.

Биологическая эффективность защитных мероприятий в полевых экспериментах 2022–

2023 гг. была наиболее высокой в варианте с равномерным выпуском энтомофага на опытные делянки и увеличивалась после повторного выпуска хищного клопа (табл. 2). Так, максимальная эффективность подизуса достигалась на 7 сут после его повторного выпуска и составляла в варианте с равномерным выпуском энтомофага 87,8 и 90,9 % в 2023 и 2022 гг. соответственно, в то время как при выпуске в контрольную точку биологическая эффективность энтомофага была на 24–26,5 % меньше.

Таблица 2

Биологическая эффективность хищного клопа *P. maculiventris* в отношении колорадского жука в зависимости от способа выпуска (2022–2023 гг.)
Biological effectiveness of the predatory bug *P. maculiventris* against the Colorado potato beetle depending on the release method (2022–2023)

Вариант опыта	Биологическая эффективность, %		
	7 сут после 1-го выпуска	3 сут после 2-го выпуска	7 сут после 2-го выпуска
2022 г.			
Точка	47,7	73,5	64,4
Равномерно	17,7	88,8	90,9
2023 г.			
Точка	–	32,9	63,8
Равномерно	26,0	65,3	87,8

Примечание. Точка – выпуск энтомофага в контрольную точку; Равномерно – равномерный выпуск энтомофага по деланке.

Поврежденность листового аппарата картофеля определяли однократно в период завершения развития и ухода на окукливание личинок колорадского жука первого поколения, что календарно соответствовало второй декаде июля. В 2022 г. в опытных вариантах балл поврежденности листьев картофеля был достоверно ниже, чем в контроле, что отразилось на урожайности культуры (табл. 3). Так, урожайность картофеля на деланках в пересчете на гектар, где осуществляли выпуск подизуса, в вегетационный период 2022 г. была в 1,5 раза больше по сравнению с

контролем. Во всех вариантах, включая контроль, преобладали средняя и крупная фракции клубней. Сходная тенденция наблюдалась и в опыте 2023 г., где в экспериментальных вариантах урожайность превышала контроль в 1,3 раза, однако достоверных различий не было отмечено как по баллу повреждения растений, так и по урожайности. Отсутствие значимых различий объясняется значительным варьированием полученных данных внутри варианта, связанного, вероятно, с неравномерным распределением вредителя, что характерно для колорадского жука.

Таблица 3

Поврежденность листового аппарата и урожайность картофеля в зависимости от способа выпуска *P. maculiventris*, сорт Rosemaria, 2022–2023 гг.
Damage to leaf apparatus and potato yield depending on the method of release of the *P. maculiventris*, variety Rosemaria, 2022–2023.

Вариант	Поврежденность, балл		Урожайность, по годам исследований, ц/га	
	15.07.2022	18.07.2023	2022	2023
Контроль	2,02±0,1 ^a	1,5±0,12 ^a	100,1±12,54 ^a	92,6±19,9 ^a
Точка	0,79±0,09 ^b	1,4±0,1 ^a	148,3±10,9 ^a	124,3±6,6 ^a
Равномерно	0,59±0,08 ^b	1,2±0,08 ^a	149,9±6,5 ^b	126,5±4,9 ^a

**Примечание.* Точка – выпуск энтомофага в контрольную точку; Равномерно – равномерный выпуск энтомофага по деланке.

Результаты полевых экспериментов показали, что в условиях Сибири хищный клоп подизус может сдерживать численность колорадского жука, однако его эффективность зависит от ряда экологических факторов. Так, в наших экспериментах погодные условия оказывали существенное влияние на динамику численности колорадского жука, выживаемость подизуса и, как следствие, на эффективность энтомофага.

Роль температурного фактора отразилась на количестве поколений вредителя: в 2023 г. была отмечена высокая численность второго поколения фитофага, обусловленная более теплыми условиями этого вегетационного периода. На выживаемость и активность нимф хищного клопа оказывали влияние ливневые дожди, проходившие вскоре после выпусков энтомофага. Так, в 2022 г. количество нимф хищника после проливных

дождей снижалось в 23–29,5 раза в зависимости от варианта по сравнению с числом выпущенных особей. Более высокие температуры вегетационного периода 2023 г. способствовали быстрому развитию личинок энтомофага и его большей активности. В опыте 2023 г. на опытных делянках отмечали линьку на имаго, завершивших свое развитие выпущенных нимф хищного клопа, а также яйцекладки энтомофага нового поколения.

Различные нормы выпуска энтомофага в годы проведения испытаний, обусловленные количеством особей вредителя и абиотическими факторами, также влияли на показатели эффективности энтомофага. Более высокая численность вредителя в 2022 г., а также ухудшение погодных условий после первого выпуска энтомофага, приведшее к гибели значительной части выпущенных нимф подизуса, вызвали необходимость увеличения нормы при втором выпуске энтомофага. Благоприятные погодные условия, установившиеся в период после повторного выпуска энтомофага, способствовали повышению биологической эффективности проведенных защитных мероприятий, снижению поврежденности растений в опытных вариантах и, как следствие этого, увеличению урожайности культуры. Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной значимости биотического фактора (количества особей применяемого энтомофага) в регуляции численности вредителя, однако для разработки рекомендаций по эффективным нормам выпуска хищного клопа *P. maculiventris* для защиты картофеля от колорадского жука в условиях Сибири требуются дальнейшие полевые исследования.

Опыт наших коллег из Краснодарского края свидетельствует о более высокой эффективности *P. maculiventris* при его выпуске в период массовой яйцекладки колорадского жука [14]. В связи с этим первый выпуск энтомофага в 2023 г. был осуществлен в период откладки яиц фитофагом, что позволило снизить нормы выпуска подизуса без существенного снижения его эффективности. Однако несмотря на высокую биологическую эффективность, поврежденность листовой поверхности опытных растений была выше, чем в аналогичный период предыдущего года и суще-

ственно не отличалась от контрольного варианта. Вероятно, значительное повышение среднемесячной температуры в июле 2023 г. в сравнении со среднемноголетними данными, приводило к более быстрому развитию вредителя, увеличению его прожорливости и вредоносности.

В результате проведенных экспериментов также были выявлены различия по эффективности энтомофага в зависимости от способа его выпуска. При равномерном расселении энтомофага по делянке наблюдалось снижение поврежденности листьев колорадским жуком и увеличение его биологической эффективности по сравнению с вариантом выпуска подизуса в одну точку. Однако существенных различий по урожайности культуры между вариантами с разными способами выпуска энтомофага не зафиксировано.

ВЫВОДЫ

1. В полевых экспериментах 2022–2023 гг. выявлено влияние абиотических факторов на развитие колорадского жука на посадках цветного сорта картофеля Rosemaria. В вегетационный период 2023 г. было зафиксировано формирование двух поколений вредителя, обусловленное более теплым температурным режимом по сравнению со среднемноголетними значениями.

2. Установлено, что на выживаемость и активность выпущенных в агроценоз картофеля нимф хищного клопа *P. maculiventris* оказывают влияние погодные условия, сроки и нормы выпуска энтомофага, а также способ его выпуска. Биологическая эффективность подизуса была наиболее высокой в варианте с равномерным выпуском энтомофага и увеличивалась после повторного выпуска хищного клопа, достигая 87,8 и 90,9 % в 2023 и 2022 гг. соответственно.

3. Зафиксировано снижение поврежденности растений картофеля колорадским жуком на делянках, где осуществляли выпуск энтомофага, а также увеличение урожайности в 1,3–1,5 раза по сравнению с контролем.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-26-00073.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dash L. Effect of climate change on insect behaviour // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2020. – № 9 (2). – P. 1667–1672. – DOI: 10.20546/ijcmas.2020.902.192.
2. Особенности взаимодействия растений и фитофагов в агроценозах при изменении климата / Е.И. Кошкин, И.В. Андреева, Г.Г. Гусейнов [и др.] // Агрохимия. – 2021. – № 1. – С. 79–96. – DOI: 10.31857/S0002188121010063.

3. Subedi B., Poudel A., Aryal S. The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security // *Journal of Agriculture and Food Research*. – 2023. – № 14. – DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100733.
4. Development and thermal activity thresholds of European mirid predatory bugs / B.L. Ingegno, G.J. Messelink, A. Leman [et al.] // *Biological Control*. – 2020. – № 152. – P. 104423. – DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104423.
5. Entomophages of the Colorado Potato Beetle, population dynamics of *Perillus bioculatus* Fabr. and its compatibility with biological and chemical insecticides / I. Agasyeva, M. Nefedova, V. Ismailov, A. Nastasy // *Agronomy*. – 2023. – № 13 (6). – P. 1496. – DOI: 10.3390/agronomy13061496.
6. Pérez-Hedo M., Riahi C., Urbaneja A. Use of zoophytophagous mirid bugs in horticultural crops: Current challenges and future perspectives // *Pest Management Sci.* – 2021. – № 77 (1). – P. 33–42. – DOI: 10.1002/ps.6043. Epub 2020 Sep 11. PMID: 32776672.
7. Практический опыт разведения и применения хищного клопа *Podisus maculiventris* в условиях Западной Сибири / И.В. Андреева, В.П. Цветкова, Н.И. Агриколянская [и др.] // *Вестник защиты растений*. – 2023. – № 106 (1). – С. 71–79. – DOI: 10.31993/2308-6459-2023-106-1-15491.
8. Schellhorn N.A., Bianchi F.J.J.A., Hsu C.L. Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: links to pest suppression // *Annual Review of Entomology*. – 2014. – № 59 (1). – P. 559–581. – DOI: 10.1146/annurev-ento-011613-161952.
9. Spatio-temporal distribution of entomophages in phytocenoses of anthropogenically modified landscape in the forest-steppe of Western Siberia / E.Y. Toropova, E.Y. Marmuleva, L.A. Osintseva [et al.] // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. – 2016. – № 13 (1). – DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2029>
10. Белякова Н.А., Павлюшин В.А. Скрининг биоресурсов насекомых и клещей для биологического контроля вредителей в защищенном грунте // *Вестник защиты растений*. – 2023. – № 106 (1). – С. 49–70. – DOI: 10.31993/2308-6459-2023-106-1-15533.
11. Cecil O. Montemayor, Ronald D. Cave, Evaluation of the Predation Capacity of *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pentatomidae) on *Microtheca ochroloma* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Field Cages // *Journal of Economic Entomology*. – 2012. – Vol. 105, Is. 5. – P. 1719–1725. – DOI: 10.1603/EC11386.
12. Hermann S.L., Thaler J.S. The effect of predator presence on the behavioral sequence from host selection to reproduction in an invulnerable stage of insect prey // *Oecologia*. – 2018. – № 188 (4). – P. 945–952. – DOI: 10.1007/s00442-018-4202-7.
13. Irisov Kh.D., Olimjonov R.Z. Aerodynamics of the ejection-injection method of separation of entomophages // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012034.
14. Разведение и применение хищных клопов пентатомид против колорадского жука / И.С. Агасьева, В.Я. Исмаилов, Е.В. Федоренко, М.В. Неведова // *Защита и карантин растений*. – 2013. – № 11. – С. 21–23.

REFERENCES

1. Dash L., Effect of climate change on insect behavior, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2020, No. 9 (2), pp. 1667–1672, DOI: 10.20546/ijcmas.2020.902.192.
2. Koshkin E.I., Andreeva I.V., Guseinov G.G., Guseinov K.G., Dzhalilov F.S.-U., Mityushev I.M., *Agrokimiya*, 2021, No. 1, pp. 79–96, DOI: 10.31857/S0002188121010063 (In Russ.).
3. Subedi B., Poudel A., Aryal S., The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, No. 14, DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100733.
4. Ingegno B.L., Messelink G.J., Leman A. [et al.], Development and thermal activity thresholds of European mirid predatory bugs, *Biological Control*, 2020, No. 152, pp. 104423, DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104423.
5. Agasyeva I., Nefedova M., Ismailov V., Nastasy A., Entomophages of the Colorado Potato Beetle, population dynamics of *Perillus bioculatus* Fabr. and its compatibility with biological and chemical insecticides, *Agronomy*, 2023, No. 13 (6), pp. 1496, DOI: 10.3390/agronomy13061496.
6. Pérez-Hedo M., Riahi C., Urbaneja A., Use of zoophytophagous mirid bugs in horticultural crops: Current challenges and future perspectives, *Pest Management Sci.*, 2021, No. 77 (1), pp. 33–42, DOI: 10.1002/ps.6043. Epub 2020 Sep 11. PMID: 32776672.
7. Andreeva I.V., Tsvetkova V.P., Agrikolyanskaya N.I., Maslennikova V.S., Shatalova E.I., Zenkova A.A., *Vestnik zashchity rastenii*, 2023, No. 106 (1), pp. 71–79, DOI: 10.31993/2308-6459-2023-106-1-15491. (In Russ.)
8. Schellhorn N.A., Bianchi F.J.J.A., Hsu C.L., Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: links to pest suppression, *Annual Review of Entomology*, 2014, No. 59 (1), pp. 559–581, DOI: 10.1146/annurev-ento-011613-161952.

9. Toropova E.Y., Marmuleva E.Y., Osintseva L.A., Selyuk M.P., Dyachenko A.S., Spatio-temporal distribution of entomophages in phytocenoses of anthropogenically modified landscape in the forest-steppe of Western Siberia, *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2016, No. 13 (1), DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2029>.
10. Belyakova N.A., Pavlyushin V.A., *Vestnik zashchity rastenii*, 2023, No. 106 (1), pp. 49–70, DOI: 10.31993/2308-6459-2023-106-1-15533. (In Russ.)
11. Cecil O. Montemayor, Ronald D., Cave, Evaluation of the Predation Capacity of *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pentatomidae) on *Microtheca ochroloma* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Field Cages, *Journal of Economic Entomology*, 2012, Vol. 105, Is. 5, pp. 1719–1725, DOI: 10.1603/EC11386.
12. Hermann S.L., Thaler J.S., The effect of predator presence on the behavioral sequence from host selection to reproduction in an invulnerable stage of insect prey, *Oecologia*, 2018, No. 188 (4), pp. 945–952, DOI: 10.1007/s00442-018-4202-7.
13. Irisov Kh.D., Olimjonov R.Z., Aerodynamics of the ejection-injection method of separation of entomophages, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, DOI:10.1088/1755-1315/868/1/012034.
14. Agas'eva I.S., Ismailov V.YA., Fedorenko E.V., Nefedova M.V., *Zashchita i karantin rastenij*, 2013, No. 11, pp. 21–23. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.И. Шаталова, кандидат биологических наук

И.В. Андреева, кандидат сельскохозяйственных наук

А.В. Ходакова, аспирант, младший научный сотрудник

Contribution of the authors:

E.I. Shatalova, PhD in Biology

I.V. Andreeva, PhD in Agricultural Sciences

A.V. Khodakova, postgraduate student, junior research fellow

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-134-141

УДК 636.2.034:612.664:636.084:636.082.4:615.31

ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНО-ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА «ПРОФОРТ» НА МИКРОФЛОРУ РУБЦА И ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНУЮ ФУНКЦИЮ КОРОВ

А.И. Афанасьева, В.А. Сарычев, И.В. Сосин

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

E-mail: antonina59-09@mail.ru

Для цитирования: Афанасьева А.И., Сарычев В.А., Сосин И.В. Влияние ферментно-пробиотического препарата «Профорт» на микрофлору рубца и воспроизводительную функцию коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 134–141. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-134-141.

Ключевые слова: молочный скот, лактирующие коровы, рацион, ферментно-пробиотический препарат, микробиом, воспроизводство стада, репродуктивная функция, сервис-период, индекс осеменения.

Реферат. Цель исследования заключалась в оценке влияния ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» на микрофлору рубца и воспроизводительную функцию коров голштинской породы в условиях круглогодичного однотипного кормления. Объектом исследований были высокопродуктивные коровы ($n = 40$) голштинской породы, содержащиеся беспривязно, в условиях круглогодичного силосно-сенажно-концентратного типа кормления. Всего сформировано две группы лактирующих коров по 20 голов в каждой группе: контрольная при скормливании основного рациона (ОР) и опытная – ОР + ферментно-пробиотическая кормовая добавка «Профорт» по 30,0 г на голову в сутки ежедневно в течение 15 дней трехкратно с перерывом по 15 дней. «Профорт» содержит пробиотическую смесь, состоящую из двух видов бактерий: *Enterococcus faecium* 1–35 и *Bacillus megaterium* B-4801. В результате исследований установлено, что использование кормовой добавки животным опытной группы способствовало увеличению содержания в микробиоме рубца целлюлозолитических бактерий, активирующих расщепление клетчатки растительных кормов: *Prevotellaceae*, *Lachnospiraceae*, *Clostridia* UCG-014, *Eubacterium*, *Oscillospiraceae*, *Hungateiclostridiaceae*, *Christensenellaceae* и *Ruminococcaceae*, а также лактат-утилизирующих бактерий, препятствующих снижению pH среды рубца, размножению и колонизации условно-патогенной и патогенной микрофлоры в другие органы организма животных, в том числе репродуктивной системы. У коров опытной группы зафиксировано улучшение оплодотворяемости, снижение продолжительности сервис-периода, родовых и послеродовых осложнений. Увеличилось количество телят, полученных в состоянии физиологической зрелости (нормотрофии).

EFFECT OF ENZYME-PROBIOTIC PREPARATION “PROFORT” ON RUMEN MICROFLORA AND REPRODUCTIVE FUNCTION OF COWS

A.I. Afanasyeva, V.A. Sarychev, I.V. Sosin

Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

E-mail: antonina59-09@mail.ru

Keywords: dairy cattle, lactating cows, diet, enzyme-probiotic preparation, microbiome, herd reproduction, reproductive function, service period, insemination index.

Abstract. The aim of the study was to evaluate the effect of enzyme-probiotic feed additive “Profort” on rumen microflora and reproductive function of Holstein cows under conditions of year-round uniform feeding. The object of research were high-yielding cows ($n = 40$) of Holstein breed, kept loose, in conditions of year-round uniform silage-hay-concentrate type of feeding. In total, two groups of lactating cows of 20 heads in each group were formed: control group with feeding of the basic ration (OR) and experimental group - OR + enzyme-probiotic feed additive “Profort” 30.0g per head per day daily, for 15 days, three times with a break of 15 days. “Profort” contains a probiotic mixture consisting of two types of bacteria: *Enterococcus faecium* 1–35 and

Bacillus megaterium B-4801. As a result of the research it was found that the use of feed additive to animals of the experimental group contributed to an increase in the content in the rumen microbiome of cellulolytic bacteria that activate the breakdown of plant feed fiber: Prevotellaceae, Lachnospiraceae, Clostridia UCG-014, Eubacterium, Oscillospiraceae, Hungateiclostridiaceae, Christensenellaceae and Ruminococcaceae, as well as lactate-utilizing bacteria, preventing the decrease in pH of the rumen environment, reproduction and colonization of opportunistic and pathogenic microflora in other organs of the animal body, including the reproductive system. The cows of the experimental group have improved reproductive ability indicators: fertilizability, decreased duration of service period, labor and postpartum complications. The number of calves obtained in the state of physiological maturity (normotrophy) increases.

В настоящее время молочное скотоводство сталкивается с множеством вызовов, связанных с обеспечением высокого уровня продуктивности и при этом сохранением здоровья животных, в том числе и воспроизводительной системы. Нормальное функционирование репродуктивной системы у лактирующих коров напрямую влияет на их продуктивность, продолжительность лактации и, в конечном итоге, на экономическую эффективность молочного производства [1, 2].

Современный высокопродуктивный скот, полученный на основе голштинизации, отличается особенностями метаболизма и характеризуется невысокой резистентностью, большой требовательностью к сбалансированности и полноценности рациона кормления. Многие хозяйства переходят на круглогодичное однотипное кормление животных. Круглогодичное однотипное кормление и неудовлетворительная кормовая база являются основными причинами резкого ослабления иммунного статуса организма животных, расстройства пищеварения вследствие технологических стрессов, снижения уровня продуктивности и качества продукции, а также воспроизводства животных [3, 4].

Необходимо отметить, что одной из причин ранней выбраковки лактирующих коров, снижения их продуктивного долголетия является действие токсических продуктов, поступающих с кормом или образующихся в процессе метаболизма при нарушении технологии кормления животных.

Ключевую роль в пищеварении жвачных животных играют микроорганизмы рубца, которые влияют на здоровье и продуктивность, обеспечивают расщепление растительных волокон, являясь основным источником ферментов, тем самым активно участвуют в метаболизме. Кишечная микрофлора поддерживает стабильность внутренней среды, обеспечивая защиту от патогенных бактерий и способствуя иммунной защите организма, она участвует в формировании продуктивных качеств животного и поддержании нормального уровня функционирования воспроизводительной

системы. У жвачных животных на формирование микробиома рубца более существенную роль оказывает состав рациона, чем генотип и физиологические особенности организма. Состав микробиоты рубцового содержимого чрезвычайно разнообразен и существенно изменяется при экстремально высокой молочной продуктивности, несогласованности эндокринной регуляции потребления корма и синтеза молока, избыточном поступлении концентрированных кормов [5–7].

При круглогодичном однотипном кормлении и высоком уровне концентрированных кормов в рубце у высокопродуктивных коров снижается количество целлюлозолитических бактерий, ферментирующих клетчатку, активно размножаются амилολитические микроорганизмы, способствующие метаболизму крахмала с образованием молочной кислоты, pH снижается, угнетается рост лактат-утилизирующих микроорганизмов, и создаются условия для развития условно-патогенной и патогенной микрофлоры. Нарушения микробиоты рубца приводят к проникновению через поврежденную кислотой слизистую оболочку патогенных микроорганизмов и их колонизации в различных органах животных: копытах, молочной железе, репродуктивной системе [8, 9].

В последние годы наблюдается рост интереса к использованию в рационе животных различных биологически активных кормовых добавок для коррекции метаболических нарушений, а также в качестве средств улучшения здоровья и воспроизводительной функции животных. Включение в состав рациона пробиотиков является эффективным, экологически безопасным решением проблем, связанных с воспроизводительной функцией животных. Механизм действия пробиотиков обеспечивается заселением конкурентноспособных штаммов бактерий, способных сдерживать рост условно-патогенной микрофлоры и проявление ее патогенности [10–12].

Изучение эффективности использования в рационе высокопродуктивных коров голштинской породы ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт», содержащей активные компо-

ненты, способствующие улучшению пищеварения и усвоения кормов, биодegradации токсических соединений, в условиях круглогодичного однотипного кормления проводилось впервые.

Цель исследования заключается в оценке влияния ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» на микрофлору рубца и воспроизводительную функцию коров голштинской породы в условиях круглогодичного однотипного кормления.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в соответствии с темой государственного задания № 082-03-2024-223

Министерства сельского хозяйства РФ. На базе ООО «Агро-Сибирь», расположенном в Смоленском районе Алтайского края, в период с 2023 по 2024 г. проведены исследования, направленные на оценку эффективности использования ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» (ООО «Биотроф») при круглогодичном однотипном кормлении высокопродуктивных коров. Формирование контрольной ($n = 20$) и опытной групп ($n = 20$) животных проходило в соответствии с методикой сбалансированных групп-аналогов, рекомендованной А.И. Овсянниковым (1976) по схеме, представленной в табл. 1.

Таблица 1

Схема опыта
Experimental scheme

Группа	Кол-во голов	Условия проведения эксперимента
Контрольная	20	Основной рацион (ОР)
Опытная	20	ОР + кормовая добавка на основе ферментативно-пробиотического препарата «Профорт» в течение 15 дней, трехкратно, с интервалом по 15 дней в дозе 30,0 г на голову в сутки

К основному рациону коров включали ферментно-пробиотическую кормовую добавку «Профорт» (производство компании «Биотроф», Санкт-Петербург) в дозе по 30,0 г на голову в сутки, в течение 15 дней, трехкратно, с интервалом по 15 дней.

Содержание животных беспривязное, кормление круглогодичное однотипное согласно рекомендациям по кормлению ВИЖа (2016), с учетом физиологических потребностей высокопродуктивных коров. Тип кормления – силосно-сенажно-концентратный.

Кормовая добавка «Профорт» содержит пробиотическую смесь, состоящую из двух видов бактерий: *Enterococcus faecium* 1-35 и *Bacillus megaterium* В-4801. Каждый штамм представлен в высушенной биомассе в концентрации $3,8 \times 10^7$ КОЕ на 1 г добавки, равномерно нанесенный на отруби, которые используются в качестве наполнителя.

Пробы рубцового содержимого получены методом зондирования от коров до применения ферментно-пробиотической кормовой добавки и после проведения эксперимента. Лабораторное исследование микробиома рубца и биоинфо-

матический анализ результатов проведены в условиях молекулярно-генетической лаборатории ООО «БИОТРОФ+». Бактериальный состав микробиома рубца изучен с использованием молекулярно-генетического метода секвенирования следующего поколения (NGS) на платформе MiSeq (Illumina, Inc., США).

Секвенирование методом NGS проведено с помощью праймеров для V3-V4 региона гена 16S рРНК.

Анализ воспроизводительной функции коров проводили на основании данных ИАС «Селэкс», документов зоотехнического учета и собственных исследований.

Результаты исследований проанализированы с помощью программного обеспечения MS Excel в соответствии с методами вариационной статистики. Были рассчитаны средние значения ($\bar{S}$) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$) для животных контрольной и опытной групп. Сравнение средних значений проводилось с помощью t -критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Воспроизводительная способность животных является составной частью создания адаптивной системы ведения животноводства. Продуктивные и воспроизводительные качества коров – это основные факторы, обеспечивающие рентабельность молочного скотоводства, так как у здоровых животных при сохранении высоких показателей воспроизводства повышается молочная продуктивность и выход телят. Состояние воспроизводительной функции животных во многом зависит от состава, биоразнообразия и соотношения микрофлоры рубца, которая представлена бактериями, простейшими, грибами, археями и фагами [13]. На количественный и качественный состав рубцового содержимого влияет большое количество факторов, в том числе тип кормления и состав рациона. В ходе наших исследований установлено, что при круглогодичном однотипном кормлении с

высоким уровнем в рационе концентрированных кормов в составе микробиома рубца преобладают филумы бактерий *Bacteroidota*, *Firmicutes* и *Proteobacteria*, обеспечивающих ферментацию целлюлозы, гемицеллюлозы, крахмала, органических кислот, белков и преобразование веществ в промежуточные энергетические субстраты в рубце. До применения кормовой добавки в рубцовом содержимом обнаружены целлюлозолитические бактерии, способствующие расщеплению клетчатки растительных кормов *Prevotellaceae*, *Lachnospiraceae*, *Clostridia* UCG-014, *Eubacterium*, *Oscillospiraceae*, *Hungateiclostridiaceae*, *Christensenellaceae* и *Ruminococcaceae*, количество которых значительно снижалось у животных контрольной группы в конце эксперимента. В то же время использование кормовой добавки животным опытной группы способствовало увеличению содержания этих бактерий в микробиоме рубца (рис. 1).

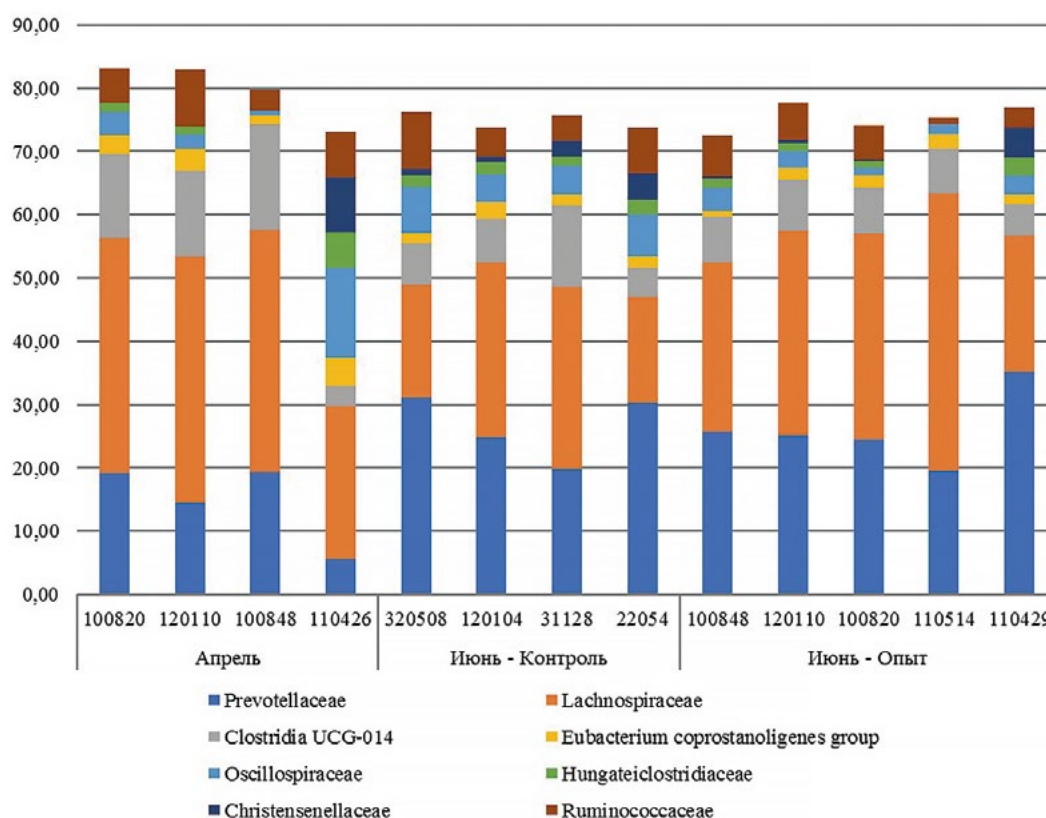


Рис. 1. Содержание бактерий-целлюлозолизаторов в микробиоме рубца, %
Content of cellulolytic bacteria in the rumen microbiome, %

Необходимо отметить, что применение ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» способствовало увеличению количества лактат-утилизирующих бактерий, спо-

собствующих расщеплению молочной кислоты, образующейся при высококонцентратном типе кормления (рис. 2).

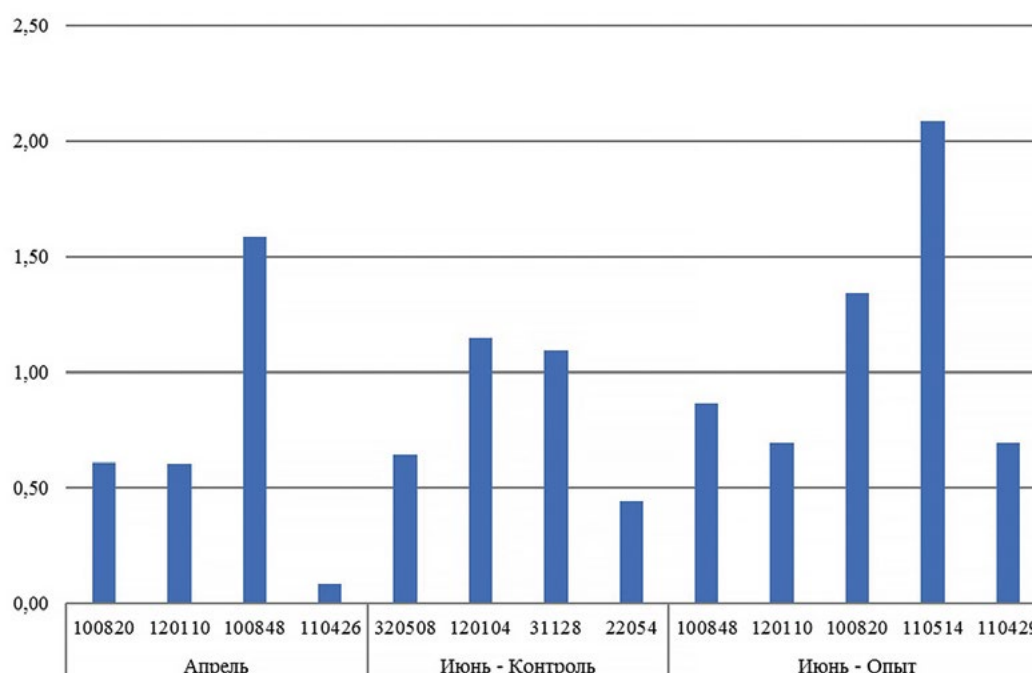


Рис. 2. Содержание лактат-утилизирующих бактерий в микробиоме рубца, %
Content of lactate-utilizing bacteria in the rumen microbiome, %

Нейтрализация молочной кислоты лактат-утилизирующими бактериями и ее использование для синтеза жирных кислот стабилизирует pH среды рубца, предотвращает развитие воспаления его слизистой оболочки, а также размножение и колонизацию условно-патогенной и патогенной микрофлоры в другие органы организма животных, в том числе репродуктивной системы, что подтверждается полученными в наших исследованиях показателями оценки воспроизводительной функции коров (табл. 2).

Сухостойный период – критический этап в жизни коровы, в котором происходит активный рост тканей и органов плода и подготовка к предстоящей лактации. Структурные и функциональные изменения плода зависят от состояния

здоровья организма коровы, в том числе и микробиома рубца, сопровождаются значительной модификацией обмена веществ и в случае его нарушения могут негативно влиять на развитие плода у беременных животных (см. табл. 1). Использование в рационе коров сухостойного периода ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» может нивелировать негативное воздействие токсических продуктов, поступающих с кормом и образующихся в организме при круглогодичном однотипном кормлении. В связи с этим нами проведена оценка показателей воспроизводительной способности коров при использовании кормовой добавки «Профорт» (см. табл. 2).

Таблица 2

Показатели воспроизводительной способности коров голштинской породы при использовании в рационе ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт»
Reproductive capacity indicators of Holstein cows when using the enzyme-probiotic feed additive “Profort” in their diet

Показатель	Группа	
	Контрольная	Опытная
1	2	3
Продолжительность сухостойного периода, дней	55,1±1,3	54,5±1,8
Продолжительность стельности, дней	276,8±2,8	276,8±2,1
Характер отела:		
Без родовспоможения	1	-

1	2	3
С родовспоможением	2	1
<i>Состояние приплода:</i>		
Слабый (в состоянии гипертрофии)	7	3
Мертворожденный	-	-
Сохранность телят:	90	100
Заболеваемость, %	45	25
Среднее количество дней болезни	7	5
Заболело, гол.	6	2
Продолжительность сервис-периода, дн.	98,5±4,52	86,3±5,11*
<i>Оплодотворяемость коров:</i>		
После первого осеменения, гол./%	9/45	11/55
После второго осеменения, гол./%	10/10	9/45
После третьего осеменения, гол./%	1/5	0/0
Индекс осеменения коров, усл. ед.	1,65	1,44*

Примечание. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$ – разница статистически достоверна в сравнении с контрольной группой.

Использование ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» не оказало значительного влияния на продолжительность стельности коров экспериментальных групп, но способствовало снижению индекса осеменения у коров опытной группы в сравнении с контрольными животными. Индекс осеменения является важным показателем, характеризующим состояние репродуктивной системы и эффективность воспроизводства, значения которого зависят от результата осеменения, так как в настоящее время многократные безрезультативные осеменения животных, как следствие низкой оплодотворяющей способности, являются самым распространенным проявлением нарушения функции воспроизводства и высокой эмбриональной смертности. Установлено, что индекс осеменения в опытной группе коров составлял 1,44 усл. ед., что на 12,8 % ($p < 0,05$) меньше, чем у животных контрольной группы (см. табл. 2). Показатель индекса осеменения – 1,5 считается отличным, 2–2,5 – удовлетворительным. Рост индекса осеменения выше этих нормативов может свидетельствовать о неблагополучии в воспроизводстве стада [14].

Интенсивность воспроизводства стада значительно зависит от продолжительности сервис-периода, который связан не только с репродуктивными функциями, но и с молочной продуктивностью. Продолжительность сервис-периода является одним из ключевых паратипических факторов, влияющих на продуктивное

долголетие коров. Установлено, что продолжительность сервис-периода у животных контрольной группы – 98,5±4,52 дней, или на 12,2 дней (12,4 %) – $p < 0,05$ – длиннее, чем у животных опытной группы.

Использование в рационе коров опытной группы ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» способствовало благополучному течению отела. В опытной группе необходимость оказания родовспоможения зафиксирована у одной коровы, что на 50 % меньше, чем у животных контрольной группы (см. табл. 2).

При оценке физиологической зрелости новорожденных телят установлено, что от коров, в рационе которых использовалась ферментно-пробиотическая кормовая добавка «Профорт», количество телят в состоянии неонатальной гипотрофии рождалось на 51,7 % меньше, чем от коров контрольной группы. Известно, что у телят-гипотрофиков снижается функциональная активность и реактивность внутренних органов, обменные процессы, развивается нарушение нейроэндокринной регуляции, снижается устойчивость к заболеваниям различной этиологии. В связи с этим телята, полученные от коров опытной группы, были более адаптированы к факторам внешней среды и более устойчивы к заболеваниям. Сохранность телят в опытной группе составляла 100 %. Высокая сохранность молодняка, полученного от коров опытной группы, также может быть связана с тем, что молозиво животных, получа-

ющих пробиотические кормовые добавки, имеет более высокое содержание иммуноглобулинов класса А, кальция, железа и марганца, тенденцию к повышению концентрации иммуноглобулинов класса G, фосфора, меди и цинка.

ВЫВОДЫ

1. При круглогодичном однотипном силосно-сенажно-концентратном типе кормления коров голштинской породы преобладают филумы бактерий *Bacteroidota*, *Firmicutes* и *Proteobacteria*, обеспечивающие ферментацию целлюлозы, гемицеллюлозы, крахмала, органических кислот и белков корма.

2. Использование в рационе кормления коров ферментно-пробиотической кормовой добавки «Профорт» способствует увеличению количества целлюлозолитических бактерий филумов *Prevotellaceae*, *Lachnospiraceae*, *Clostridia* UCG-014, *Eubacterium*, *Oscillospiraceae*, *Hungateiclostridiaceae*, *Christensenellaceae* и *Ruminococcaceae* и лактат-утилизирующих бактерий, препятствующих развитию ацидоза и колонизации условно-патогенных бактерий в органы и ткани, в том числе репродуктивной системы.

3. Показатели воспроизводительной способности коров (сервис-период, индекс осеменения, характер отелов, рождение телят-нормотрофиков) при использовании кормовой добавки значительно улучшались.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алейникова Ю.Н. Влияние комплексного препарата «Йодис-Вет» на воспроизводительную способность коров // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2020. – № 4 (39). – С. 30–33. – EDN UNAGFO.
2. Попенко В.П., Корниенко П.П. Влияние кормовой добавки селсаф на физиологическое состояние и воспроизводительную функцию коров // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2021. – № 1 (19). – С. 109–114. – EDN MLCELW
3. Влияние ферментных препаратов в рационах молочных коров на их воспроизводительную функцию / И.С. Раденко, А.А. Сергеев, М.А. Донец [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 6 (144). – DOI: 10.60797/IRJ.2024.144.63. – EDN SAVMFT.
4. Дорохина Э.Э., Мирошниченко О.Н., Клесова Т.В. Влияние пробиотического препарата «Атыш» на воспроизводительные качества свиноматок // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 141–146. – EDN LWNQFY.
5. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range / G. Henderson, F. Cox, S. Ganesh, A. Jonker, W. Young, P. Janssen // Scientific Reports. – 2015. – № 5. – P. 1–13. – DOI: 10.1038/srep14567.
6. Determining the culturability of the rumen bacterial microbiome / C.J Creevey, W.J. Kelly, G. Henderson, S.C. Leahy // Microbial Biotechnology. – 2014. – № 7. – P. 467–479. – DOI: 10.1111/1751-7915.12141.
7. Changes in rumen microbiota composition and in situ degradation kinetics during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance / K. Dieho, J. Dijkstra, G. Klop, J. Schonewille, A. Bannink // Journal of Dairy Science. – 2017. – № 100. – P. 2695–2710.
8. Brown M.S., Ponce C.H., Pulikanti R. Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: performance and ruminal metabolism // J. Anim Sci. – 2006. – № 84. – P. 25–33.
9. Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты рубца лактирующих коров под влиянием пробиотика Целлобактерина+ / Е.А. Ёылдырым, Г.Ю. Лаптев, Л.А. Ильина [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55, № 6. – С. 1204–1219. – DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus. – EDN DIXEBM.
10. Влияние пробиотиков на микробиом рубца лактирующих коров / Н.В. Сверчкова [и др.] // Вестник Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2024. – № 4. – С. 280–288. – DOI: 10.29235/1029-8940-2024-69-4-280-288.
11. Пробиотические препараты на основе микроорганизмов рода *Bacillus* / О.В. Федорова, А.И. Назмиева, Э.И. Нуретдинова, Р.Т. Валеева // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 15. – С. 170–174. – EDN WLPCEZ.
12. Пробиотики на основе бактерий рода *Bacillus* в птицеводстве / Н.В. Феоктистова, А.М. Марданова, Г.Ф. Хадиева, М.Р. Шарипова // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Естественные науки. – 2017. – Т. 159, № 1. – С. 85–107. – EDN YQACRP.
13. Newbold C.J., Ramos-Morales E. Rumen Microbiome and Microbial Metabolome: Effects of Diet and Ruminant Host // Review: Animal. – 2020. – № 14. – P. 78–86.
14. Дюльгер Г.П., Седлецкая Е.С. Терапевтическая эффективность овулина при гипофункции яичников у коров // Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные. – 2012. – № 4. – С. 15–17.

REFERENCES

1. Aleynikova Yu.N., *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina*, 2020, No. 4 (39), pp. 30–33. (In Russ.)
2. Popenko V.P., Kornienko P.P., *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaystvennoy biologii*, 2021, No. 1 (19), pp. 109–114. (In Russ.)
3. Radenko I.S., Sergeev A.A., Donets M.A. [et al.], *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2024, No. 6 (144), DOI: 10.60797/IRJ.2024.144.63. (In Russ.)
4. Dorokhina E.E., Miroshnichenko O.N., Klesova T.V., *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2023, No. 3, С. 141–146. – EDN LWNQFY. (In Russ.)
5. Henderson G., Cox F., Ganesh S., Jonker A., Young W., Janssen P., Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range, *Scientific Reports*, 2015, No. 5, pp. 1–13, DOI: 10.1038/srep14567.
6. Creevey C.J., Kelly W.J., Henderson G., Leahy S.C., Determining the culturability of the rumen bacterial microbiome, *Microbial Biotechnology*, 2014, No. 7, pp. 467–479, DOI: 10.1111/1751-7915.12141.
7. Dieho K., Dijkstra J., Klop G., Schonewille J., Bannink A., Changes in rumen microbiota composition and in situ degradation kinetics during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance, *Journal of Dairy Science*, 2017, No. 100, pp. 2695–2710.
8. Brown M.S., Ponce C.H., Pulikanti R., Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets: performance and ruminal metabolism, *J. Anim Sci. Anim Sci.*, 2006, No. 84, pp. 25–33.
9. Yildirim E.A., Laptev G.Y., Ilyina L.A. [et al.], *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2020, T. 55, No. 6, pp. 1204–1219, DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus, EDN DIXEBM. (In Russ.)
10. Sverchkova N.V. [et al.], Effect of probiotics on the rumen microbiome of lactating cows, *Ves. National Academy of Sciences of Belarus. Ser. bial. nauk*, 2024, No. 4, pp. 280–288, DOI: 10.29235/1029-89.
11. Fedorova O.V., Nazmieva A.I., Nuretdinova E.I., Valeeva R.T., *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, T. 19, No. 15, pp. 170–174, EDN WLPCEZ. (In Russ.)
12. Feoktistova N.V., Mardanov A.M., Khadieva G.F., Sharipova M.R., *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2017, T. 159, No. 1, pp. 85–107, EDN YQACRP. (In Russ.)
13. Newbold C.J., Ramos-Morales E., Ruminal Microbiome and Microbial Metabolome: Effects of Diet and Ruminant Host, *Review: Animal.*, 2020, No. 14, pp. 78–86.
14. Dyulger G.P., Sedletskaia E.S., *Rossiyskiy veterinarnyy zhurnal. Sel'skokhozyaystvennye zhivotnye*, 2012, No. 4, pp. 15–17. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.И. Афанасьева, доктор биологических наук, профессор
В.А. Сарычев, кандидат биологических наук, доцент
И.В. Сосин, магистрант

Contribution of the authors:

A.I. Afanasyeva, doctor of biological sciences, professor
V.A. Sarychev, candidate of biological sciences, associate professor
I.V. Sosin, master's student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЯЗЬ БЛАГОПОЛУЧИЯ И УПИТАННОСТИ СВИНОМАТОК ПРИ ФИКСИРОВАННОМ СОДЕРЖАНИИ НА УЧАСТКЕ ОПОРОСА В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

М.А. Барсукова, И.А. Афанасьева, К.Н. Нарожных

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

E-mail: mariabar23@yandex.ru

Для цитирования: Барсукова М.А., Афанасьева И.А., Нарожных К.Н. Связь благополучия и упитанности свиноматок при фиксированном содержании на участке опороса в условиях промышленной технологии // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 142–150. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-142-150.

Ключевые слова: промышленное свиноводство, благополучие, свиноматки, фиксированное содержание, подсосный период, упитанность, animal welfare.

Реферат. Целью исследования являлась оценка благополучия свиноматок на участке опороса при фиксированном содержании в условиях промышленной технологии производства свинины. Объектом исследования являлись подсосные свиноматки, содержащиеся в станках конструкции BDSwing на решетчатых полах. Для оценки был использован протокол Welfare Quality®, модифицированный в соответствии с локальными особенностями производства. Оценка благополучия свиноматок проводилась на первый день после опороса и повторно на 15 день подсосного периода. При обработке данных рассчитывался суммарный балл благополучия свиноматок. Упитанность свиноматок определялась по толщине шпика над последним ребром на 30 день супоросности и при отъеме в 28 дней. Статистический анализ был выполнен с использованием среды статистического программирования R. Достоверность различий между группами животных по упитанности на 30 день супоросности и при отъеме оценивалась методом Краскела–Уоллиса. Парные сравнения осуществляли с поправкой Холма. В группе благополучных свиноматок суммарная оценка составила 0,62 балла, в то время как для условно благополучных этот параметр составлял уже 2,51 балла и неблагополучных – 4,9 балла. Повторная оценка проводилась на 15 день после опороса тем же исследователем. При незначительных изменениях в суммарной оценке животных (0,59, 2,49 и 5,12 баллов соответственно) отмечается увеличение суммарной оценки в группе неблагополучных свиноматок, а также перемещение животных из одной группы в другую в направлении усугубления состояния. Определены достоверные различия в упитанности между благополучными, условно благополучными и неблагополучными свиноматками на 30 день супоросности. Хотя благополучные свиноматки отличались наименьшей толщиной шпика, в течение супоросности и подсосного периода, в этой группе была отмечена и наименьшая потеря упитанности к отъему (–0,3 мм).

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE WELL-BEING AND FATNESS OF SOWS WITH A FIXED CONTENT ON THE FARROWING SITE IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

M.A. Barsukova, I.A. Afanasyeva, K.N. Narozhnykh

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: mariabar23@yandex.ru

Keywords: industrial pig farming, welfare, sows, fixed maintenance, suckling period, fatness, animal welfare.

Abstract. The aim of the study was to assess the well-being of sows at a farrowing site with a fixed content in the conditions of industrial pork production technology. The object of the study was suckling sows contained in BDSwing machines on lattice floors. The Welfare Quality® protocol was used for the assessment, modified in accordance with local production features. The well-being of the sows was assessed on the first day after farrowing and again on the 15th day of the suckling period. When processing the data, the total welfare score of the sows was calculated. The fatness of the sows was determined by the thickness of the fat above the last rib on the 30th day of pregnancy and at weaning at 28 days. The statistical analysis was performed using the statistical programming environment R. The reliability of differences between groups of animals in fatness on the 30th day of pregnancy and at weaning was assessed by the Kraskel-Wallis method. Pairwise comparisons were carried out with the Hill

correction. In the group of well-off sows, the total score was 0.62 points, while for the conditionally well-off, this parameter was already 2.51 points and the disadvantaged – 4.9 points. The re-evaluation was carried out on the 15th day after farrowing by the same researcher. With minor changes in the total assessment of animals (0.59, 2.49 and 5.12 points, respectively), there is an increase in the total assessment in the group of disadvantaged sows, as well as the movement of animals from one group to another in the direction of aggravation of the condition. Significant differences in fatness between well-off and conditionally well-off and dysfunctional sows on the 30th day of pregnancy were determined. At the same time, although healthy sows differed in the smallest fat thickness, during pregnancy and suckling period, in this group the least loss of fatness to weaning was noted (-0.3 mm).

Для современного свиноводства в мире характерной чертой является интенсификация производства, следствием чего является увеличение продуктивности животных и повышение экономической эффективности. Однако это приводит к возникновению проблем с благополучием и здоровьем животных, что, в свою очередь, может негативно влиять на уровень продуктивности [1]. В мировой практике термин «благополучие» применяется для комплексного описания состояния животного, наличия у него проблем, связанных со здоровьем, поведением и дискомфортом, причиной которых являются условия содержания животных [2]. Изначально концепция благополучия животных (animal welfare) рассматривалась исключительно с утилитарной точки зрения, однако сейчас в мире значительное внимание уделяется и этическому аспекту [3, 4]. Для изучения благополучия и влияния его на состояние и продуктивность животных были разработаны протоколы оценки благополучия для всех видов животных в том числе и для свиней (Welfare Quality®) [5], описывающие возможные состояния животных различных технологических групп с учетом критических точек технологий, применяемых в современном свиноводстве. Однако на практике для разных технологических, экономических и социальных условий сложно определить универсальную оценку для разных групп свиней, как и оценить степень влияния благополучия на продуктивные показатели, не учитывая технологические особенности [6, 7].

В промышленной технологии содержания свиней ключевой точкой успешности производства является воспроизводство от осеменения до получения поросят, поэтому состояние свиноматок и их благополучие также имеет критическое значение для получения и выращивания молодняка [8–10]. Доклад экспертной группы EFSA по благополучию животных подчеркивает, что на благополучие свиноматок критически влияет содержание в индивидуальных станках для опороса, поскольку именно там животные ограничены в движении, не имеют возможности реализовывать свое естественное поведение, а

также имеют проблемы с повреждениями мягких тканей и кожного покрова (EFSA AHAW Panel) [11]. При этом в мире и в нашей стране содержание свиноматок в индивидуальных станках на протяжении всего подсосного периода является наиболее распространенной практикой [12–15], что делает актуальным изучение именно этой точки в цикле производства свинины [16], учитывая, что данная система остается наиболее экономически эффективной для крупного производства [17].

Важным методическим аспектом при изучении благополучия свиней является совершенствование протокола оценки в соответствии с локальными особенностями предприятия и поголовья животных [18]. Существуют данные о связи таких параметров, как благополучие, репродуктивные качества и упитанность взрослых свиноматок [19, 20], которые могут как взаимодействовать, так и не оказывать какого-либо заметного влияния на итоговую продуктивность [21].

При этом следует учитывать, что наряду с технологическими факторами на благополучие и продуктивность животных могут действовать как отдельно, так и совокупно уровень адаптации животных к технологическим условиям [22, 23], общий адаптивный потенциал популяции [24, 25] и экологические условия среды [26–28].

В связи с вышеизложенным целью работы является оценка благополучия свиноматок на участке опороса в условиях фиксированного содержания на промышленном свинокомплексе в динамике в течение подсосного периода и выявление связи оценки с упитанностью.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводилось в условиях промышленного свинокомплекса на помесных свиноматках крупная белая × ландрас датской селекции. Свиноматки содержались на участке опороса в индивидуальных станках с регулируемым ограничителем конструкции BDSwing на решетчатых полах производства компании Big Dutchman. Дан-

ная конструкция станков подразумевает наличие ограничителей для свиноматки, не позволяющих ей резко ложиться или вставать, что снижает риск задавливания поросят, однако значительно ограничивает подвижность животного. Оценивались свиноматки, опоросившиеся в течение пяти смежных дней в период с 27 по 31 января ($n = 154$). Оценка проводилась в соответствии с модифицированным протоколом Welfare Quality [5]. Протокол включает в себя такие параметры, как состояние конечностей, наличие повреждений от других животных, наличие загрязнений при нормальном состоянии станка, проблемы с дыханием. Модификация протокола проводилась в связи с тем, что значительное ограничение подвижности снижает возможности свиноматки к устранению от возможных повреждений со стороны потомства, что приводит к актам каннибализма, включая повреждения сосков, вульвы и ушей. В дополнении к стандартному протоколу оценки, в связи со спецификой условий, были добавлены следующие пункты: слабость связочного аппарата задних конечностей (характерное действие при движении животного, при котором задние конечности произвольно разводятся под углом более чем 90° (1 балл при наличии, 0 баллов при отсутствии)); слабость задних конечностей (животное опирается телом на близлежащие объекты либо приседает, 1 балл при наличии, 0 баллов при отсутствии); каннибализм (включает оценку состояния ушей и хвоста, 0 – повреждения отсутствуют, 1 – легкие повреждения ушей и/или хвоста, уши надорваны, 2 – сильные повреждения, частично отсутствует одно или два уха или хвост); локальные повреждения поросятами (разъеденные пролежни; 1 – одно повреждение, 2 – повреждение на обоих плече-лопаточных сочленениях, 0 – повреждения отсутствуют); повреждение вульвы, в том числе и вследствие каннибализма (характерные повреждения вульвы у животного, 0 – повреждения отсутствуют, 1 – легкие повреждения, 2 – сильные повреждения); мастит (1 балл при наличии признаков, 0 баллов при отсутствии); травмы сосков, в том числе и как следствие повреждений поросятами (0 баллов при отсутствии, 1 балл при повреждении одного соска, 2 балла при повреждении двух и более сосков); реакция на человека: тест 1 (с головы) подойти к животному со стороны морды и наблюдать за реакцией (0 – нет реакции, 1 – отстраняется, умеренная реакция, 2 – шарахается, отпрыгивает, пытается сбежать), тест 2 (с хвоста) – подойти к животному со стороны хвоста, положить руку на

круп и наблюдать за реакцией (0 – нет реакции, 1 – вздрагивает, 2 – острая реакция, отстраняется, пытается сделать несколько шагов).

Суммарный балл оценки благополучия выводился путем сложения всех оценок, полученных свиноматкой. Таким образом, каждое животное после оценки имело определенное количество баллов, характеризующих его состояние.

Толщина шпика как критерий упитанности оценивалась на 30 день супоросности и после пребывания на участке опороса и оценки благополучия повторно при отъеме поросят методом ультразвукового исследования над последним ребром.

Оценка благополучия свиноматок проводилась на первый день после опороса и повторно на 15 день подсосного периода. При обработке данных рассчитывался суммарный балл благополучия свиноматок, в зависимости от которого свиноматки подразделялись на три группы: благополучные – 0–1 балл, животное не имеет проблем; условно благополучные – 2–3 балла, животное имеет несколько умеренно выраженных проблем; неблагополучные – 4 и более баллов, животное имеет много умеренно выраженных или сильно выраженных проблем. В соответствии с этим для каждой группы оценивались упитанность на 30 день супоросности и после отъема.

Статистический анализ был выполнен с использованием среды статистического программирования R с использованием стандартных методов непараметрической статистики в связи с тем, что распределения данных по суммарной оценке благополучия и толщине шпика не соответствовали нормальному закону, что было подтверждено с помощью критерия Шапиро–Уилка ($p < 0,05$ для обоих параметров) [29]. Для описания признаков были использованы следующие параметры: среднее (Mean), стандартное отклонение (SD), стандартная ошибка (SE), Q1 – первый квартиль (25-й процентиль), Q3 – третий квартиль (75-й процентиль), IQR – межквартильный размах ($IQR = Q3 - Q1$). Достоверность различий между группами животных по упитанности на 30-й день супоросности и при отъеме оценивалась методом Краскела–Уоллиса [30]. Попарные сравнения осуществляли с поправкой Холма.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Участок опороса является критическим важным для производства не только с точки зрения получения товарного молодняка, но и с точки

зрения условий содержания, поскольку современная промышленная технология подразумевает фиксированное содержание свиноматок, исключающее возможность активного перемещения на протяжении всего подсосного периода. В табл. 1

представлены результаты оценки благополучия свиноматок на следующий день после опороса с учетом разделения их на группы в зависимости от суммарной оценки благополучия.

Таблица 1

Оценка благополучия свиноматок на участке опороса (первый день после опороса)
Assessment of the welfare of sows at the farrowing site (the first day after farrowing)

Группа	n	Mean	SE	SD	Q1	Q3	IQR
Благополучные	37	0,62	0,081	0,492	0	1	1
Условно благополучные	68	2,51	0,061	0,503	2	3	1
Неблагополучные	49	4,9	0,141	0,984	4	5	1

В группе благополучных свиноматок суммарная оценка составила 0,62 балла, в то время как для условно благополучных этот параметр составлял уже 2,51 балла, а для неблагополучных – 4,9 балла. Повторная оценка проводилась на 15-й день после опороса тем же исследователем (табл. 2). При незначительных изменениях

в суммарной оценке животных (0,59, 2,49 и 5,12 баллов соответственно) отмечается увеличение суммарной оценки в группе неблагополучных свиноматок, а также перемещение животных из одной группы в другую в направлении усугубления состояния.

Таблица 2

Оценка благополучия свиноматок на участке опороса (15-й день после опороса)
Assessment of the welfare of sows at the farrowing site (15 days after farrowing)

Группа	n	Mean	SE	SD	Q1	Q3	IQR
Благополучные	34	0,59	0,086	0,500	0	1	1
Условно благополучные	63	2,49	0,083	0,504	2	3	1
Неблагополучные	56	5,12	1,690	1,420	4	6	2

В табл. 3 представлено распределение свиноматок по группам на следующий день после опороса и на 15-й день подсосного периода. Так, в первый день после опороса количество благополучных свиноматок составило 37 голов, или

24 %, на 15-й день их количество сократилось до 34 голов (22,2 %). Аналогичным образом сократилось число условно благополучных свиноматок с 68 голов (44 %) в первый день до 63 на 15-й день (41 %).

Таблица 3

Распределение свиноматок по группам, %
Distribution of sows by groups, %

Время оценки	Группа	n	Доля
1-й день	Благополучные	37	24,02
	Условно благополучные	68	44,16
	Неблагополучные	49	31,82
	Итого	154	100
15-й день	Благополучные	34	22,22
	Условно благополучные	63	41,18
	Неблагополучные	56	36,60
	Итого	153	100

Группа свиноматок, получивших статус «неблагополучные» в первый день после опороса, включала в себя 49 голов (31,8 %), при этом следует иметь в виду, что признаки неблагополучия у них не были приобретены непосредственно на участке опороса, а являются следствием предшествующего содержания. На 15-й день их количество увеличилось до 56 голов, или 36 %, при усугублении величины суммарной оценки в среднем с 4,9 до 5,12 балла.

Упитанность свиноматок является важным критерием, характеризующим состояния свиноматок в течение супоросности и подсосного периода. Оценка упитанности взрослых свиноматок в производственных условиях проводится двукратно в течение цикла воспроизводства: на 30-й день супоросности и при отъеме поросят с целью определения состояния животного и

корректировки рациона. Уровень упитанности, определяемый по толщине шпика над последним ребром, характеризует не только состояние животного, но и его потенциальную способность к выкармливанию поросят [31]. С другой стороны, как истощенность, так и чрезмерная упитанность свиноматок могут являться отягчающими факторами как для самих животных, так и для протекания опороса и выкармливания поросят [32, 33].

С целью изучения связи упитанности и благополучия был проведен анализ результатов измерения толщины шпика.

Для исследуемого предприятия норма упитанности свиноматок составляет 12–18 мм, все оцененные нами животные укладывались в этот диапазон при измерении на 30-й день супоросности. Результаты оценки толщины шпика свиноматок представлены в табл. 4.

Таблица 4

Толщина шпика в разных группах свиноматок на 30-й день супоросности в точке над последним ребром, мм
The thickness of the fat in different groups of sows on the 30th day of pregnancy at the point above the last rib, mm

Группа	n	Mean	SE	SD	Me	Q1	Q3	C _v
Благополучные	34	14,1	0,517	3,02	13	12,9	16,0	21,3
Условно благополучные	63	16,2	0,512	4,06	16	13,2	18,0	25,2
Неблагополучные	56	16,2	0,495	3,70	16	13,0	18,6	22,9

Наименьшей толщиной шпика на 30-й день супоросности характеризовались свиноматки группы благополучных – 14,1 мм, животные, попавшие в группы условно благополучных и неблагополучных, имели толщину шпика над

последним ребром 16,2 мм при достаточно высокой величине коэффициента вариации в группах (21,3, 25,2 и 22,9 соответственно). Оценка влияния толщины шпика проводилась с помощью критерия Краскела–Уоллиса (табл. 5).

Таблица 5

Межгрупповые сравнения свиноматок по толщине шпика на 30-й день супоросности
Intergroup comparisons of sows by fat thickness on the 30th day of pregnancy

Группа	Z-статистика	p-значение
Благополучные – условно благополучные	-2,58	0,0049*
Благополучные – неблагополучные	-2,71	0,0033*
Условно благополучные – неблагополучные	-0,22	0,4126

При сравнении групп свиноматок было установлено, что по толщине шпика в начале супоросности свиноматки группы благополучных достоверно отличались от условно благополучных и неблагополучных, при этом в среднем благополучные свиноматки были менее упитаны, чем животные двух других групп.

Для оценки состояния упитанности свиноматок после подсосного периода проводится измерение толщины шпика при отъеме в 28 дней. Результаты измерения толщины пика при отъеме представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Толщина шпика в разных группах свиноматок на день отъема (28-й день)
в точке над последним ребром, мм**
**The thickness of the fat in different groups of sows on the day of weaning (day 28)
at the point above the last rib, mm**

Группа	n	Mean	SE	SD	Me	Q1	Q3	C _v
Благополучные	34	13,8	0,746	3,17	13	9,92	15,0	24,7
Условно благополучные	63	14,6	0,680	3,36	14	12,7	16,0	25,1
Неблагополучные	56	15,7	0,737	3,38	14	13,7	17,3	21,5

Во всех группах исследуемых животных при отъеме произошло снижение толщины шпика. В группе благополучных свиноматок толщина шпика составила 13,8 мм (-0,3 мм), в группе условно благополучных – 14,6 (-1,6 мм), в группе неблагополучных 15,7 мм (-0,5). Таким образом, несмотря на самую низкую упитанность, отмечаемую у благополучных свиноматок, в этой группе произошла наименьшая потеря в толщине шпика на протяжении периода супоросности и подсосно-

го периода. Максимальная потеря упитанности была отмечена в группе условно благополучных животных.

Результаты оценки различий по толщине шпика между группами свиноматок представлены в табл. 7. Обнаружено достоверное влияние оценки свиноматок на толщину шпика между группами благополучных и неблагополучных свиноматок ($p = 0,0129$).

Таблица 7

Межгрупповые сравнения свиноматок по толщине шпика в день отъема (28-й день)
Intergroup comparisons of sows by fat thickness on the day of weaning (day 28)

Группа	Z-статистика	p-значение
Благополучные – условно благополучные	-1,43	0,0760
Благополучные – неблагополучные	-2,23	0,0129*
Условно благополучные – неблагополучные	-0,99	0,1591

Таким образом, оценка благополучия свиноматок на участке опороса показывает как динамику изменения непосредственно состояния животных, так и связь суммарной оценки благополучия с упитанностью, которая до этого считалась основным критерием в оценке состояния животных, пришедших с опороса. Усугубление состояния животных с течением времени и возрастом требует более детального изучения для выявления как наиболее критических точек благополучия животных, так и определения момента, когда суммарная оценка благополучия может стать критической и влиять на собственную продуктивность свиноматки.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследования была определена суммарная оценка благополучия свиноматок на участке опороса при фиксированном содержании и динамика изменения доли животных, которых

можно было бы отнести к благополучным и условно благополучным с 24 и 44 % до 22 и 41% за счет перемещения их в группу неблагополучных. Также в течение периода от опороса до повторной оценки произошло некоторое увеличение суммарной оценки неблагополучных свиноматок.

2. Определены достоверные различия в упитанности между благополучными и условно благополучными и неблагополучными свиноматками на 30-й день супоросности. При этом, хотя благополучные свиноматки отличались наименьшей толщиной шпика, в течение супоросности и подсосного периода, в этой группе была отмечена и наименьшая потеря упитанности к отъему (-0,3 мм).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Pietrosemoli S., Tang C.* Animal Welfare and Production Challenges Associated with Pasture Pig Systems: A Review // *Agriculture*. – 2020. – № 10. – P. 223. – DOI: 10.3390/agriculture10060223.
2. *Broom D.M.* Animal welfare: concepts and measurement // *Journal of Animal Science*. – 1991. – Vol. 69, № 10. – P. 4167–4175. – DOI: 10.2527/1991.69104167x.
3. *Environment-, health-, performance- and welfare-related parameters in pig barns with natural and mechanical ventilation / I. Chantziaras, D. De Meyer, L. Vrielinck [et al.]* // *Preventive Veterinary Medicine*. – 2020. – Vol. 183. – P. 105150. – DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105150.
4. *Pig Farming in Alternative Systems: Strengths and Challenges in Terms of Animal Welfare, Biosecurity, Animal Health and Pork Safety / M. Delsart, F. Pol, B. Dufour [et al.]* // *Agriculture*. – 2020. – Vol. 10. – P. 261. – DOI: 10.3390/agriculture10070261.
5. *Welfare Quality® Assessment Protocol for Poultry (Broilers, Laying Hens)* // *Welfare Quality® Consortium: Lelystad, The Netherlands*. – 2009. – 122 p.
6. *Bombik T., Bombik E., Biesiada-Drzazga B.* Animal welfare in terms of evaluation criteria and methods // *Przegląd Hod.* – 2013. – Vol. 6. – P. 25–27.
7. *Animal Welfare Management in a Digital World / H. Buller, H. Blokhuis, K. Lokhorst [et al.]* // *Animals*. – 2020. – № 10. – P. 1779. – DOI: 10.3390/ani10101779.
8. *Орлов Д.А., Жучаев К.В., Панишев С.В.* Поведение молодняка свиней при технологических стрессах // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2014. – № 2 (31). – С. 82–85. – EDN SIB-WYB.
9. *Теоретические аспекты обеспечения инфекционного благополучия в птицеводстве и свиноводстве путем использования методов селекции и молекулярно-генетического анализа ДНК / В.Н. Афонюшкин, Н.А. Донченко, П.В. Бушмелева [и др.]* // *Ветеринарный врач*. – 2018. – № 4. – С. 63–68. – EDN XWBHNF.
10. *Суетов Н.В., Жучаев К.В., Кауфманн О.* Влияние различных факторов на поведенческую активность поросят // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2011. – № 3 (19). – С. 66–71. – EDN OYHZSL.
11. *EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare) / S.S. Nielsen, J. Alvarez, D.J. Bicot [et al.]* // *Scientific Opinion on the welfare of pigs on farm*. *EFSA Journal*. – 2022. – Vol. 20 (8):7421. – 319 pp. – DOI: 10.2903/j.efsa.2022.7421.
12. *Titto C.G., Ricci G.D.* Behavioral and physiological changes in sows and piglets maintained in farrowing cages or open stalls during summer // *Journal of Veterinary Behavior*. – 2023. – Vol. 63. – P. 36–41. – DOI: 10.1016/j.jveb.2023.05.001.
13. *The Effect of Different Farrowing Housing Systems on the Reproductive Performance of Sows and the Losses and Growth of Piglets / P. Nevrlka, J. Sečkář, E. Weisbauerová [et al.]* // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14. – P. 1084. – DOI: 10.3390/agriculture14071084.
14. *Vandresen B., Chou J.-Y., Hötzel M.J.* How is pig welfare assessed in studies on farrowing housing systems? A systematic review // *Applied Animal Behaviour Science*. – 2024. – Vol. 275. – P. 106298. – DOI: 10.1016/j.applanim.2024.106298.
15. *Барсукова М.А.* Эффективность производства и выращивания молодняка свиней в условиях промышленного комплекса // *Теория и практика современной аграрной науки: сб. V национальной (всероссийской) науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 28 февраля 2022 г.* – Новосибирск, 2022. – С. 772–775. – EDN VPUZYH.
16. *Sánchez-Salcedo J.A., Yáñez-Pizaña A.* Effects of free farrowing system on the productive performance and welfare of sows and piglets // *Journal of Applied Animal Welfare Science*. – 2022. – Vol. 27 (1). – P. 1–11. – DOI: 10.1080/10888705.2021.2008935.
17. *Unlocking Sows' Welfare: The Farm-Level Economic Impact of Phasing out Farrowing Crates for Sows in the European Union's Pig Breeding Industry / A. Malak-Rawlikowska, E. Majewski [et al.]* // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14. – P. 187. – DOI: 10.3390/agriculture14020187.
18. *Welfare Health and Productivity in Commercial Pig Herds / P. Racewicz, A. Ludwiczak, E. Skrzypczak [et al.]* // *Animals*. – 2021. – Vol. 11. – P. 1176. – DOI: 10.3390/ani11041176.
19. *Backfat Thickness at Pre-Farrowing: Indicators of Sow Reproductive Performance, Milk Yield, and Piglet Birth Weight in Smart Farm-Based Systems / H.-S. Mun, K.M.B. Ampode, E.B. Laguna [et al.]* // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14. – P. 24. – DOI: 10.3390/agriculture14010024.
20. *Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows / S. Thongkhuy, SH. Chuaychu, P. Burarnrak [et al.]* // *Livestock Science*. – 2020. – Vol. 234. – P. 103983. – DOI: 10.1016/j.livsci.2020.103983.
21. *Knecht D., Śródoń S., Czyż K.* Does the Degree of Fatness and Muscularity Determined by Ultrasound Method Affect Sows' Reproductive Performance? // *Animals*. – 2020. – Vol. 10. – P. 794. – DOI: 10.3390/ani10050794.
22. *Ланкин В.С.* Роль взаимодействия «генотип–среда» в изменчивости пассивно-оборонительного поведения домашних свиней // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2011. – № 2(18). – С. 66–71. – EDN PAJHXZ.

23. Барсукова М.А., Ланкин В.С., Жучаев К.В. Изменчивость доместикационного поведения молодняка свиней скороспелой мясной породы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2010. – № 1(13). – С. 22–25. – EDN LLTBTN.
24. Благополучие и потенциал приспособленности локальных пород свиней Сибири / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Е.А. Борисенко [и др.]. – Новосибирск, 2022. – 218 с. – EDN GYZSDT.
25. Жучаев К.В., Борисенко Е.А., Барсукова М.А. Влияние процессов адаптации на генетический гомеостаз продуктивной популяции // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2010. – № 4(16). – С. 28–31. – EDN OZHYCR.
26. Нарожных К.Н. Влияние эколого-географических условий на концентрацию тяжелых металлов в селезенке герефордского скота, разводимого в условиях Новосибирской области и Алтайского края // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 4(57). – С. 111–117. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-111-117. – EDN NUFMKG.
27. Нарожных К.Н. Особенности аккумуляции и распределения тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 4. – С. 57–62. – DOI: 10.53859/02352451_2024_38_4_57. – EDN ASEGLG.
28. Narozhnykh K. Development of a Predictive Model for Iron Levels in Bovine Muscle Tissue Using Hair as a Predictor // Animals. – 2024. – Vol. 14. – P. 1028. – DOI: 10.3390/ani14071028.
29. Conover W.J. Practical Nonparametric Statistics // John Wiley & Sons. – 1999. – 608 p.
30. Kruskal W.H., Wallis A. Use of ranks in one-criterion variance analysis // Journal of the American Statistical Association. – 1952. – Vol. 47. – P. 583–621.
31. Influence of the metabolic state during lactation on milk production in modern sows / N.G.J. Costermans, N.M. Soede, A. Middelkoop [et al.] // Animal. – 2020. – Vol. 14, № 12. – P. 2543–2553. – DOI: 10.1017/S1751731120001536.
32. Peltoniemi O., Han T., Jinhyeon Y. Coping with large litters: management effects on welfare and nursing capacity of the sow // J Anim Sci Technol. – 2021. – № 63(2). – P. 199–210. – DOI: 10.5187/jast.2021.e46.
33. Improving sow welfare and outcomes in the farrowing house by identifying early indicators from pre-farrowing assessment / L. Vargovic, R.Z. Athorn, S. Hermes [et al.] // Journal of Animal Science. – 2022. – Vol. 100, № 11. – P. 294. – DOI: 10.1093/jas/skac294.

REFERENCES

1. Pietrosemoli S., Tang, C., Animal Welfare and Production Challenges Associated with Pasture Pig Systems: A Review, *Agriculture*, 2020, No. 10, pp. 223, DOI: 10.3390/agriculture10060223.
2. Broom D.M., Animal welfare: concepts and measurement, *Journal of Animal Science*, 1991, Vol. 69, No. 10, pp. 4167–4175, DOI: 10.2527/1991.69104167x.
3. Chantziaras I., Meyer D.De, Vrielinck L. [et al.], Environment-, health-, performance- and welfare-related parameters in pig barns with natural and mechanical ventilation, *Preventive Veterinary Medicine*, 2020, Vol. 183, pp. 105150, DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105150.
4. Delsart M., Pol F., Dufour B. [et al.], Pig Farming in Alternative Systems: Strengths and Challenges in Terms of Animal Welfare, Biosecurity, Animal Health and Pork Safety, *Agriculture*, 2020, Vol. 10, pp. 261, DOI: 10.3390/agriculture10070261.
5. Welfare Quality® Assessment Protocol for Poultry (Broilers, Laying Hens), *Welfare Quality® Consortium: Lelystad*, The Netherlands, 2009, 122 p.
6. Bombik T., Bombik E., Biesiada-Drzazga B., Animal welfare in terms of evaluation criteria and methods, *Przegląd Hod.*, 2013, Vol. 6, pp. 25–27.
7. Buller H., Blokhuis H., Lokhorst K. [et al.] Animal Welfare Management in a Digital World, *Animals*, 2020, No. 10, pp. 1779, DOI: 10.3390/ani10101779.
8. Orlov D.A., Zhuchaev K.V., Papshev S.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2014, No. 2(31), pp. 82–85, EDN SIBWYB. (In Russ.)
9. Afonyushkin V.N., Donchenko N.A., Bushmeleva P.V. [et al.], *Veterinarnyi vrach*, 2018, No. 4, pp. 63–68, EDN XWBHFF. (In Russ.)
10. Suetov N.V., Zhuchaev K.V., Kaufmann O., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2011, No. 3(19), pp. 66–71, EDN OYHZSL. (In Russ.)
11. Nielsen S.S., Alvarez J., Bicout D.J. [et al.], EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), *Scientific Opinion on the welfare of pigs on farm. EFSA Journal*, 2022, Vol. 20(8):7421, 319 pp., DOI: 10.2903/j.efsa.2022.7421.
12. Titto C.G., Ricci G.D., Behavioral and physiological changes in sows and piglets maintained in farrowing cages or open stalls during summer, *Journal of Veterinary Behavior*, 2023, Vol. 63, pp. 36–41, DOI: 10.1016/j.jveb.2023.05.001.
13. Nevrla P., Sečkář J., Weisbaueroá E. [et al.], The Effect of Different Farrowing Housing Systems on the Reproductive Performance of Sows and the Losses and Growth of Piglets, *Agriculture*, 2024, Vol. 14, pp. 1084, DOI: 10.3390/agriculture14071084.
14. Vandresen B., Chou J.-Y., Hötzel M.J., How is pig welfare assessed in studies on farrowing housing systems? A systematic review, *Applied Animal Behaviour Science*, 2024, Vol. 275, pp. 106298, DOI: 10.1016/j.applanim.2024.106298.

15. Barsukova M.A., *Teoriya i praktika sovremennoi agrarnoi nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Sbornik V natsional'noi (vserossiiskoi) nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Novosibirsk, 2022, pp. 772–775, EDN VPUZYH. (In Russ.)
16. Sánchez-Salcedo J.A., Yáñez-Pizaña A., Effects of free farrowing system on the productive performance and welfare of sows and piglets, *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 2022, Vol. 27(1), pp. 1–11, DOI: 10.1080/10888705.2021.2008935.
17. Malak-Rawlikowska A., Majewski E. [et al.], Unlocking Sows' Welfare: The Farm-Level Economic Impact of Phasing out Farrowing Crates for Sows in the European Union's Pig Breeding Industry, *Agriculture*, 2024, Vol. 14, pp. 187, DOI: 10.3390/agriculture14020187.
18. Racewicz P., Ludwiczak A., Skrzypczak E. [et al.], Welfare Health and Productivity in Commercial Pig Herds, *Animals*, 2021, Vol. 11, pp. 1176, DOI: 10.3390/ani11041176.
19. Mun H.-S., Ampode K.M.B., Laguna E.B. [et al.], Backfat Thickness at Pre-Farrowing: Indicators of Sow Reproductive Performance, Milk Yield, and Piglet Birth Weight in Smart Farm-Based Systems, *Agriculture*, 2024, Vol. 14, pp. 24, DOI: 10.3390/agriculture14010024.
20. Thongkhuy S., Chuaychu S.H., Burarnrak P. [et al.], Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows, *Livestock Science*, 2020, Vol. 234, pp. 103983, DOI: 10.1016/j.livsci.2020.103983.
21. Knecht D., Śródoń S., Czyż, K., Does the Degree of Fatness and Muscularity Determined by Ultrasound Method Affect Sows' Reproductive Performance? *Animals*, 2020, Vol. 10, pp. 794, DOI: 10.3390/ani10050794.
22. Lankin V.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2011, № 2(18), pp. 66–71, EDN PAJHXZ. (In Russ.)
23. Barsukova M.A., Lankin V.S., Zhuchaeв K.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2010, No. 1(13), pp. 22–25, EDN LLTBTN. (In Russ.)
24. Zhuchaeв K.V., Kochneva M.L., Borisenko E.A. [et al.], *Blagopoluchie i potentsial prispособlennosti lokal'nykh porod svinei Sibiri* (Well-being and fitness potential of local Siberian pig breeds), Novosibirsk, 2022, 218 pp, EDN GYZSDT.
25. Zhuchaeв K.V., Borisenko E.A., Barsukova M.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2010, No. 4(16), pp. 28–31, EDN OZHYCR. (In Russ.)
26. Narozhnykh K.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2020, No. 4(57), pp. 111–117, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-111-117, EDN NUFMKG. (In Russ.)
27. Narozhnykh, K.N., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2024, Vol. 38, No. 4, pp. 57–62, DOI: 10.53859/02352451_2024_38_4_57, EDN ASEGLG. (In Russ.)
28. Narozhnykh K., Development of a Predictive Model for Iron Levels in Bovine Muscle Tissue Using Hair as a Predictor, *Animals*, 2024, Vol. 14, pp. 1028, DOI: 10.3390/ani14071028.
29. Conover W.J., Practical Nonparametric Statistics, *John Wiley & Sons*, 1999, 608 p.
30. Kruskal W.H., Wallis A., Use of ranks in one-criterion variance analysis, *Journal of the American Statistical Association*, 1952, Vol. 47, pp. 583–621.
31. Costermans N.G.J., Soede N.M., Middelkoop A. [et al.], Influence of the metabolic state during lactation on milk production in modern sows, *Animal*, 2020, Vol. 14, No. 12, pp. 2543–2553, DOI: 10.1017/S1751731120001536.
32. Peltoniemi O., Han T., Jinhyeon Y., Coping with large litters: management effects on welfare and nursing capacity of the sow, *J Anim Sci Technol*, 2021, No. 63(2), pp. 199–210, DOI: 10.5187/jast.2021.e46.
33. Vargovic L., Athorn R.Z., Hermes S. [et al.], Improving sow welfare and outcomes in the farrowing house by identifying early indicators from pre-farrowing assessment, *Journal of Animal Science*, 2022, Vol. 100, No. 11, pp. 294, DOI: 10.1093/jas/skac294.

Информация об авторах:

М.А. Барсукова, кандидат биологических наук

И.А. Афанасьева, инженер-аналитик

К.Н. Нарожных, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

M.A. Barsukova, Candidate of Biological Sciences

I.A. Afanasyeva, Analytical engineer

K.N. Narozhnykh, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

МАССА МОЗГА, СЕРДЦА И ЛЕГКИХ У СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЛАНДРАС И ИХ АССОЦИАЦИЯ С БИОХИМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ**¹И.К. Бирюля, ²О.А. Зайко**¹ООО «Эланко Рус», Москва, Россия²ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия**E-mail:** irina.biryulya@gmail.com

Для цитирования: Бирюля И.К., Зайко О.А. Масса мозга, сердца и легких у свиней породы ландрас и их ассоциация с биохимическими показателями // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 151–157. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-151-157.

Ключевые слова: свиньи, порода ландрас, мозг, легкие, сердце.

Реферат. Генез внутренних систем органов обуславливается спектром различных факторов и характеризует темпы роста животных, их конституцию, устойчивость к заболеваниям, способность животных адаптироваться к условиям среды. Проведена оценка абсолютной массы легких, мозга и сердца свиней породы ландрас ирландской селекции. На ранних этапах технологического цикла была сформирована репрезентативная группа свиней с учетом их происхождения, пола, возраста, живой массы. Общее количество животных составило 12. Откорм животных проходил в крупном свиноводческом хозяйстве Алтайского края, где обеспечивались типовые условия содержания по стандартам мясного откорма животных. Вакцинация животных была проведена в соответствии с профилактическим планом, обеспечивался систематический ветеринарный контроль. В конце технологического цикла при достижении живой массы 100 кг проводился убой на основании действующей технологической инструкции. Определение абсолютной массы органов без окружающих структур устанавливали взвешиванием на весах с высоким классом точности. Полученные данные оценивали с использованием Microsoft Office Excel и языка программирования R в среде анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). Визуальная оценка показала отсутствие патолого-анатомических изменений органов. Во всех случаях на основании теста Шапиро–Уилка установлено нормальное распределение. У свиней медиана абсолютной массы легких составила 447,8 г, мозга – 81,6 г, для сердца 33,8 г; 95%-й доверительный интервал для массы мозга 45,33–98,42 г, для легких – 245,56–525,85 г и для сердца – 190,21–404,49 г. В статье приведены показатели изменчивости рассматриваемого признака. Установлена межпородная дифференциация свиней по массе легких и сердца.

BRAIN, HEART AND LUNG WEIGHT IN LANDRACE PIGS AND THEIR ASSOCIATION WITH BIOCHEMICAL INDICATORS**¹I.K. Biryulya, ²O.A. Zaiko**¹ООО «Elanko Rus», Moscow, Russia²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia**E-mail:** irina.biryulya@gmail.com

Keywords: pigs, landrace breed, brain, lungs, heart.

Abstract. The genesis of internal organ systems is determined by a spectrum of various factors and characterizes the growth rate of animals, their constitution, resistance to diseases and the ability of animals to adapt to environmental conditions. An assessment of the absolute weight of the lungs, brain and heart of Landrace pigs of Irish selection was carried out. At the early stages of the technological cycle, a representative group of pigs was formed, taking into account their origin, sex, age, and live weight. The total number of animals was 12. The fattening of the animals took place in a large pig-breeding farm in the Altai Territory, where standard living conditions were provided according to the standards of meat fattening of animals. Vaccination of animals was carried out in accordance with the preventive plan, and systematic veterinary control was provided. At the end of the technological cycle, when the live weight reached 100 kg, slaughter was carried out on the basis of the current technological instructions. The absolute mass of organs without surrounding structures was determined by weighing on scales with a high accuracy class. The obtained data were evaluated using Microsoft Office Excel and

the R programming language in the data analysis environment RStudio version 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). Visual assessment showed the absence of pathoanatomic changes in organs. In all cases, based on the Shapiro-Wilk test, a normal distribution was established. In pigs, the median absolute lung weight was 447.8 g, brain – 81.6 g, for the heart – 33.8 g; 95% confidence interval for the lungs – 245,56 - 525,85 g, for the brain - 45,33–98,42 g, for the heart – 190,21–404,49 g. The article provides indicators of variability of the trait in question. The interbreed differentiation of pigs by lung and heart weight has been established.

Продуктивность животных и качество мясной продукции зависят от кормовой базы, уровня селекционно-племенной работы [1, 2], содержания химических элементов в воде, почве, растениях [3, 4], эпизоотического состояния территорий и здоровья животных [5]. Для увеличения продуктивности породы ландрас в условиях Западной Сибири, а также изучения потенциала данной породы для скрещивания с другими породами важно изучение показателей продуктивности свиней породы ландрас, интродуцированных в новые для них условия среды [5, 6].

Оценка племенной ценности требуется для того, чтобы наиболее точно конвертировать в числовое выражение качество наследственной основы (отклонения от средних показателей в популяции, выраженные в соответствующих количественных единицах) [7–9]. Продуктивность конкретного животного и его племенная ценность зависят от условий окружающей среды [10, 11].

Исследуемая порода ландрас относится к беконному типу [12]. Характеризуется 60%-м чистым выходом постного мяса с тонкой жировой прослойкой с каждой туши [13]. Свиней породы ландрас систематически используют в селекции, повышая продуктивность. Чтобы ландрасы соответствовали заявленным требованиям, соблюдают правила размножения, ухода, выращивания и кормления [14, 15].

Для обеспечения контроля над процессами, происходящими в период роста и развития продуктивных животных [16], с целью улучшения индивидуальных характеристик, в том числе касающихся различных морфометрических качеств внутренних органов, важную роль имеет изучение индивидуальных особенностей животных, в том числе отмечается важная роль оценки морфометрических характеристик внутренних органов [17, 18]. Исследования подобного рода имеют значимый потенциал усиления научно-обоснованных подходов повышения продуктивных качеств гибридов животных местной и иностранной селекции [19, 20].

Легкие – крупный парный орган дыхания, в котором осуществляется газообмен между вдыхаемым воздухом и кровью. Визуальная оценка показала, что у исследуемых животных лёгкие

имеют форму конуса: вершина обращена вперед, основание расположено на диафрагме [21]. Легкие окружают сердце и заполняют собой практически всю грудную клетку, повторяя ее форму, за исключением средостения, в котором находятся сердце, пищевод, трахея и крупные сосуды. Отмечается, что у свиней лёгкие более округлые в сравнении с другими сельскохозяйственными животными. Их относительная масса – 0,85 %. Краниальная доля правого лёгкого одинарная, воздух к ней подходит через трахейный бронх. Средние (сердечные) доли не выступают за край дальше каудальных [22, 23].

Мозг свиней представляет собой ведущий орган центральной нервной деятельности. Головной мозг состоит из двух полушарий, обладающих большим количеством извилин. Наличие большого количества мозгового вещества свиньи ведет к наличию интеллекта у свиней, отмечается, что многие животноводы считают свиней очень умными животными. Они легко поддаются дрессировке и быстро запоминают команды, после прогулки всегда возвращаются к своей кормушке [24]. Научой принят тот факт, что соотношение белого и серого вещества в мозге свиньи такое же, как и у человека (60 : 40 белого и серого вещества).

Сердце свиней – ключевой орган сердечно-сосудистой системы. В норме светло-коричневого цвета, слой сердечного жира около 1 см, расположенный вдоль коронарного желоба, небольшой толщины. Сосудистый рисунок выражен обычно средне. Среднее значение массы сердца животных 260 г, сердце имеет эллипсоидную форму. Сердце у свиней четырехкамерное, имеет парные предсердия и желудочки [25, 26]. На предсердиях расположены два ушка полулунной формы с гладким мышечным рисунком. Геном свиней очень близок к человеческому. Научой описаны случаи трансплантации сердца пациентам гуманитарной медицины.

Данные о корреляции размеров указанных внутренних органов являются актуальными, среди научных публикаций присутствуют работы, описывающие морфометрические характеристики животных с учетом различных периодов развития и внешних воздействий на организм [27].

Целью данного исследования являлось изучение средней массы и изменчивости легких, мозга и сердца свиней породы ландрас в конце производственного цикла.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены на клинически здоровых свиньях породы ландрас, выращенных на промышленной основе в крупном свиноводческом комплексе Алтайского края. Было отобрано 12 животных с учетом их происхождения, пола, возраста и живой массы.

За период откорма животным был обеспечен регламентированный ветеринарный надзор, включающий плановое вакцинирование согласно регламенту. Содержание было типовым для мясного типа откорма и соответствовало ГОСТ 28839–2017. На различных этапах откорма кормление осуществлялось стандартными сбалансированными полнорационными комбикормами, соответствующими по номенклатуре гарантированных и дополнительных показателей ГОСТ Р 51550–2000 и ГОСТ Р 51850–2001, рекомендациям ВИЖ. В поении употреблялась вода из локального хозяйственно-питьевого источника водоснабжения.

Убой свиней с целью забора материала проводили при достижении живой массы 100 кг, руководствуясь ГОСТ 31476–2012, действующей технологической инструкцией к данному документу и ТР ТС 034/2013.

Из макроморфометрических показателей определяли абсолютную массу исследуемых органов сразу после извлечения на весах с высоким классом точности. Легкие взвешивали без плеврального мешка и структур, входящих и выходящих из ворот органа. Данные в работе приведены для одного легкого и одного полушария мозга.

Полученные данные обрабатывались с помощью ПО Microsoft Office Excel и среды анализа

данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC), язык программирования R. Оценивались следующие показатели: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, первый и третий квартили, интерквартильный размах, 95%-й доверительный интервал по 2,5 и 97,5 процентилям, максимальное и минимальное значение абсолютной массы органов, отношение крайних вариантов как результат деления максимального значения на минимальное. Определены доверительные интервалы (ДИ) для каждого органа 95 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важный критерий при оценке биологических и физиологических особенностей организма свиней имеет мониторинг роста и развития систем внутренних органов. В равной степени с функциональным важен и необходим анатомо-морфологический подход, потому что такой критерий, как размеры внутренних органов, это конституциональные признаки телосложения, позволяющие изучать признаки с позиции взаимосвязи массы тела и отдельных его частей с внутренними системами.

Изучено, что органы кровообращения, дыхания, выделения и другие являются звеньями единой системы организма. Изменения в одной из систем влечет за собой изменения в других [13].

В табл. 1 представлены данные, отражающие абсолютную массу легких, мозга и сердца свиней породы ландрас в конце технологического цикла. Во всех случаях на основании теста Шапиро–Уилка установлено нормальное распределение. В табл. 1 также демонстрируется, что мозг характеризуется средней массой 81,6 г, легкие 447,8 г, сердце 329,4 г. Определены доверительные интервалы для каждого органа: для мозга 45,33–98,42 г, для сердца 190,21–404,49 г, для легких 245,56–525,85 г.

Таблица 1

Масса внутренних органов у свиней породы ландрас, г
Weight of internal organs in Landrace pigs, g

Орган	$\bar{x} \pm S_x$	Me	Референсные значения	Нижний предел 95 % ДИ для x	Верхний предел 95 % ДИ для x	Lim	Отношение крайних вариантов
Сердце	329,4±10,8	33,8	251,48–427,13	190,21–283,71	404,49–479,34	249–372	1:1,5
Легкие	447,8 ± 16	446	315,08–570,01	245,56–354,17	525,85–646,15	377–565	1:1,5
Мозг	81,6 ± 3,0	82	58,01–106,11	45,33–65,49	98,42–116,69	61–97	1:1,6

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что изменчивость массы органов примерно

одинакова. Коэффициент вариации колеблется от 11,4 до 12,8.

Таблица 2

Изменчивость массы некоторых органов у свиней
Variability of the mass of some organs in pigs

Орган	Σ	$Q1$	$Q3$	IQR	Cv
Сердце	55,3	315	358,9	43,9	11,4
Легкие	55,3	399,2	476,1	76,9	12,4
Мозг	10,4	74,1	88,8	14,7	12,8

Важно знать не только среднее значение признаков, но и его изменчивость, так как в организме все взаимосвязано. Изучена корреляция между массой мозга и некоторыми биохимическими показателями.

Из данных, представленных в табл. 3 видно, что установлена высокая отрицательная корреляция между массой мозга и содержанием хлоридов ($r = -0,868$). В то же время не выявлено связи массы мозга с остальными биохимическими показателями.

Таблица 3

Связь массы мозга с биохимическими показателями сыворотки крови
Relationship between brain mass and serum biochemical parameters

Показатель	$r \pm Sr$
Хлориды	$-0,868 \pm 0,157^*$
Триглицериды	$0,413 \pm 0,288$
Альбумины	$0,288 \pm 0,303$
Лейкоциты	$0,433 \pm 0,319$
Масса сердца	$-0,332 \pm 0,298$
Масса легких	$0,669 \pm 0,235^*$

Установлена высокая отрицательная связь между массой мозга и биохимическими показателями белкового, углеводного, жирового и минерального обменов.

Изучена связь массы внутренних органов. Установлена высокая положительная связь между массой мозга и легких ($r = 0,669$).

В табл. 4 показаны сравнительные данные исследуемой группы животных породы ландрас и имеющих в литературе данных о средней массе внутренних органов свиней пород крупной белой и кемеровской, районированных в Запад-

ной Сибири [27, 28]. По данным литературы, животные крупной белой и кемеровской пород превосходили рассматриваемую группу ландрасов на 250 г по массе печени. У исследуемых животных породы ландрас масса легких была на 102 г ниже, чем у крупной белой и кемеровской. Полученные данные свидетельствуют о том, что среднее значение массы сердца у свиней породы ландрас более чем на 70 г выше в сравнении с другими исследуемыми породами. Средняя масса почек у исследуемой группы животных равна показателям у остальных пород.

Таблица 4

Сравнительные характеристики массы некоторых внутренних органов свиней различных пород свиней в Сибири
Comparative characteristics of the mass of some internal organs of pigs of different breeds of pigs in Siberia

Орган	Порода		
	Ландрас	Крупная белая	Кемеровская
1	2	3	4
Легкие	447,8	549,4 ²	550,6 ²

1	2	3	4
Сердце	329,4	266,9 ²	267,3 ²
Печень	1500 ¹	1750,8 ²	1756 ²
Почки	316,8 ¹	306,3 ²	320,6 ²

¹А.О. Зайко, И.К. Бирюля, Т.В. Коновалова – [28].

²И.И. Гудилин, В.Н. Дементьев, Е.А. Тараканов – [29].

Полученные в результате исследования данные свидетельствуют о достаточной степени сформированности исследованных органов с точки зрения морфологии у свиней породы ландрас в конце технологического цикла. Выявленные данные позволяют установить средний норматив абсолютной массы некоторых внутренних органов животных в условиях крупного животноводческого комплекса Западной Сибири. Данные отражают адаптационную способность животных, районированных в регионе. Очевидна необходимость продолжать исследования на больших выборках животных, стандартизируя исследования.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что у свиней ландрасской породы в конце стандартного технологического

цикла медиана абсолютной массы мозга составила 82,0 г, легких – 446,0 г, сердца – 33,8 г. Показано, что изменчивость массы легких, мозга и сердца была невысокой и не различалась между собой ($C_v = 12,8$).

2. Для массы мозга доверительный интервал был равен 45,33–98,42 г, для легких – 245,56–525,85 г и для сердца – 190,21–404,49 г.

3. Выявлено влияние породы на массу некоторых внутренних органов, что связано с особенностями конституции и характеризующими адаптационными способностями животных.

4. Показаны межпородные различия по массе некоторых внутренних органов свиней, районированных в Западной Сибири.

5. Установлена связь массы мозга и легких ($r = 0,669$). Выявлена отрицательная корреляция между массой мозга и хлоридами ($r = -0,868$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ильтяков А.В., Неупокоева А.С., Ступина Е.С. Убойные и мясные качества свиней разного генотипа // Актуальные проблемы АПК и инновационные пути их решения: сб. ст. по мат. Междунар. науч.-практ. конф., Курган, 15 апр. 2021 г. – Курган: Курган. гос. с.-х. акад. им. Т.С. Мальцева, 2021. – С. 196–201.
- Клименко Р.В. Мясная продуктивность и некоторые биологические особенности свиней разных генотипов при откорме до более тяжелых весовых кондиций: дис. ... канд. с.-х. наук. – Ставрополь, 2000. – 145 с.
- Генофонд и фенофонд сибирской северной породы и черно-пестрой породной группы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск: Прометей, 2012. – 579 с.
- Метод регулирования качества мяса молодняка свиней при гибридизации / О.Ю. Рудишин, Ч.М. Рудишина, В.Е. Горяев, С.В. Бурцева // Мясная индустрия. – 2007. – № 6. – С. 55–57.
- Анисимова К.А. Сравнительная морфология печени и поджелудочной железы свиней мясных пород на ранних этапах постнатального онтогенеза: дис. ... канд. вет. наук. – СПб., 2020. – 121 с.
- Внедрение системы объективной оценки качества туш свиней / А. Лисицин, Ю. Татулов, Т. Миттельштейн, А. Мирзоян // Свиноводство. – 1999. – № 5. – С. 22–24.
- Бирюля И.К. Влияние генофонда семейств на плодовитость свиноматок породы ландрас // Сб. науч. тр. Всерос. науч.-исслед. ин. овцеводства и козоводства. – Ставрополь: ВНИИОиК, 2015. – С. 735–738.
- Генофонд скороспелой мясной породы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск: Юпитер, 2005. – 631 с.
- Смирнова М., Смирнова В. Какая порода выгоднее // Животноводство России. – 2007. – № 10. – С. 27–28.
- Тихонов В.Н., Жучаев К.В. Микроэволюционная теория и практика пороодообразования свиней. – Новосибирск, 2008. – 395 с.
- Проблемы селекции сельскохозяйственных животных / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: СП «Наука» РАН, 1997. – 283 с.
- Бирюля И.К., Панов Б.Л. Влияние генотипов хряков на плодовитость и живую массу гнезда при рождении // Сб. науч. тр. по мат.-м междунар. науч.-практ. конф. – 2014. – Т. 3, вып. 7. – С. 314–315.

13. Князев С.П., Никитин С.В., Ермолаев В.И. Роль биологического ограничения максимальной массы новорожденного поросенка в вариации признака // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов, посвящ. 80-летию Новосибирского ГАУ. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2016. – С. 175–179.
14. Бирюля И.К., Панов Б.Л. Влияние генотипов хряков–производителей породы ландрас на перинатальную смертность потомства их дочерей // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 2. – С. 134–140.
15. Pattern of mortality of crossbred pigs in an organized swine production farm / S.K. Mondal, U.K. De, G.K. Das [et al.] // J. Livestock Sci. – 2012. – Vol. 3 – P. 37–44.
16. Лисицин А.Б., Чернуха И.М. Основные направления развития науки и технологий мясной промышленности // Мясная индустрия. – 2000. – № 2. – С. 10.
17. Особенности роста живой массы и формирования внутренних органов у животных импортных пород в различные возрастные периоды / Л.А. Федоренкова, Р.И. Шейко, Е.А. Янович [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси. – 2015. – Т. 50, № 1. – С. 190–196.
18. Кастуев В.В., Тедтова В.П., Маркарян М.М. Повышение пищевой ценности свинины // Мясная индустрия. – 2007. – № 4. – С. 4243.
19. Дроздова Л.И., Пузырников А.В. Морфология печени свиней в конце откорма при традиционных технологиях // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 11(141). – С. 20–23.
20. Заболотная А.А. Воспроизводительные качества свиноматок ирландской селекции при чистопородном разведении и скрещивании // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2012. – № 1. – С. 45–48.
21. Бирюля И.К. Влияние генных мутаций на развитие рака у животных // Мат-лы XI Сиб. вет. конф. «Topical problems in veterinary medicine the scientific conference». – Новосибирск. – 2012. – С. 50.
22. Генотип и фенотип сибирской северной породы и черно-пестрой породной группы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск: НГАУ, 2010. – 579 с.
23. Бирюля И.К., Панов Б.Л., Костомахин Н.М. Связь племенной ценности матерей и дочерей свиней породы ландрас // Главный зоотехник. – 2016. – №3. – С. 23–28.
24. Comparative studies on the brains of local breeds of pig (Landrace breed) and dog (Mongrel breed) / I.O. George, Hakeem Fawehinmi, Michael Oyakhire [et al.] // European journal of biological and pharmaceutical sciences. – 2020. Vol. 7, № 1. – P. 324–330.
25. Шевченко Б.П., Озерной Е.В. Морфологические особенности селезенки свиней породы ландрас в плодном и раннем постнатальном периодах развития // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (46). – С. 185–189.
26. Бирюля И.К., Короткевич О.С. Гематологический статус свиней породы ландрас в условиях промышленного свиного комплекса «Алтаймясопром» // Актуальные проблемы развития АПК в работах молодых ученых Сибири: Мат-лы XI регион. науч.-практ. конф. молодых ученых Сибирского федерального округа. – Новосибирск – 2015. – С. 112–115.
27. Соколов Н., Гончарова Г. Результаты селекции свиней пород ландрас и дюрок в условиях свиного комбината // Свиноводство. – 2003. – № 6. – С. 2–3.
28. Абсолютная масса внутренних органов свиней породы ландрас, выращенных в Западной Сибири. // А.О. Зайко, И.К. Бирюля, Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1(66). – С. 114–122. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-114-122.
29. Кемеровская порода свиней / И.И. Гудилин, В.Н. Дементьев, Е.А. Тараканов [и др.]. – Новосибирск, 2003. – 388 с.

REFERENCES

1. Il'tjakov A.V., Neupokoeva A.S., Stupina E.S., *Aktual'nye problemy APK i innovacionnye puti ih reshenija* (Current problems of the agro-industrial complex and innovative ways to solve them), Proceedings of the conference Title, Kurgan: Kurgan. gos. s.-h. akad. im. T.S. Mal'ceva, 2021, pp. 196–201. (In Russ.)
2. Klimenko P.B., *Mjasnaja produktivnost' i nekotorye biologicheskie osobennosti svinej raznyh genotipov pri otkorme do bolee tjazhelyh vesovyh populjacij* (Meat productivity and some biological characteristics of pigs of different genotypes when fattened to heavier weight conditions), Candidate of Science Dissertation, Stavropol', 2000, 145 p.
3. Petuhov V.L., Tihonov V.N., Zheltikov A.I. [i dr.], *Genofond i fenofond sibirskoj severnoj porody i cherno-pestroj porodnoj grupy svinej* (Gene pool and phenopool of the Siberian northern breed and the black-and-white breed group of pigs), Novosibirsk: Prometej, 2012, 579 p.
4. Rudishin O.Ju., Rudishina Ch.M., Gorjaev V.E., Burceva C.B., *Mjasnaja industrija*, 2007, № 6, pp. 55–57. (In Russ.)
5. Anisimova K.A., *Sravnitel'naja morfologija pecheni i podzheleudochnoj zhelezy svinej mjasnyh porod na rannih etapah postnatal'nogo ontogeneza* (Comparative morphology of the liver and pancreas of meat breed pigs at early stages of postnatal ontogenesis), Candidate of Science Dissertation, SPb., 2020, 121 p.

6. Lisicin A., Tatulov Ju., Mittelyntejn T., Mizsojan A., *Svinovodstvo*, 1999, No. 5, pp. 22–24. (In Russ.)
7. Birjulja I.K., *Innovacionnye razrabotki molodyh uchenyh – razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa* (The influence of the gene pool of families on the fertility of Landrace sows), Proceedings of the conference Title, Stavropol': VNI-IOiK, 2015, pp. 735–738. (In Russ.)
8. Petuhov V.L., Tihonov V.N., Zheltikov A.I. [i dr.], *Genofond skorospeloy mjasnoj porody svinej* (Gene pool of early maturing meat breed of pigs), Novosibirsk: Jupiter, 2005, 631 p.
9. Smirnova M., Smirnova V., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2007, No. 10, pp. 27–28. (In Russ.)
10. Tihonov V.N., Zhuchayev K.V., *Mikroevoljucannaja teorija i praktika porodoobrazovanija svinej* (Microevolutionary theory and practice of breed formation in pigs), Novosibirsk, 2008, 395 p.
11. Panov B.L., Petuhov V.L., Jernst L.K. [i dr.], *Problemy selekcii sel'skhozajstvennyh zhivotnyh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk: Sib. predpr. «Nauka» RAN, 1997, 283 p.
12. Birjulja I.K., Panov B.L., *Vlijanie genotipov hrjakov na plodovitost' i zhivuju massu gnezda pri rozhdenii* (Effect of boar genotypes on fertility and litter live weight at birth), Proceedings of the conference Title, 2014, T. 3, vyp. 7, pp. 314–315. (In Russ.)
13. Knjazev S.P., Nikitin S.V., Ermolaev V.I., *Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa* (Актуальные проблемы агропромышленного комплекса), Proceedings of the conference Title, Novosibirsk: IC «Zolotoj kolos», 2016, pp. 175–179. (In Russ.)
14. Birjulja I.K., Panov B.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2016, vyp. 2, pp. 134–140. (In Russ.)
15. Mondal S.K., De U.K., Das G.K. [et al.], Pattern of mortality of crossbred pigs in an organized swine production farm, *J. Livestock Sci.*, 2012, Vol. 3, pp. 37–44.
16. Lisicin A.B., Chernuha I.M., *Mjasnaja industrija*, 2000, No. 2, pp. 10. (In Russ.)
17. Fedorenkova L.A., Shejko R.I., Janovich E.A. [i dr.], *Zootekhnicheskaja nauka Belarusi*, 2015, T. 50, No. 1, pp. 190–196. (In Russ.)
18. Kastuev V.V., Tedtova V.P., Markarjan M.M., *Mjasnaja industrija*, 2007, No. 4, pp. 4243. (In Russ.)
19. Drozdova L.I., Puzrynikov A.V., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2015, No. 11 (141), pp. 20–23. (In Russ.)
20. Zabolotnaja A.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2012, No. 1, pp. 45–48. (In Russ.)
21. Birjulja I.K., *Topical problems in veterinary medicine the scientific conference*, Proceedings of the conference Title, Novosibirsk, 2012, pp. 50. (In Russ.)
22. Petuhov V.L., Tihonov V.N., Zheltikov A.I. [i dr.], *Genofond i fenofond sibirskoj severnoj porody i cherno-pestroj porodnoj grupy svnej* (Gene pool and phenopool of the Siberian northern breed and the black-and-white breed group of pigs), Novosibirsk: NGAU, 2010, 579 p.
23. George I.O., Hakeem Fawehinmi, Michael Oyakhire [et al.], Comparative studies on the brains of local breeds of pig (Landrace breed) and dog (Mongrel breed), *European journal of biological and pharmaceutical sciences*, 2020, Vol. 7, No. 1, pp. 324–330.
24. Shevchenko B.P., Ozernoi E.V., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No. 2 (46), pp. 185–189. (In Russ.)
25. Biryulya I.K., Korotkevich O.S., *Aktual'nye problemy razvitiya APK v rabotakh molodykh uchenykh Sibiri* (Current problems of development of the agro-industrial complex in the works of young scientists of Siberia), Novosibirsk, 2015, pp. 112–115. (In Russ.)
26. Sokolov N., Goncharova G., *Svinovodstvo*, 2003, No. 6, pp. 2–3. (In Russ.)
27. Zaiko O.A., Biryulya I.K., Konovalova T.V. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 1(66), pp. 114–122, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-114-122. (In Russ.)
28. Gudilin I.I., Dement'ev V.N., Tarakanov E.A. [i dr.], *Kemerovskaya poroda svinei* (Kemerovo breed of pigs), Novosibirsk, 2003, 388 p.

Информация об авторах:

И.К. Бирюля, менеджер по работе с ключевыми клиентами
О.А. Зайко, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

I.K. Biryulya, Key Account Manager
O.A. Zaiko, PhD in Biology, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

АКТУАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ПАТОГЕННОСТИ ВИРУСНЫХ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БОЛЕЗНЕЙ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

¹В.С. Бряднов, ^{1,2}Н.Н. Шкиль

¹ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирская обл., п. Краснообск, Россия

E-mail: nicola07@mail.ru

Для цитирования: Бряднов В.С., Шкиль Н.Н. Актуальные факторы патогенности вирусных и бактериальных возбудителей болезней молодняка крупного рогатого скота // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 158–167. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-158-167.

Ключевые слова: патогенность микроорганизма, коронавирус, ротавирус, калицивирус, торовирус, норовирус крупного рогатого скота.

Реферат. Инфекционные патологии животных остаются основной проблемой на пути высокой продуктивности, сохранности и, как следствие, продуктивного долголетия животных, что определяет в конечном итоге рентабельность сельскохозяйственного промышленного производства продуктов животного происхождения. Возможность развития патологий обуславливают специфические вещества преимущественно органического происхождения (белки, ферменты, токсины, гликопептиды и др.), которые определяют набор узкоспецифических патогенных свойств микроорганизмов. В связи с этим растет интерес и необходимость в изучении патогенных свойств вирусов и бактерий, обуславливающих ряд механизмов, обеспечивающих нейтрализацию защитных иммунных механизмов животных (адгезивная, антикомплемментарная, антилактоферриновая, антигемоглобиновая, антилизозимная активность, биопленкообразование, антибиотикорезистентность и др.). Изучение и разработка эффективных методов противодействия этим факторам патогенности возможна только с учетом изучения и поиска практического применения специфических веществ в виде вакцин и препаратов. Многочисленными исследованиями в качестве инфекционных агентов, вызывающих патологию желудочно-кишечного тракта с синдромом диареи у телят, наиболее часто выделяют ротавирус крупного рогатого скота, коронавирус крупного рогатого скота, вирус вирусной диареи крупного рогатого скота, бычий калицивирус и торовирус крупного рогатого скота, а также бактерии *Salmonella* spp., *E. coli*, *C. perfringens* и *C. parvum*. Проведенные данные обзора факторов патогенности бактерий и вирусов показывают их многообразие, которое обуславливает различные формы течения и проявления инфекционных патологий. Мониторинг и дальнейшие изучения антигенного профиля инфекционных возбудителей позволяют своевременно разрабатывать актуальные диагностические тесты их идентификации. Изучение белковых антигенных белков позволяет разрабатывать средства лечения и профилактики инфекционных болезней животных.

CURRENT PATHOGENICITY FACTORS OF VIRAL AND BACTERIAL PATHOGENS OF YOUNG CATTLE

¹V.S. Bryadnov, ^{1,2}N.N. SHkil

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk village, Russia

E-mail: nicola07@mail.ru

Keywords: pathogenicity of the microorganism, coronavirus, rotavirus, calicivirus, norovirus, bovine norovirus.

Abstract. Infectious pathologies of animals remain the main problem on the path of high productivity, preservation and, as a result, productive longevity of animals and ultimately determines the profitability of agricultural industrial production of animal products. The possibility of developing pathologies is caused by specific substances of predominantly organic origin (proteins, enzymes, toxins, glycopeptides, etc.), which cause a set of highly specific pathogenic properties of microorganisms. In this connection, there is a growing interest and need to study the pathogenic properties of viruses and bacteria, which cause a number of mechanisms that ensure

the neutralization of protective immune mechanisms of animals (adhesive, anti-complementary, anti-lactoferrin, antihemoglobin, anti-lysozyme activity, biofilm formation, antibiotic resistance, etc.). The study and development of effective methods to counteract these pathogenicity factors is possible only taking into account the study and search for the practical application of specific substances in the form of vaccines and drugs. Numerous studies of infectious agents causing pathology of the gastrointestinal tract with diarrhea syndrome in calves, according to statistics, distinguish the most common - bovine rotavirus, bovine coronavirus, bovine viral diarrhea virus, bovine calicivirus and bovine torovirus, as well as bacteria - Salmonella spp., E. coli, C. perfringens and C. parvum. The data from the review of the pathogenicity factors of bacteria and viruses show their diversity, which causes various forms of the course and manifestations of infectious pathologies. Monitoring and further study of the antigenic profile of infectious pathogens allows timely development of relevant diagnostic methods for their identification. The study of protein antigenic proteins makes it possible to develop means for the treatment and prevention of infectious animal diseases.

Инфекционные патологии различных органов и систем организма животных остаются основным препятствием для их продуктивности и сохранности. В связи с этим растет интерес и необходимость в изучении патогенных свойств вирусов и бактерий, которые включают различные токсины, белки и другие биологически активные вещества, обуславливающие ряд механизмов, обеспечивающих нейтрализацию защитных иммунных механизмов животных (адгезивная, антикомплемментарная, антилактоферриновая, антигемоглобиновая, антилизоцимная активность, биопленкообразование, антибиотикорезистентность и др.). Изучение и разработка эффективных методов противодействия этим факторам патогенности возможны только с учетом изучения и поиска практического применения специфических веществ в виде вакцин и препаратов.

По многочисленным исследованиям в качестве инфекционных агентов, вызывающих патологию желудочно-кишечного тракта с синдромом диареи у телят, наиболее часто выделяют ротавирус крупного рогатого скота (BRV), коронавирусы крупного рогатого скота (BCoV), вирус вирусной диареи крупного рогатого скота (BVDV), бычий калицивирус и торовирус крупного рогатого скота (BToV), а также бактерии *Salmonella* spp, *E. coli*, *C. perfringens* и *C. parvum* [1].

Ротавирус крупного рогатого скота (BRV) является основным этиологическим агентом диареи телят, принадлежащим к роду *Rotavirus* семейства *Reoviridae*, представляет собой безоболочечный вирион, содержащий 11 двухцепочечных сегментов РНК, термолабилен и очень стабильный в широком диапазоне pH [2]. Существует семь серогрупп (от А до G) ротавирусов, основанных на антигенном и генетическом сходстве промежуточного капсидного белка (VP6). Ротавирусы группы А являются основной причиной ротавирусной инфекции у домашних животных [3]. Большинство BRV (95 %) относятся к группе А, хотя ротавирусы групп В и С также были

идентифицированы в полевых случаях [4]. Ротавирусы группы А могут быть дополнительно классифицированы на типы Р или G на основе генетического и антигенного сходства VP4 (чувствительный к протеазе белок) и VP7 (гликопротеин), которые составляют внешний капсид вириона и индуцируют выработку противовирусных нейтрализующих антител. Известно о шестнадцати G- и двадцати семи Р типах вируса у домашних животных. Ротавирусы крупного рогатого скота относятся к типам G1, G6, G8 или G10, при этом G6 и G10 наиболее распространен [5, 6]. Белки VP4, VP6 и VP7 играют важную роль в поддержании структуры вируса, прикреплении вируса и антигенности, неструктурный гликопротеин 4 (NSP4) играет особую роль в качестве вирусного энтеротоксина. Этот белок также влияет на клеточный гомеостаз, увеличивая приток ионов кальция в цитоплазму [7]. Эти изменения объясняют резкие изменения в движении питательных веществ и воды через кишечный эпителий и более важны для вирусного патогенеза, чем гистопатологические поражения.

Чтобы охарактеризовать клеточные рецепторы к ротавирусу, мы использовали детергент октил-бета-D-глюкопиранозид (octyl-glucoside/OG) для выделения рецепторов к ротавирусам крупного рогатого скота, обезьян, свиней и человека из клеток MA104 и HT29. Концентрация октилглюкозида в 0,2 % значительно снижала восприимчивость обработанных клеток к инфекции, сохраняя при этом их метаболическую активность, в результате истощенные рецепторы были способны к регенерации. Периодическая обработка октилглюкозидных экстрактов MA104 и HT29 значительно снизила способность этих экстрактов нейтрализовать ротавирусную инфекцию, выявив углеводы в качестве компонентов выделенных рецепторов для Wa и NCDV. Обработка клеток MA104 метаболическими ингибиторами туникамицином, дезоксиманноиримицином и бензилгалнаком показала, что при инфицировании

некоторыми штаммами ротавируса N-связанный углевод может быть более важным, чем O-связанный. Кроме того, включив циклогексимид в процесс регенерации истощенных рецепторов, мы обнаружили доказательства того, что ротавирус свиньи CRW8 может использовать рецептор на основе гликолипидов, в то время как NCDV и Wa используют гликопротеин. Регенерирующие свойства ротавирусных рецепторов позволили повторно собирать молекулы клеточной поверхности с помощью октилглюкозида в течение нескольких дней подряд, и эти экстракты были использованы для визуализации связывания вируса с помощью блот-анализа с наложением белка на вирус (VOPBA). Используя VOPBAs, мы обнаружили, что как Wa, так и NCDV, по-видимому, распознают белки примерно одинаковой молекулярной массы, присутствующие в клетках MA104 и HT29 [8].

Коронавирус крупного рогатого скота (BCoV) представляет собой оболочечный вирус с геномом из одноцепочечной РНК. Этот патоген является представителем (Betacoronavirus 1) рода Betacoronavirus, который ранее был классифицирован как коронавирусы группы 2a [9]. Вирусная инфекция может проявляться тремя различными клиническими синдромами у крупного рогатого скота: а) диарея у телят в возрасте от одной до двух недель; б) зимняя дизентерия с геморрагическим поносом у взрослых животных; в) респираторные заболевания, включая комплекс респираторных заболеваний крупного рогатого скота как у молодняка, так и у взрослого крупного рогатого скота. Белок шипа (S) вируса играет важную роль в проникновении вируса и патогенезе, помимо способности нейтрализовать антитела. Белок S состоит из двух субъединиц (S1 и S2) и имеет решающее значение для взаимодействия «вирус–хозяин». Субъединица S1 способствует связыванию вируса с рецепторами клеток-хозяев, а субъединица S2 функционирует при слиянии вирусной оболочки с клеточными мембранами хозяина [10]. Вирусная инфекция начинается в тонком кишечнике и обычно распространяется по всему тонкому и толстому кишечнику. Микроскопически ворсинки пораженной тонкой кишки и крипты толстой кишки атрофируются, а собственная пластинка некротизируется. Первоначально белок S и белок гемагглютинин-эстераза (HE) вируса прикрепляются и сливаются с эпителиальными клетками кишечника [11]. Вирус реплицируется в энтероцитах, и вирусы-потомки высвобождаются посредством нормального се-

креторного механизма и лизиса клеток. Зрелые ворсинчатые эпителиальные клетки являются основной мишенью вируса, хотя энтероциты крипт также поражаются. Клинические признаки у пораженных животных часто имеют более длительную продолжительность из-за повреждения вирусом энтероцитов.

Вирус вирусной диареи крупного рогатого скота (BVDV) представляет собой оболочечный одноцепочечный РНК-вирус рода Pestivirus, семейства Flaviviridae [12] и делится на два типа (BVDV1 и BVDV2) на основе сходства последовательностей 5'-нетранслируемой области (UTR) в вирусном геноме. В дополнение к этим двум типам BVDV3 недавно был предложен в качестве экспериментального вида вместе с другими видами Pestivirus (вирусом пограничной болезни типа 2, Pronghorn и Bungowannah) [4]. Каждый тип можно далее разделить на два биотипа (цитопатический и нецитопатический) в зависимости от их способности вызывать литические цитопатические эффекты в клеточной культуре. Нечитопатические штаммы BVDV ответственны за стойкую инфекцию вируса у крупного рогатого скота. На сегодняшний день известно о 15 (от BVDV1a до BVDV1o) субгенотипов BVDV1 и два (BVDV2a и BVDV2b) субгенотипа BVDV2 [12, 13]. BVDV1a, BVDV1b и BVDV2a являются наиболее распространенными субгенотипами в популяциях крупного рогатого скота в США [14]. BVDV1c является наиболее распространенным субгенотипом в Австралии [15].

Торовирус крупного рогатого скота (BToV) представляет собой оболочечный РНК-вирус, принадлежащий к роду Torovirus семейства Coronaviridae, порядка Nidovirales, наряду с торовирусом лошадей, торовирусом свиньи и торовирусом человека. Торовирусы являются инфекционными агентами желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота и преобладающей причиной острой кишечной инфекции у поросят и детей [16]. Выделение BToV с фекалиями телят, страдающих диареей, было зарегистрировано во всем мире, включая США, Канаду, Коста-Рику, Южную Корею, Нидерланды, Германию, Венгрию, Австрию, Японию и Южную Африку в 1982–2008 гг. [17–19]. Морфологическое сходство и антигенная перекрестная реактивность между торовирусами человека и крупного рогатого скота вызвали беспокойство по поводу потенциальной зоонозной природы BToV. Торовирусы крупного рогатого скота могут вызывать диарею от легкой до умеренной степени тяжести у моло-

дых телят в возрасте до трех недель [20]. После пероральной или назальной инокуляции вирусом эпителиальные клетки в средней и нижней частях кишечных ворсинок, распространяющиеся в эпителий крипт, инфицируются, что приводит к гибели клеток и десквамации эпителия в тонкой кишке вместе с некрозом в толстой кишке [21]. Повреждение ворсинчатых и скрытых энтероцитов вызывает мальабсорбтивную/ мальдигестивную диарею. От 30 до 50 % поражений, вызванных вирусом, присутствует в верхних отделах тонкой кишки, что может быть причиной легкой или умеренной диареи у пораженных животных [22]. Подобно BCoV антиген BToV и вирусная РНК были обнаружены в выделениях из носа, но роль этих факторов в респираторных заболеваниях еще предстоит выяснить [23].

Изучение особенностей патогенного проявления действий вируса на тест-объекты (гемагглютинирующая и др.) определяет развитие и тяжесть течения болезни, что обосновывает глубокое и всестороннее изучение их биологических свойств. При сравнительном исследовании Aichi/2004 и четырех цитопатогенных штаммов торовируса крупного рогатого скота (BToV), которые были выделены из фекалий крупного рогатого скота, страдающего диареей, с использованием клеточной линии HRT-18 было проведено сравнение их генетических и антигенных свойств. Цитопатогенные свойства изолятов BToV в клетках HRT-18 были аналогичны таковым у штамма Aichi/2004, однако ни один из изолятов не продемонстрировал цитопатогенного действия на клетки HRT-18 различного происхождения, что позволяет предположить, что один из существенных факторов, способствующих цитопатогенности BToV, зависит от свойств самих клеток HRT-18. Все выделенные BToV были способны агглютинировать мышинные эритроциты, но не куриные, при этом у них отсутствовала активность фермента, разрушающего рецепторы. Анализ N-конца гена spike показал, что три изолята, но не штамм Gifu-2007TI/E, филогенетически относятся к кластеру 1 и его аналогам и проявляют высокую перекрестную реактивность друг с другом, что подтверждается анализами нейтрализации (NT) и ингибирования гемагглютинации (HI). Штамм Gifu-2007TI/E был отнесен к группе 2 и проявлял относительно низкую перекрестную реактивность с этими вирусами; однако этого различия было недостаточно для классификации BToV на серотипы, что позволяет предположить, что по меньшей мере два подтипа различимы по структуре N-конца

гена spike и что могут существовать тесты как на NT, так и на HI [24].

Прикрепление вируса к клеткам-хозяевам осуществляется специальными белками вириона, которые специфически распознают одну или, самое большее, ограниченное количество молекул на поверхности клетки. Связывание с рецепторами часто включает в себя межбелковые взаимодействия, но углеводы также могут служить детерминантами рецепторов. На самом деле, многие вирусы используют представителей семейства сialовых кислот либо в качестве основного рецептора, либо в качестве исходного фактора прикрепления. Сialовые кислоты (Sia) – это отрицательно заряженные 9-углеродные моносахариды, обычно встречающиеся в виде концевых остатков гликоконъюгатов. Они представлены в большом разнообразии и по-разному экспрессируются в клетках и тканях. Воздействуя на определенные подтипы Sia, вирусы добиваются избирательности к клеткам-хозяевам, но только до определенной степени. Выбранный Sia все еще может в изобилии присутствовать на неклеточных молекулах, не связанных с клетками, на клетках-мишенях (включая клетки, которые уже инфицированы) и даже на самих вирусных частицах. Это представляет опасность, поскольку связывание высокоаффинного вириона с любым из таких «ложных» рецепторов может привести к потере инфекционности. Некоторые оболочечные РНК-вирусы решают эту проблему, кодируя ферменты, разрушающие рецепторы, ассоциированные с вирионами (RDE). Эти ферменты делают прикрепление к Sia обратимым, тем самым обеспечивая вирусу возможность избежать заражения. RDE бывают двух типов: нейраминидазы и сialат-О-ацетилэстеразы. Последние, первоначально обнаруженные у вируса гриппа С, также обнаруживаются у некоторых нидовирусов, а именно у коронавирусов группы 2 и торовирусов [25].

Одним из важных факторов, обеспечивающих патогенный потенциал вирионов, являются гемагглютининэстеразы (ГЭК), близкородственные гликопротеины оболочки вируса гриппа С, корона- и торовирусов, опосредуют обратимое присоединение к О-ацетилированным сialовым кислотам (Sias). Они делают это, действуя как лектины, так и ферменты, разрушающие рецепторы, – функции, выполняемые отдельными белковыми доменами. Дивергенция сопровождалась изменениями в четвертичной структуре и специфичности рецепторов и субстратов. Селек-

тивные силы, лежащие в основе разнообразия HE, и молекулярная основа специфичности Sia изучены недостаточно. Здесь мы представляем кристаллические структуры торовирусов свиней и крупного рогатого скота HEs в комплексе с аналогами рецепторов. Торовирусные ГЭК образуют гомодимеры с сиалят-О-ацетилэстеразными доменами, почти идентичными соответствующим доменам в ортомиксо- и коронавирусных ГЭК, но с уникальными лектиновыми участками. Структурный биохимический анализ эстеразных доменов показал, что функционально, но не структурно консервативное взаимодействие аргинин-карбоксилат Sia имеет решающее значение для связывания и позиционирования гликозидно связанных с Sia. Это взаимодействие необходимо для эффективного де-О-ацетилирования Sia, которое не требуется для катализа и не влияет на специфичность субстрата. Изучение HE дает фундаментальное представление о механизмах связывания с субстратом, распознавания субстрата и отбора рецепторов в этом важном классе вирионных белков [26].

Норовирус крупного рогатого скота (BNoV) представляет собой одноцепочечный РНК-вирус без оболочки, принадлежащий к роду *Norovirus* семейства *Caliciviridae*. Пять геногрупп (от GI до GV) были идентифицированы на основе сходства последовательностей открытых рамок считывания (ORF) 2 (VP1: основной капсидный белок) и 3 (VP2: минорный капсидный белок) из-за высокого генетического разнообразия среди норовирусов (NoV) BNoV принадлежат к GIII, который включает два штамма-прототипа, вирусы Jena (генотип 1; GIII-1) и Newbury 2 (генотип 2; GIII-2), и филогенетически отличаются от вирусов человека (GI, GII и GIV), свиней (GII-11, GII-18 и GII-19) и мышиных (GV) NoVs [27–30]. Возможность межвидовой передачи NoV была продемонстрирована в исследовании, в котором гнотобиотические свиньи были инфицированы человеческим штаммом NoV, что вызвало беспокойство по поводу зоонозного потенциала этого вируса во всем мире [31]. Частота обнаружения BNoV с использованием молекулярных методов сильно различалась в разных странах и колебалась от 7,5 до 49,6 %. Все идентифицированные BNoVs филогенетически отличаются от NoV человека, что позволяет предположить, что зоонозный потенциал BNoVs очень низок. Норовирусы являются основной причиной острых и спорадических небактериальных гастроэнтеритов у людей (как взрослых, так и детей), а также

вызывают желудочно-кишечные заболевания у животных (крупный рогатый скот, свиньи, собаки и норки) [30]. Экспериментальное исследование заражения штаммом Jena BNoV на новорожденных телятах, инфицированных оральным путем продемонстрировало, что вирус инфицировал эпителиальные клетки тонкой кишки и вызывал атрофию ворсинок (в тощей и подвздошной кишке), приводящую к диарее с выделением вируса, но не сероконверсии. Также сообщалось об обнаружении BNoV в фекалиях клинически здорового крупного рогатого скота [32–35], поднимались вопросы о клиническом значении BNoV.

Норовирусы крупного рогатого скота, вызывающие кишечные инфекции, образуют III геногруппу, отличную от двух геногрупп норовирусов человека, I и II. В результате частичного геномного анализа выделены два генотипа III геногруппы. При исследовании полноразмерной последовательности генома Bo/Newbury2/76/UK и более современного вируса, подобного Newbury2, Bo/Dumfries/1994/UK, установлено, что оба вируса имеют длину 7311 нуклеотидов и имеют три открытые рамки считывания (ORF), характерные для аминокислотных оснований норовирусов и 95,0 % или более аминокислотной идентичности друг другу во всех областях их генома. Помимо области ARF1 Gtpase, их области ORF1 имели идентичность менее чем на 90,0 % с генотипом 1 вируса Bo/Jena/80/DE геногруппы III, что подтверждало два генотипа III геногруппы. С помощью ИФА было продемонстрировано тесное антигенное родство между вирусами генотипа 2, что позволит провести их серологическую диагностику [36].

Помимо норовирусов, семейство *Caliciviridae* включает в себя четыре других общепринятых рода: саповирус, лаговирус, везивирус и небовирус. Предложено шесть новых родов: рековирус, валовирус, бавовирус, нацовирус, миновирус и саловирус. Все *Caliciviridae* имеют тесно связанные структуры генома, но генетически и антигенно сильно различаются и заражают широкий спектр видов млекопитающих-хозяев, включая человека. Рекомбинация генома в природе нередко для большинства *Caliciviridae*, что способствует их разнообразию. Саповирусные инфекции вызывают диарею у свиней, людей и других млекопитающих-хозяев. Лаговирусные инфекции вызывают системные геморрагические заболевания у кроликов и зайцев, а везивирусные инфекции приводят к заболеваниям легких у кошек, везикулярной болезни у свиней, экзантеме

и заболеваниям репродуктивной системы у крупных морских млекопитающих. Небовирусы – это кишечные возбудители крупного рогатого скота, отличающиеся от норовируса крупного рогатого скота. В настоящее время только несколько отобранных калицивирусов могут быть размножены в культуре клеток, и для большинства культивируемых калицивирусов были созданы системы обратной генетики, не содержащие вирус-хелперов, основанные только на плазидах. Циклы репликации калицивирусов схожи в том, что касается их изучения: вирусы взаимодействуют с множеством факторов прикрепления к клеточной поверхности (гликанами) и корецепторами (белками) для адсорбции и проникновения, используют клеточные мембраны для образования репликационных комплексов и разработали механизмы обхода врожденных иммунных реакций [37].

Небовирусы принадлежат к роду *Nebovirus* семейства *Caliciviridae*. Вирусный геном содержит две рамки считывания: ORF1 – кодирует неструктурные белки и капсидный белок и ORF2 – кодирует малые основные белки с неизвестными функциями. Штаммы Ньюбери-1 и Небраска образуют два различных генотипа, которые были связаны со случаями диареи телят в Великобритании (1978 г.) и Небраске, США (1980 г.). Выявление небовируса регистрировали во Франции (2011 г.), Италии (2011 г.) и Южной Корее (2008 г.). Зарегистрированная распространенность небовирусов у телят с диареей колеблется от 7 до 28,0 % в зависимости от географического положения. Установлено генетическое разнообразие среди небовирусов наряду с идентификацией нового генотипа. Подобно BNoVs, поражения, вызванные небовирусом, наблюдаются в основном в тощей и подвздошной кишках с атрофией ворсинок, потерей энтероцитов ворсинок и гиперплазией крипт при заражении вирусом телят гнотобионтов [29, 38, 39].

Clostridium perfringens – грамположительная спорообразующая анаэробная бактерия, вызывающая широкий спектр заболеваний у млекопитающих и птиц, включающая пять типов токсинов (A, B, C, D и E) на основе продукции четырех основных токсинов: альфа (α), бета (β), эпсилон (ϵ) и йота (ι). Штаммы типа A продуцируют только α -токсин, штаммы типа B продуцируют α -, β - и ϵ -токсины; штаммы типа C производят α - и β -токсины; штаммы типа D секретируют α - и ϵ -токсины; штаммы типа E продуцируют α - и ι -токсины. β -токсин очень чувствителен к трипсину и вызывает некроз слизистой оболочки,

ϵ -токсин вызывает летальную энтеротоксемию у домашних животных, а ι -токсин отвечает за дермонекроз. Энтеротоксин вызывает диарею и спазмы кишечника из-за его воздействия на эпителиальный белок плотных контактов. Установлено, что β -2-токсин, продуцируемый всеми типами *C. perfringens*, действует синергетически с энтеротоксином. Большинство домашних животных восприимчивы ко всем типам *C. perfringens* из-за повсеместного распространения бактерии в окружающей среде. Новорожденные телята, которые продуцируют низкий уровень протеолитических ферментов (например, трипсин) в желудочно-кишечном тракте, могут легко инфицироваться *C. perfringens* типа C, поскольку токсин β признан основным фактором вирулентности, ответственным за клинические признаки, наблюдаемые у животных, пораженных этой бактерией. Поражения кишечника у этих инфицированных животных характеризуются диффузным или многоочаговым геморрагическим некротизирующим энтеритом и вздутием кровянистой жидкости [40].

Escherichia coli подразделяется на шесть патогрупп на основе схемы вирулентности: энтеротоксигенная *E. coli* (ETEC), шигатоксин-продуцирующая *E. coli*, энтеропатогенная *E. coli*, энтероинвазивная *E. coli*, энтероагрессивная *E. coli* и энтерогеморрагическая *E. coli*. Среди этих бактерий наиболее распространенной причиной неонатальной диареи являются ETEC, которые продуцируют антиген адгезии K99 (F5), обычно называемый *E. coli* K99+ и термостабильный энтеротоксин. Следует отметить, что другие патогруппы *E. coli*, которые обычно выявляются с помощью гистопатологии, могут быть пропущены, если диагноз фокусируется только на *E. coli* K99+. Новорожденные телята наиболее восприимчивы к инфекции ETEC в течение первых четырех дней после рождения, и при заражении у них развивается водянистая диарея. После приема внутрь ETEC инфицирует эпителий кишечника и размножается в энтероцитах кишечных ворсинок. Дистальный отдел тонкой кишки обеспечивает наиболее благоприятную среду для колонизации ETEC (pH менее 6,5). В пораженной тонкой кишке обычно наблюдается атрофия ворсинок из-за потери инфицированных клеток и повреждения собственной пластинки. Бактерии экспрессируют антиген K99 для прикрепления. После колонизации кишечного эпителия продукция термостабильных токсинов, индуцированная ETEC, приводит к усилению секреции хлоридов в кишечнике. Это осмотически втягивает воду в

просвет кишечника и приводит к развитию сероторной диареи у телят [41].

Salmonella enterica колонизирует желудочно-кишечный тракт широкого круга хозяев. *S. enterica* серовар Typhimurium (*S. typhimurium*) и серовар Dublin (*S. dublin*) являются наиболее частыми этиологическими агентами, вызывающими сальмонеллез крупного рогатого скота, при этом *S. typhimurium* – наиболее распространенный серотип, поражающий телят. Сальмонеллез имеет широкий спектр клинических симптомов, начиная от бессимптомного течения и заканчивая его клиническими проявлениями. Острое течение заболевания с синдромом диареи чаще всего встречается у *S. typhimurium*, а системное заболевание связано с *S. dublin*. Телята в возрасте до трех недель обычно заражаются сальмонеллой. Наиболее часто наблюдают поражения слизистой оболочки тонкой кишки, а также увеличение брыжеечных лимфатических узлов. Основным механизм, лежащий в основе вирулентности сальмонелл, включает способность проникать в слизистую оболочку кишечника, размножаться в лимфоидных тканях и уклоняться от систем защиты хозяина, что приводит к системному заболеванию. Для патогенеза *Salmonella* организм должен быть способен вторгаться в эпителиальные клетки кишечника, выживать в макрофагах и вызывать энтеропатогенность, колонизируя М-клетки, энтероциты и ткани миндалин. После инфекции лимфоидной ткани сальмонелла легко распространяется по всему телу, вторгаясь

в моноклеарные клетки и фагоциты. Остров патогенности сальмонеллы SPI-1 и SPI-5 влияют на систему секреции III типа и в основном ответственны за сальмонеллезную диарею у телят. Фактор патогенности SPI-2 участвует в системе секреции второго типа III и отвечает за внутриклеточное выживание организма. Клиническая картина сальмонеллеза характеризуется водянистой и слизистой диареей с наличием фибрина и крови. Несмотря на то, что сальмонелла может вызывать диарею как у взрослого крупного рогатого скота, так и у телят, инфекция встречается гораздо чаще и часто вызывает тяжелые симптомы у телят в возрасте от десяти дней до трех месяцев. Телята могут выделять микроорганизмы периодически в зависимости от проявления клинического или субклинического течения инфекционного процесса [42].

ВЫВОДЫ

1. Проведенные данные обзора факторов патогенности бактерий и вирусов показывают их многообразие, которое обуславливает различные формы течения и проявления инфекционных патологий.
2. Мониторинг и дальнейшее изучение антигенного профиля инфекционных возбудителей позволяет своевременно разрабатывать актуальные диагностические тесты для их идентификации.
3. Изучение белковых антигенных белков позволяет разрабатывать средства лечения и профилактики инфекционных болезней животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Case-control study of microbiological etiology associated with calf diarrhea* / Y.I. Cho, J.I. Han, C. Wang [et al.] // *Vet Microbiol.* – 2013. – Vol. 166. – P. 375–385.
2. *Fenner F., MacLachlan N.J., Dubovi E.J. Fenner's Veterinary Virology.* 4th ed. Burlington: Academic Press, 2011. – P. 288–290.
3. *Steele A.D., Geyer A., Gerdes G.H. Rotavirus infections* // Coetzer JAW, Tustin RC, editors. *Infectious Diseases of Livestock.* 2nd ed. – Cape Town: Oxford University Press Southern Africa, 2004. – P. 1256–1264.
4. *Evidence for interstate transmission and increase in prevalence of bovine group B rotavirus strains with a novel VP7 genotype among diarrhoeic calves in Eastern and Northern states of India* / S. Ghosh, V. Varghese, M. Sinha [et al.] // *Epidemiol Infect.* – 2007. – Vol. 135. – P. 1324–1330.
5. *Diversity in Indian equine rotaviruses: identification of genotype G10,P6[1] and G1 strains and a new VP7 genotype (G16) strain in specimens from diarrheic foals in India* / B.R. Gulati, R. Deepa, B.K. Singh, C.D. Rao // *J. Clin Microbiol.* – 2007. – Vol. 45. – P. 972–978.
6. *Identification of group A porcine rotavirus strains bearing a novel VP4 (P) Genotype in Italian swine herds* / V. Martella, M. Ciarlet, K. Bánai [et al.] // *J. Clin Microbiol.* – 2007. – Vol. 45. – P. 577–580.
7. *Rotavirus NSP4: a multifunctional viral enterotoxin* / J.M. Ball, D.M. Mitchell, T.F. Gibbons, R.D. Parr // *Viral Immunol.* – 2005. – Vol. 18. – P. 27–40.
8. *Non-lytic extraction and characterisation of receptors for multiple strains of rotavirus* / C.L. Jolly, B.M. Beisner, E. Ozser, I.H. Holmes // *Arch Virol.* – 2001. – Vol. 146 (7). – P. 1307–1323. – DOI: 10.1007/s007050170093. PMID: 11556708.
9. *Fecal shedding of Salmonella spp among cattle admitted to a veterinary medical teaching hospital* / K.J. Cummings, T.J. Divers, P.L. McDonough, L.D. Warnick // *J. Am Vet Med Assoc.* – 2009. – Vol. 234. – P. 1578–1585.

10. *First report on the phylogeny of bovine norovirus in Turkey* / H. Yilmaz, N. Turan, E. Altan [et al.] // Arch Virol. – 2011. – Vol. 156. – P. 143–147.
11. *Thermal stability of hepatitis E virus assessed by a molecular biological approach* / A. Schielke, M. Filter, B. Appel, R. Johne // Virol J. – 2011. – Vol. 8. – P. 487.
12. *Ferrarezi M.C., Cardoso T.C., Dutra I.S. Genotyping of Clostridium perfringens isolated from calves with neonatal diarrhea* // Anaerobe. – 2008. – Vol. 14. – P. 328–331.
13. *Prevalence of major enteric pathogens in Australian dairy calves with diarrhea* / M.M. Izzo, P.D. Kirkland, V.L. Mohler [et al.] // Aust Vet J. – 2011. – Vol. 89. – P. 167–173.
14. *Francis D.H., Allen S.D., White R.D. Influence of bovine intestinal fluid on the expression of K99 pili by Escherichia coli* // Am J Vet Res. – 1989. – Vol. 50. – P. 822–826.
15. *Ribes J.A., Seabolt J.P., Overman S.B. Performance characteristics of VIDAS and directigen respiratory syncytial virus (RSV) antigen detection assays and culture for the identification of RSV in respiratory specimens* // J Clin Microbiol. – 2002. – Vol. 40. – P. 1818–1820.
16. *Human torovirus: a new virus associated with neonatal necrotizing enterocolitis* / A. Lodha, N. de Silva, M. Petric, A.M. Moore // Acta Paediatr. – 2005. – Vol. 94. – P. 1085–1088.
17. *Detection of bovine torovirus in neonatal calf diarrhoea in Lower Austria and Styria (Austria)* / B. Haschek, D. Klein, V. Benetka [et al.] // J. Vet Med B Infect Dis Vet Public Health. – 2006. – Vol. 53. – P. 160–165.
18. *Detection of bovine torovirus in fecal specimens of calves with diarrhea in Japan* / R. Kirisawa, A. Takeyama, M. Koiwa, H. Iwai // J Vet Med Sci. – 2007. – Vol. 69. – P. 471–476.
19. *Molecular epidemiology of bovine toroviruses circulating in South Korea* / S.J. Park, E.H. Oh, S.I. Park [et al.] // Vet Microbiol. – 2008. – Vol. 126. – P. 364–371.
20. *Hoet A.E., Saif L.J. Bovine torovirus (Breda virus) revisited* // Anim Health Res Rev. – 2004. – Vol. 5(2). – P. 157–171. – DOI: 10.1079/ahr200498.
21. *Fagerland J.A., Pohlenz J.F., Woode G.N. A morphological study of the replication of Breda virus (proposed family Toroviridae) in bovine intestinal cells* // J Gen Virol. – 1986. – Vol. 67. – P. 1293–1304.
22. *Comparative studies on three isolates of Breda virus of calves* / G.N. Woode, L.J. Saif, M. Quesada [et al.] // Am J Vet Res. – 1985. – Vol. 46. – P. 1003–1010.
23. *Enteric and nasal shedding of bovine torovirus (Breda virus) in feedlot cattle* / A.E. Hoet, K.O. Cho, K.O. Chang [et al.] // Am J Vet Res. – 2002. – Vol. 63. – P. 342–348.
24. *Genetic and antigenic characterization of newly isolated bovine toroviruses from Japanese cattle* / T. Ito, S. Katayama, N. Okada [et al.] // J Clin Microbiol. – 2010. – Vol. 48(5). – P. 1795–800. – DOI: 10.1128/JCM.02339-09.
25. *R.J. de Groot Structure, function and evolution of the hemagglutinin-esterase proteins of corona- and toroviruses* // Glycoconj J. – 2006. – Vol. 23(1–2). – P. 59–72. – DOI: 10.1007/s10719-006-5438-8.
26. *Structural basis for ligand and substrate recognition by torovirus hemagglutinin esterases* / M.A. Langereis, Q. Zeng, G.J. Gerwig [et al.] // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2009, Sep 15. – Vol. 106(37). – P. 15897–15902. – DOI: 10.1073/pnas.0904266106.
27. *Norovirus classification and proposed strain nomenclature* / D.P. Zheng, T. Ando, R.L. Fankhauser [et al.] // Virology. – 2006. – Vol. 346. – P. 312–323.
28. *Human noroviruses in swine and cattle* / K. Mattison, A. Shukla, A. Cook [et al.] // Emerg Infect Dis. – 2007. – Vol. 13. – P. 1184–1188.
29. *Genotype 1 and genotype 2 bovine noroviruses are antigenically distinct but share a cross-reactive epitope with human noroviruses* / S.L. Oliver, C.A. Batten, Y. Deng [et al.] // J Clin Microbiol. – 2006. – Vol. 44. – P. 992–998.
30. *Animal noroviruses* / A. Scipioni, A. Mauroy, J. Vinjé, E. Thiry // Vet J. – 2008. – Vol. 178. – P. 32–45.
31. *Pathogenesis of a genogroup II human norovirus in gnotobiotic pigs* / S. Cheetham, M. Souza, T. Meulia [et al.] // J Virol. – 2006. – Vol. 80. – P. 10372–10381.
32. *Jor E., Myrmet M., Jonassen C.M. SYBR Green based real-time RT-PCR assay for detection and genotype prediction of bovine noroviruses and assessment of clinical significance in Norway* // J Virol Methods. – 2010. – Vol. 169. – P. 1–7.
33. *Detection and molecular characterisation of noroviruses and sapoviruses in asymptomatic swine and cattle in Slovenian farms* / J.Z. Mijovski, M. Poljsak-Prijatelj, A. Steyer [et al.] // Infect Genet Evol. – 2010. – Vol. 10. – P. 413–420.
34. *Infection of calves with bovine norovirus GIII.1 strain Jena virus: an experimental model to study the pathogenesis of norovirus infection* / P.H. Otto, I.N. Clarke, P.R. Lambden [et al.] // J Virol. – 2011. – Vol. 85. – P. 12013–12021.
35. *Reuter G., Pankovics P., Egyed L. Detection of genotype 1 and 2 bovine noroviruses in Hungary* // Vet Rec. – 2009. – Vol. 165. – P. 537–538.
36. *Genomic characterization of the unclassified bovine enteric virus Newbury agent-1 (Newbury1) endorses a new genus in the family Caliciviridae* / S.L. Oliver, E. Asobayire, A.M. Dastjerdi, J.C. Bridger // Virology. – 2006. – Vol. 350. – P. 240–250.
37. *Desselberger U. Caliciviridae Other Than Noroviruses* // Viruses. – 2019, Mar. 21. – Vol. 11(3). – P. 286. – DOI: 10.3390/v11030286. PMID: 30901945.

38. Carstens E.B. Ratification vote on taxonomic proposals to the International Committee on Taxonomy of Viruses (2009) // *Arch Virol.* – 2010. Vol. 155. – P. 133–146.
39. Evidence for recombination in neboviruses / B. Di Martino, F. Di Profio, V. Martella [et al.] // *Vet Microbiol.* – 2011. – Vol. 153. – P. 367–372.
40. Real-time multiplex PCR assay for rapid detection and toxintyping of *Clostridium perfringens* toxin producing strains in feces of dairy cattle / A.A. Gurjar, N.V. Hegde, B.C. Love, B.M. Jayarao // *Mol Cell Probes.* – 2008. – Vol. 22. – P. 90–95.
41. Foster D.M., Smith G.W. Pathophysiology of diarrhea in calves / *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* – 2009. – Vol. 25. – P. 13–36.
42. Holt P.S. Host susceptibility, resistance and immunity to *Salmonella* in animals // Wray C, Wary W, editors. *Salmonella in domestic animals.* – New York: CABI Publishing, 2000. – P. 73–88.

REFERENCES

1. Cho Y.I., Han J.I., Wang C. [et al.], Case-control study of microbiological etiology associated with calf diarrhea, *Vet Microbiol*, 2013, Vol. 166, pp. 375–385.
2. Fenner F., MacLachlan N.J., Dubovi E.J., Fenner's Veterinary Virology, 4th ed. Burlington: Academic Press, 2011, pp. 288–290.
3. Steele A.D., Geyer A., Gerdes G.H., Rotavirus infections, Coetzer JAW, Tustin RC, editors. *Infectious Diseases of Livestock. 2nd ed.* Cape Town: Oxford University Press Southern Africa, 2004, pp. 1256–1264.
4. Ghosh S., Varghese V., Sinha M. [et al.], Evidence for interstate transmission and increase in prevalence of bovine group B rotavirus strains with a novel VP7 genotype among diarrhoeic calves in Eastern and Northern states of India, *Epidemiol Infect*, 2007, Vol. 135, pp. 1324–1330.
5. Gulati B.R., Deepa R., Singh B.K., Rao C.D., Diversity in Indian equine rotaviruses: identification of genotype G10, P6[1] and G1 strains and a new VP7 genotype (G16) strain in specimens from diarrheic foals in India, *J Clin Microbiol.*, 2007, Vol. 45, pp. 972–978.
6. Martella V., Ciarlet M., Banyai K. [et al.], Identification of group A porcine rotavirus strains bearing a novel VP4 (P) Genotype in Italian swine herds, *J Clin Microbiol.*, 2007, Vol. 45, pp. 577–580.
7. Ball J.M., Mitchell D.M., Gibbons T.F., Parr R.D., Rotavirus NSP4: a multifunctional viral enterotoxin, *Viral Immunol*, 2005, Vol. 18, pp. 27–40.
8. Jolly C.L., Beisner B.M., Ozser E., Holmes I.H., Non-lytic extraction and characterisation of receptors for multiple strains of rotavirus, *Arch Virol.*, 2001, Vol. 146(7), pp. 1307–1323, DOI: 10.1007/s007050170093.
9. Cummings K.J., Divers T.J., McDonough P.L., Warnick L.D., Fecal shedding of *Salmonella* spp among cattle admitted to a veterinary medical teaching hospital, *J Am Vet Med Assoc*, 2009, Vol. 234, pp. 1578–1585.
10. Yilmaz H., Turan N., Altan E. [et al.], First report on the phylogeny of bovine norovirus in Turkey, *Arch Virol*, 2011, Vol. 156, pp. 143–147.
11. Schielke A., Filter M., Appel B., John R., Thermal stability of hepatitis E virus assessed by a molecular biological approach, *Virol J.*, 2011, Vol. 8, pp. 487.
12. Ferrareze M.C., Cardoso T.C., Dutra I.S., Genotyping of *Clostridium perfringens* isolated from calves with neonatal diarrhea, *Anaerobe*, 2008, Vol. 14, pp. 328–331.
13. Izzo M.M., Kirkland P.D., Mohler V.L. [et al.], Prevalence of major enteric pathogens in Australian dairy calves with diarrhea, *Aust Vet J.*, 2011, Vol. 89, pp. 167–173.
14. Francis D.H., Allen S.D., White R.D., Influence of bovine intestinal fluid on the expression of K99 pili by *Escherichia coli*, *Am J Vet Res*, 1989, Vol. 50, pp. 822–826.
15. Ribes J.A., Seabolt J.P., Overman S.B., Performance characteristics of VIDAS and directigen respiratory syncytial virus (RSV) antigen detection assays and culture for the identification of RSV in respiratory specimens, *J Clin Microbiol.*, 2002, Vol. 40, pp. 1818–1820.
16. Lodha A., de Silva N., Petric M., Moore A.M., Human torovirus: a new virus associated with neonatal necrotizing enterocolitis, *Acta Paediatr*, 2005, Vol. 94, pp. 1085–1088.
17. Haschek B., Klein D., Benetka V. [et al.], Baumgartner W. Detection of bovine torovirus in neonatal calf diarrhoea in Lower Austria and Styria (Austria), *J Vet Med B Infect Dis Vet Public Health*, 2006, Vol. 53, pp. 160–165.
18. Kirisawa R., Takeyama A., Koiwa M., Iwai H., Detection of bovine torovirus in fecal specimens of calves with diarrhea in Japan, *J Vet Med Sci*, 2007, Vol. 69, pp. 471–476.
19. Park S.J., Oh E.H., Park S.I. [et al.], Molecular epidemiology of bovine toroviruses circulating in South Korea, *Vet Microbiol*, 2008, Vol. 126, pp. 364–371.
20. Hoet A.E., Saif L.J., Bovine torovirus (Breda virus) revisited, *Anim Health Res Rev*, 2004, Dec, Vol. 5(2), pp. 157–171, DOI: 10.1079/ahr200498.
21. Fagerland J.A., Pohlenz J.F., Woode G.N., A morphological study of the replication of Breda virus (proposed family Toroviridae) in bovine intestinal cells, *J Gen Virol*, 1986, Vol. 67, pp. 1293–1304.
22. Woode G.N., Saif L.J., Quesada M. [et al.], Comparative studies on three isolates of Breda virus of calves, *Am J Vet Res*, 1985, Vol. 46, pp. 1003–1010.

23. Hoet A.E., Cho K.O., Chang K.O. [et al.], Enteric and nasal shedding of bovine torovirus (Breda virus) in feedlot cattle, *Am J Vet Res*, 2002, Vol. 63, pp. 342–348.
24. Ito T., Katayama S., Okada N. [et al.], Genetic and antigenic characterization of newly isolated bovine toroviruses from Japanese cattle, *J Clin Microbiol*, 2010, Vol. 48(5), pp. 1795–800, DOI: 10.1128/JCM.02339-09.
25. R.J. de Groot, Structure, function and evolution of the hemagglutinin-esterase proteins of corona- and toroviruses, *Glycoconj J.*, 2006, Vol. 23(1–2), pp. 59–72, DOI: 10.1007/s10719-006-5438-8.
26. Langereis M.A., Zeng Q., Gerwig G.J. [et al.], Huizinga E.G. Structural basis for ligand and substrate recognition by torovirus hemagglutinin esterases, *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 2009, Sep 15, Vol. 106(37), pp. 15897–15902, DOI: 10.1073/pnas.0904266106.
27. Zheng D.P., Ando T., Fankhauser R.L. [et al.], Norovirus classification and proposed strain nomenclature, *Virology*, 2006, Vol. 346, pp. 312–323.
28. Mattison K., Shukla A., Cook A. [et al.], Human noroviruses in swine and cattle, *Emerg Infect Dis*, 2007, Vol. 13, pp. 1184–1188.
29. Oliver S.L., Batten C.A., Deng Y. [et al.], Genotype 1 and genotype 2 bovine noroviruses are antigenically distinct but share a cross-reactive epitope with human noroviruses, *J Clin Microbiol*, 2006, Vol. 44, pp. 992–998.
30. Scipioni A., Mauroy A., Vinjé J., Thiry E., Animal noroviruses, *Vet J.*, 2008, Vol. 178, pp. 32–45.
31. Cheetham S., Souza M., Meulia T. [et al.], Pathogenesis of a genogroup II human norovirus in gnotobiotic pigs, *J Virol*, 2006, Vol. 80, pp. 10372–10381.
32. Jor E., Myrmet M., Jonassen C.M., SYBR Green based real-time RT-PCR assay for detection and genotype prediction of bovine noroviruses and assessment of clinical significance in Norway, *J Virol Methods*, 2010, Vol. 169, pp. 1–7.
33. Mijovski J.Z., Poljsak-Prijatelj M., Steyer A. [et al.], Detection and molecular characterisation of noroviruses and sapoviruses in asymptomatic swine and cattle in Slovenian farms, *Infect Genet Evol*, 2010, Vol. 10, pp. 413–420.
34. Otto P.H., Clarke I.N., Lambden P.R. [et al.], Infection of calves with bovine norovirus GIIL.1 strain Jena virus: an experimental model to study the pathogenesis of norovirus infection, *J Virol*, 2011, Vol. 85, pp. 2013–2021.
35. Reuter G., Pankovics P., Egyed L., Detection of genotype 1 and 2 bovine noroviruses in Hungary, *Vet Rec*, 2009, Vol. 165, pp. 537–538.
36. Oliver S.L., Asobayire E., Dastjerdi A.M., Bridger J.C., Genomic characterization of the unclassified bovine enteric virus Newbury agent-1 (Newbury1) endorses a new genus in the family Caliciviridae, *Virology*, 2006, Vol. 350, pp. 240–250.
37. Desselberger U., Caliciviridae Other Than Noroviruses, *Viruses*, 2019, Mar 21, Vol. 11(3), pp. 286, DOI: 10.3390/v11030286.
38. Carstens E.B., Ratification vote on taxonomic proposals to the International Committee on Taxonomy of Viruses (2009), *Arch Virol*, 2010, Vol. 155, pp. 133–146.
39. Di Martino B., Di Profio F., Martella V. [et al.], Evidence for recombination in neboviruses, *Vet Microbiol*, 2011, Vol. 153, pp. 367–372.
40. Gurjar A.A., Hegde N.V., Love B.C., Jayarao B.M., Real-time multiplex PCR assay for rapid detection and toxintyping of Clostridium perfringens toxin producing strains in feces of dairy cattle, *Mol Cell Probes*, 2008, Vol. 22, pp. 90–95.
41. Foster D.M., Smith G.W., Pathophysiology of diarrhea in calves, *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 2009, Vol. 25, pp. 13–36.
42. Holt P.S., Host susceptibility, resistance and immunity to Salmonella in animals, Wray C, Wary W, editors. *Salmonella in domestic animals*, New York: CABI Publishing, 2000, pp. 73–88.

Информация об авторах:

В.С. Бряднов, аспирант

Н.Н. Шкиль, доктор ветеринарных наук, профессор

Contribution of the authors:

V.S. Bryadnov postgraduate student

N.N. SHkil, Doctor of Veterinary Sciences, Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

РАННЕЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МОЛОЧНОГО ЖИРА У ГОЛШТИНСКОГО СКОТА НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЁННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ С ЛИНЕЙНЫМИ ПРИЗНАКАМИ

В.В. Гарт, С.Г. Куликова, К.Н. Нарожных, Е.В. Камалдинов

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

E-mail: gvlvl@yandex.ru

Для цитирования: Раннее прогнозирование содержания молочного жира у голштинского скота на основе сопряжённой изменчивости с линейными признаками / В.В. Гарт, С.Г. Куликова, К.Н. Нарожных, Е.В. Камалдинов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 168–176. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-176.

Ключевые слова: голштинская порода, первотёлки, экстерьер, линейная оценка, продуктивность, молочный жир, корреляция, Западная Сибирь, комплекс линейных признаков, регрессионная модель.

Реферат. Изучалась взаимосвязь восемнадцати линейных признаков экстерьера первотёлок высокопродуктивной субпопуляции голштинского скота ($n = 1243$) с содержанием молочного жира за 305 дней (коровы с укороченной лактацией были исключены из выборки) лактации при помощи рангового коэффициента корреляции Спирмена. Для получения высшего ранга животными с желательным баллом производили корректировку их балльной оценки. Представлена таблица преобразования оценок линейных признаков в зависимости от оптимального балла, принятого в исследуемом хозяйстве. Связь между содержанием молочного жира и отдельными признаками была разнонаправленной и варьировалась в абсолютном значении от 0,060 до 0,154. Приведен алгоритм формирования и корректировки комплексов линейных признаков и расчета суммарного балла. Сопряженность содержания молочного жира и суммарного балла комплекса из десяти линейных признаков, включающего длину передних долей вымени, борозду вымени, высоту прикрепления задних долей вымени, ширину задних долей вымени, длину крестца, ширину таза, крепость телосложения, обмускуленность, рост, длину сосков, составила 0,286. Подробно проанализированы приведенные графики первоначального и откорректированного комплексов, имеющих наибольшую сопряженность с содержанием молочного жира. Предложена оптимальная регрессионная модель для раннего прогнозирования содержания молочного жира на основе зависимости его содержания от комплекса линейных признаков. Точность аппроксимации R^2 модели характеризовалась как высокая и составила 0,9831.

Работа выполнена по теме государственного задания № FESF-2023-0016.

EARLY PREDICTION OF MILK FAT CONTENT IN HOLSTEIN CATTLE BASED ON CORRELATED VARIABILITY WITH LINEAR TRAITS

V.V. Gart, S.G. Kulikova, K.N. Narozhnykh, E.V. Kamaldinov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation

E-mail: gvlvl@yandex.ru

Keywords: Holstein breed, first-calf heifers, conformation linear assessment, productivity, milk fat, correlation, Western Siberia, complex of linear traits, regression model.

Abstract. The relationship between eighteen conformation linear traits of first-calf heifers of a highly productive subpopulation of Holstein cattle ($n=1243$) with the milk fat content for 305 days of lactation (cows with shortened lactation were excluded from the sample) was studied using Spearman's rank correlation coefficient. To obtain the highest rank for animals with the optimal score, their score was adjusted. A table is presented for the transformation of estimates of linear traits depending on the optimal score adopted in the investigated farm. The correlation between the milk fat content and individual traits was multidirectional and varied in absolute terms from 0.060 to 0.154. An algorithm for the formation and correction of complexes of linear traits and the calculation of the total score is given. The conjugation of the milk fat content and the total score of the complex of ten linear traits, including: the length of the front udder, median suspensory, rear attachment height, rear attachment width, loin strength, pin width, chest width, muscularity, stature, teat length (as defined by ICAR standards) was 0.286. The given graphs of the initial and corrected complexes that have the greatest conjugation with the content of milk fat are analyzed in detail. An optimal regression model for early prediction of milk fat content based on its dependence on a set of linear traits is proposed. The approximation accuracy R^2 of the model was characterized as high and amounted to 0.9831.

В селекции на улучшение молочных качеств крупного рогатого скота молочного направления, разводимого в определенных условиях, важным является раннее прогнозирование продуктивности как будущих потомков, так и уже полученного молодняка. Так, кроме традиционных методов подбора родительских пар появилась возможность анализа популяций животных разных стран и даже кластеров стран для приобретения у них и использования в селекции генетического материала с целью корректировки недостатков или придания новых качеств будущему потомству [1–3].

Экстерьер сельскохозяйственных животных является одним из показателей будущего здоровья, что, в свою очередь, отражается на продуктивных и репродуктивных способностях. Поэтому оценка экстерьера – это важный этап в цепочке показателей, определяющих племенную ценность животных [3–5], в том числе и при конструировании общих селекционных индексов [6, 7].

Анализ взаимозависимости экстерьерных признаков и молочной продуктивности вызывает значительный научный интерес у ученых разных стран [8–13].

Установленные исследователями статистически достоверные коэффициенты корреляции между содержанием молочного жира и признаками экстерьера могли быть разной направленности и варьировались в абсолютном значении от 0,02 до 0,24 [10, 11, 14].

Проведенное учеными разных стран изучение на большом поголовье связи между молочной продуктивностью и экстерьерными показателями показало, что при установленных различиях

между популяциями значение коэффициентов корреляции остается низким [15, 16].

Различные подходы к исследованию экстерьерных особенностей имеют важное значение как для оценки племенных качеств животных [17, 18], так и для раннего прогнозирования продуктивности [19, 20].

Цель исследования – поиск оптимальной модели раннего прогнозирования молочной продуктивности на основе сопряженной изменчивости комплексов линейных признаков с содержанием молочного жира в высокопродуктивном стаде голштинского скота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

У 1243 первотелок голштинской породы высокопродуктивной субпопуляции Западной Сибири определяли 18 признаков линейной оценки экстерьера и количество молочного жира (МЖ) за 305 дней первой лактации (коровы с укороченной лактацией были исключены из выборки) [18].

Для оценки связи линейных признаков с МЖ использовали ранговый коэффициент корреляции Спирмена (КС).

При характеристике животного по признакам линейной оценки экстерьера лучшим считается особь, имеющая не самый высокий, а рекомендуемый балл [18]. При ранжировании во время вычисления КС такое животное должно получить наивысшую оценку. Поэтому нами производилась корректировка оценочных значений линейных признаков для получения животными с оптимальным баллом наивысшего ранга (табл. 1).

Таблица 1

Преобразование оценки линейных признаков для расчета коэффициента корреляции Спирмена
Transformation of the evaluation of linear traits for calculation of the Spearman's rank correlation coefficient

Признак	Оптимальный балл для исследуемой субпопуляции [18]	Оценка в баллах								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Преобразованная оценка								
Положение таза, обмускуленность, постановка задних ног (вид сбоку), расположение передних сосков, длина сосков	5	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Угол копыта	6–7	1	2	3	4	5	6	6	5	4
Положение дна вымени	7	1	2	3	4	5	6	7	6	5
Глубина туловища, крепость телосложения	7–8	1	2	3	4	5	6	7	7	6
Ширина таза	8	1	2	3	4	5	6	7	8	7
Рост, молочный тип, высота прикрепления задних долей вымени, борозда вымени, длина крестца, ширина задних долей, длина передних долей вымени, прикрепление передних долей вымени	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Для изучения суммарного влияния нескольких линейных признаков на МЖ формировали из них комплексы. Признаки линейной оценки экстерьера ранжировали по величине КС (табл. 2). К преобразованным баллам линейного показателя с наибольшим КС прибавляли значения следующего за ним признака. То же повторяли с остальными признаками в порядке убывания КС. Каждый раз определяли КС полученной суммы с МЖ. Если значение КС было меньше нуля, то положительное значение его преобразованных баллов меняли на отрицательное.

Тесноту связи признаков оценивали по шкале Чеддока.

При построении графиков зависимости МЖ от суммарного балла комплекса признаков из анализа исключали крайние варианты, в которые вошли данные менее десяти животных.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием LibreOffice Calc и языка статистического программирования R.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

КС между содержанием МЖ за 305 дней первой лактации и признаками линейной оценки экстерьера голштинских коров приведены в табл. 2. Статистически достоверные коэффициенты корреляции МЖ наблюдались с линейными признаками (пять из которых характеризуют вымя, три – туловище) и варьировались от 0,060 до 0,154, что указывает на слабую связь как поло-

жительного, так и отрицательного направления. Результаты наших исследований согласуются с данными авторов, изучавших на больших популяциях взаимосвязь МЖ с показателями линейной оценки экстерьера [10, 11, 14].

Линейные признаки играют хотя и немаловажную, но не основную роль в повышении молочной продуктивности по сравнению с таким, как скорость, обмена веществ, соотношение соединительной и железистой тканей вымени и др. Но их роль возрастает при достижении определенного порога продуктивности. Так, например, при селекции на увеличение роста, ширины таза и длины крестца увеличивается пространство для более объемного вымени, что дает возможность высокопродуктивному животному накапливать больше молока между доениями без негативных последствий для здоровья.

Прямого влияния выраженности линейных признаков туловища на МЖ нет. КС констатирует лишь результат взаимосвязанных процессов развития определенных признаков экстерьера и продуктивности, обусловленных наследственностью и влиянием окружающей среды.

Воздействие двух последних факторов в большинстве случаев затрагивает сразу несколько признаков. Если в такой блок входит и признак продуктивности, то логично предположить, что сопряженность с ним целого комплекса из остальных признаков может быть сильнее, чем с каждым в отдельности. Это показали исследования связи удоя и линейных показателей экстерьера [21].

Таблица 2

Коэффициенты ранговой корреляции линейных признаков экстерьера с содержанием молочного жира первотелок за 305 дней лактации
Rank correlation coefficients of conformation linear traits with milk fat content of the first-calf heifers for 305 days of lactation

Линейный признак	r_s	s_r	α
1	2	3	4
Длина передних долей вымени	0,154	0,0261	***
Борозда вымени	0,143	0,0263	***
Ширина задних долей вымени	0,140	0,0263	***
Высота прикрепления задних долей вымени	0,118	0,0266	***
Длина крестца	-0,093	0,0297	**
Ширина таза	0,082	0,0272	**
Обмускуленность	0,067	0,0274	*
Длина сосков	0,060	0,0275	*
Крепость телосложения	0,044	0,0277	
Постановка задних ног (вид сбоку)	0,041	0,0278	

1	2	3	4
Глубина туловища	0,041	0,0278	
Положение таза	-0,035	0,0289	
Прикрепление передних долей вымени	0,022	0,0280	
Рост	0,015	0,0282	
Угол копыта	0,005	0,0283	
Молочные формы	-0,005	0,0284	
Положение дна вымени	0,003	0,0283	
Расположение передних сосков	0,001	0,0283	

Примечание: * $\alpha < 0,05$, ** $\alpha < 0,01$, *** $\alpha < 0,001$.

Для составления начальных вариантов комплексов выполнили ранжирование линейных признаков в зависимости от абсолютного значения КС (см. табл. 2). Используя порядок номеров

линейных признаков, составили комплексы и рассчитали КС между МЖ и каждым комплексом, которые представлены на рис. 1. Все полученные КС были статистически достоверны ($\alpha < 0,001$).

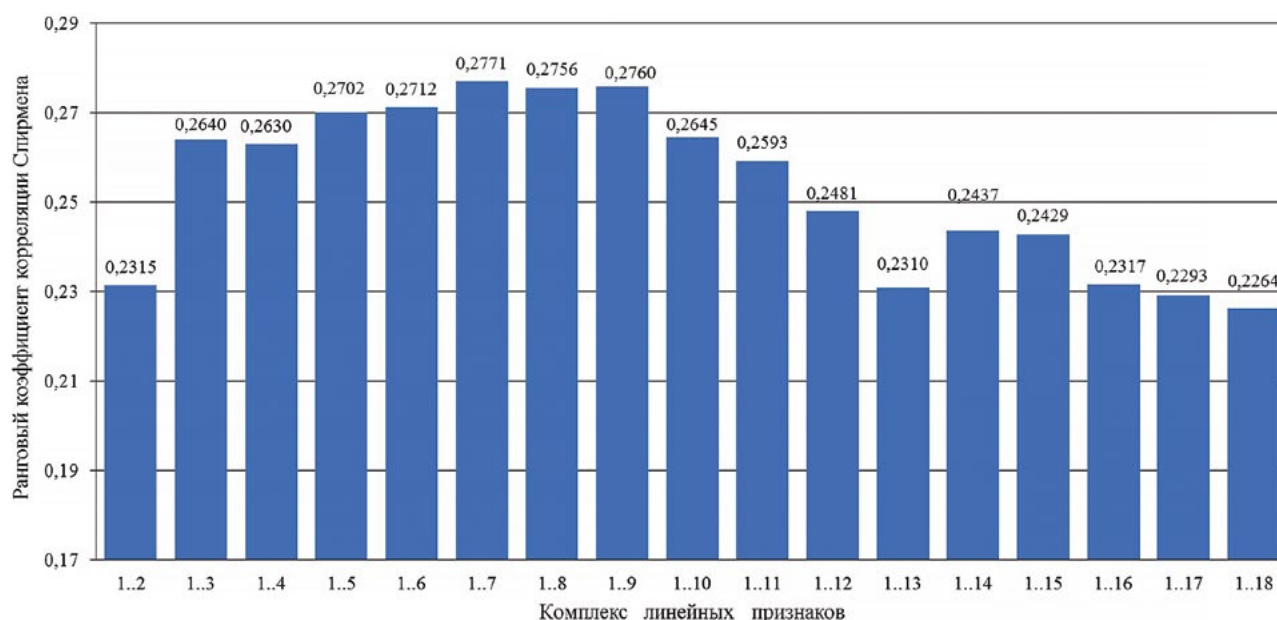


Рис. 1. Значения коэффициентов ранговой корреляции содержания молочного жира и комплекса при разном количестве входящих в него линейных признаков

Values of the range correlation coefficients of milk fat content and complex with different number of linear traits

Наибольшее значение коэффициента корреляции с МЖ имел комплекс 1..7, в котором суммировались преобразованные баллы следующих линейных признаков: длина передних долей вымени (ДПД), борозда вымени (БВ), ширина задних долей вымени (ШЗД), высота прикрепления задних долей вымени (ВЗД), длина крестца (ДК), ширина таза (ШТ), обмускуленность (ОБМ). Поскольку КС между длиной крестца и МЖ был отрицательный, то и знак оценки менялся на противоположный, т.е. преобразованные баллы за длину крестца вычитались. Таким образом,

формирование общего балла комплекса 1..7 (КБ) можно выразить формулой

$$КБ_{1..7} = + ДПД + БВ + ШЗД + ВЗД - ДК + ШТ + ОБМ.$$

Величина КС комплекса 1..7 с МЖ составила 0,2771, что в 1,8 раза больше самого высокого аналогичного показателя между отдельным признаком линейной оценки (длиной передних долей вымени) и МЖ (см. табл. 1).

На рис. 2 отображена зависимость МЖ от суммарного балла комплекса 1..7 (черная линия). Линия тренда (красным цветом) описывается

полиномом третьей степени, $y = -0,0269x^3 + 2,8969x^2 - 97,996x + 1425,8$.

Коэффициент достоверности аппроксимации тренда с графиком R^2 составил 0,9341, что можно расценивать как удовлетворительную точность

аппроксимации. Лучшим для прогнозирования МЖ является отрезок от 31 до 37 баллов (7 пунктов шкалы), на котором наблюдалось наибольшее совпадение линий.

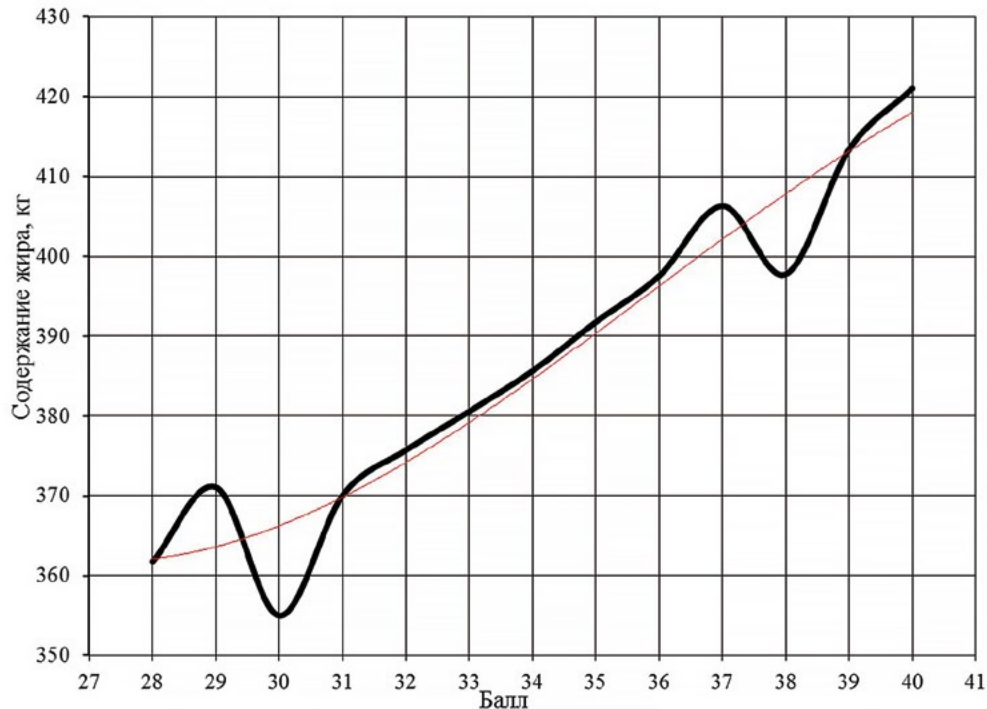


Рис. 2. Зависимость содержания молочного жира от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..7

Dependence of milk fat content on the total score of the linear trait complex 1..7

Анализируя столбчатую диаграмму (см. рис. 1) можно отметить, что с увеличением количества признаков в комплексе постоянного возрастания КС до максимального, а потом такого же снижения не наблюдалось. Присутствовали комплексы (1..4, 1..9 и 1..14), которые не соответствовали тренду. Это означает, что преобразованные баллы признаков «Крепость телосложения» и «Рост», не вошедшие в комплекс с наибольшим КС, потенциально способны повысить КС при

включении их в комплекс. Для этого их нужно поменять в иерархии местами с другими линейными признаками, имеющими больший ранг. Результаты изменения порядка линейных признаков для формирования комплексов приведены в табл. 3. Так, «Крепость телосложения» переместилась на 7-е место, «Рост» — на 9-е. В целях соответствия тренду признак «Ширина задних конечностей» занял 3-е место.

Таблица 3

Измененный порядок линейных признаков для составления комплексов
The modified order of linear traits for the compilation of complexes

Показатель	Комплекс признаков
1	2
Длина передних долей вымени	
Борозда вымени	1..2
Высота прикрепления задних долей вымени	1..3
Ширина задних долей вымени	1..4
Длина крестца	1..5
Ширина таза	1..6

1	2
Крепость телосложения	1..7
Обмускуленность	1..8
Рост	1..9
Длина сосков	1..10
Глубина туловища	1..11
Постановка задних ног (вид сбоку)	1..12
Положение таза	1..13
Прикрепление передних долей вымени	1..14
Угол копыта	1..15
Молочные формы	1..16
Положение дна вымени	1..17
Расположение передних сосков	1..18

Результат перемещений изменил картину зависимости величины КС от количества линейных признаков, входящих в комплекс (рис. 3). Так, лучшим стал комплекс 1..10, максимальный КС которого превысил предыдущий (см. рис. 1) и составил 0,2855. Это в 1,85 раза больше КС между длиной передних долей вымени и МЖ

(см. табл. 1). В этот комплекс, кроме вышеописанных признаков, дополнительно вошли «Крепость телосложения» (КТ), «Рост» (Р) и «Длина сосков» (ДС). Формула расчета комплексного балла приобрела следующий вид:

$$КБ_{1..10} = ДПД + БВ + ВЗД + ШЗД - ДК + ШТ + КТ + ОБМ + Р + ДС.$$

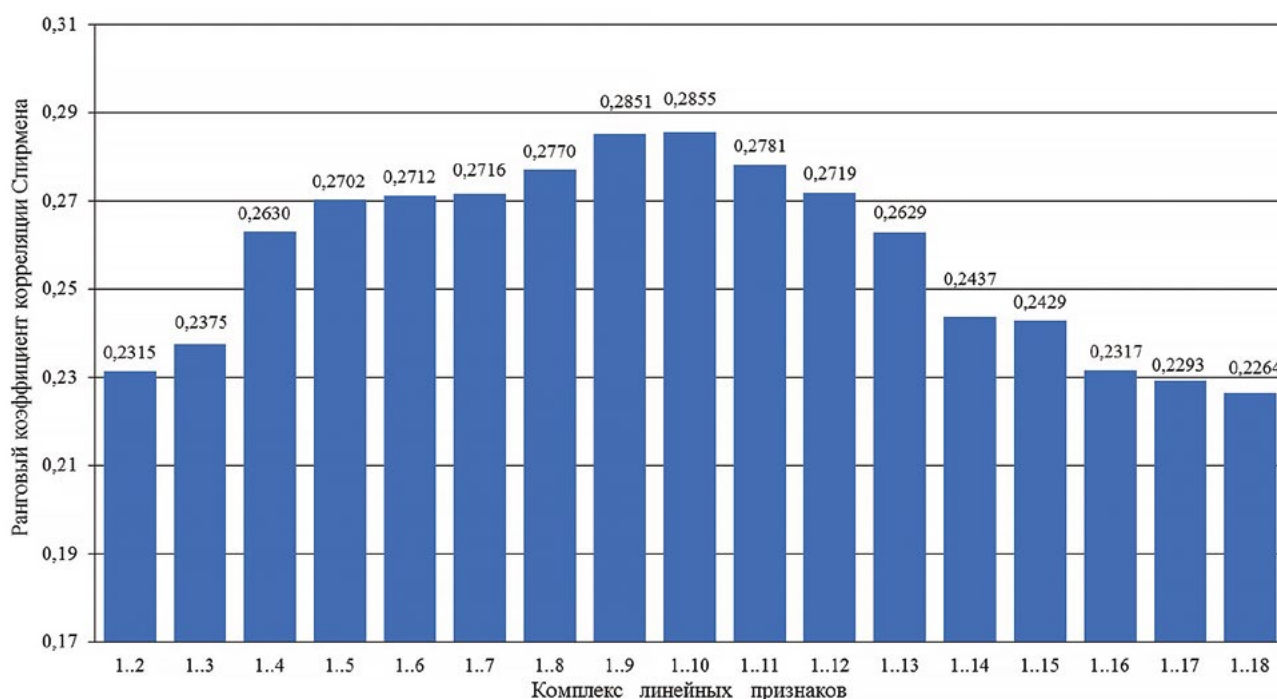


Рис. 3. Значения коэффициентов ранговой корреляции молочного жира и комплекса после изменения иерархии линейных признаков

Values of the rank correlation coefficients of the milk fat and complex after the change of the hierarchy of linear traits

Изменился и график (рис. 4) зависимости МЖ от суммарного балла комплекса 1..10 (черная линия). Он стал более выровненным по сравнению с изображенным на рис. 1, а также значитель-

но больше совпадает с линией тренда (красная линия), которая представляет собой полином третьей степени,

$$y = 0,0501x^3 - 7,9071x^2 + 420,68x - 7154,1.$$

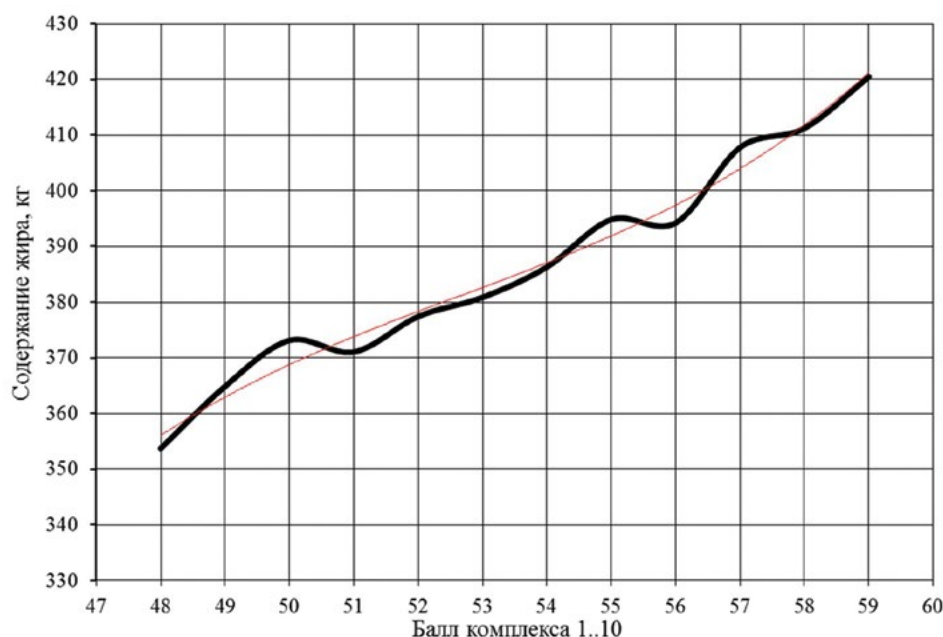


Рис. 4. Зависимость содержания молочного жира от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..10
Dependence of milk fat content on the total score of the linear trait complex 1..10

Возросло значение R^2 , которое составило 0,9831, что говорит об изменении точности аппроксимации с удовлетворительной до высокой, т.е. эта модель лучше описывает зависимость по сравнению с приведенной выше.

Увеличился и диапазон прогнозирования МЖ, который теперь распространился на всю шкалу и составил 12 пунктов (от 48 до 59 баллов). Анализируя выявленную зависимость (см. рис. 4), можно определить, что при увеличении суммарного балла комплекса 1..10 на единицу МЖ возрастает в среднем на 6 кг.

ВЫВОДЫ

1. Определена разнонаправленная слабая корреляционная связь показателей линейной оценки экстерьера (длина передних долей вымени, борозда вымени, ширина задних долей вымени, высота прикрепления задних долей вымени, длина крестца, ширина таза, обмускуленность, длина сосков) с содержанием молочного жира

у коров первой лактации за 305 дней. Диапазон абсолютных значений коэффициентов ранговой корреляции варьировался от 0,060 до 0,154.

2. Установлено, что для прогнозной модели целесообразно использовать сумму преобразованных оценок комплекса линейных признаков, включающего: длину передних долей вымени, борозду вымени, высоту прикрепления задних долей вымени, ширину задних долей вымени, длину крестца, ширину таза, крепость телосложения, обмускуленность, рост, длину сосков. Значение коэффициента ранговой корреляции содержания молочного жира с таким комплексом было в 1,85 раза больше самого высокого аналогичного показателя с одиночным признаком (длина передних долей вымени).

3. Предложена оптимальная регрессионная модель ($y = 0,0501x^3 - 7,9071x^2 + 420,68x - 7154,1$) раннего прогнозирования содержания молочного жира на основе его зависимости от комплекса линейных признаков с высокой точностью аппроксимации ($R^2 = 0,9831$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Научно-теоретическое обоснование системы совершенствования селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве Новосибирской области / О.В. Богданова, Е.В. Камалдинов, С.Г. Куликова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 148–155. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-148-155.
2. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection / A.F. Petrov, O.V. Bogdanova, K.N. Nroznykh [et al.] // Veterinary World. – 2024. – Vol. 17, № 5. – P. 1108–1118. – DOI: 10.14202/vetworld.2024.1108-1118.

3. *Различия между странами по признакам линейной оценки экстерьерера крупного рогатого скота голштинской породы* / О.В. Богданова, В.В. Гарт, С.Г. Куликова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 8. – С. 59–64. – DOI: 10.53859/02352451-2023-37-8-59.
4. *A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle* / F. Miglior, A. Fleming, F. Malchiodi [et al.] // J Dairy Sci. United States. – 2017. – Vol. 100, № 12. – P. 10251–10271. – DOI: 10.3168/jds.2017-12968.
5. *The future of phenomics in dairy cattle breeding* / J. Cole, S. Eaglen, C. Maltecca [et al.] // Animal Frontiers. – 2020. – Vol. 10, № 2. – P. 37–44. – DOI: 10.1093/af/vfaa007.
6. *Романова Е.А., Тулинова О.В. Моделирование селекционного индекса для айрширской породы молочного скота с использованием экстерьерных показателей* // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1(53). – С. 150–155. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155.
7. *Toghiani S., VanRaden P.M. National Index Correlations and Actual vs. Expected Use of Foreign Sires*. Leeuwarden, The Netherlands, – 2021. – Vol. 56. – P. 52–59.
8. *Genetic correlations among milk yield, morphology, performance test traits and somatic cells in dual-purpose Rendena breed* / C. Sartori, N. Guzzo, S. Mazza [et al.] // Animal. – 2018. – Vol. 12, № 5. – P. 906–914. – DOI: 10.1017/S1751731117002543.
9. *Dahiya S., Kumar S., Kumar M. Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies* // Tropical Animal Health and Production. – 2020. – Vol. 52. – P. 2221–2232. – DOI: 10.1007/s11250-020-02302-w.
10. *Ланина М.Ю., Абрамова М.В. Динамика показателей экстерьерера и молочной продуктивности в микропопуляции голштинского скота* // Пермский аграрный вестник. – 2020. – № 3(31). – С. 94–102. – DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10045.
11. *Молочная продуктивность коров разных экстерьерно-конституциональных типов* / С.Д. Батанов, И.А. Амерханов, И.А. Баранова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 102–113. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-2-102-113.
12. *Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal's conformation* // Bulg. J. Agric. Sci. – 2020. – Vol. 26, № 6. – P. 1286–1291.
13. *Антал Л. Информация о продуктивности голштинского скота в Венгрии в 2018 году* // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 5. – С. 49–50.
14. *Genetic and phenotypic correlations among feed efficiency, production and selected conformation traits in dairy cows* / G. Manafiazar, L. Goonewardene, F. Miglior [et al.] // Animal. – 2016. – Vol. 10, № 3. – P. 381–389. – DOI: 10.1017/S1751731115002281.
15. *Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia* // Veterinaria y Zootecnia. – 2014. – Vol. 8, № 1. – P. 35–47.
16. *Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows* / H. Ismael, D. Janković, D. Stanojević [et al.] // Revista Brasileira de Zootecnia. – 2021. – Vol. 50. – P. 1–10. – DOI: 10.37496/rbz5020200121.
17. *Моделирование объема туловища по линейным признакам скота ирменского типа* / А.Ф. Петров, Е.В. Камалдинов, О.Д. Панферова [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Т. 50, № 6. – С. 106–114. – DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-12.
18. *Характеристика линейного профиля первотелок голштинской породы разной продуктивности в условиях промышленного комплекса* / В.В. Гарт, О.В. Ефремова, С.Г. Куликова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 3. – С. 45–15. – DOI: 10.53859/02352451_2024_38_3_45.
19. *Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins* / X. Xue, H. Hu, J. Zhang [et al.] // Animals. – 2022. – Vol. 13, № 1. – P. 1–12. – DOI: 10.3390/ani13010100.
20. *Prediction of Milk Productivity Based on Conformation Traits in Cows* / K. Narozhnykh, E. Kamaldinov, O. Bogdanova [et al.] // International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. – 2023. – Vol. 24, № 6. – P. 521–529.
21. *Полиномиальная сопряженная изменчивость признаков линейной оценки экстерьерера и удоя высокопродуктивного голштинского скота* / В.В. Гарт, С.Г. Куликова, О.В. Богданова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 5. – С. 86–100. – DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100.

REFERENCES

1. *Bogdanova O.V., Kamaldinov E.V., Kulikova S.G., Garth V.V., Petrov A.F., Narozhnykh K.N., Zhigulin T.A., Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 2 (67), pp. 148–155, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-148-155 (In Russ).
2. *Petrov A.F., Bogdanova O.V., Narozhnykh K.N. [et al.], Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection, Veterinary World*, 2024, No. 5(17), pp. 1108–1118, DOI: 10.14202/vetworld.2024.1108-1118.

3. Bogdanova O.V., Gart V.V., Kulikova S.G., Kamaldinov E.V., Amerhanov H.A., Narozhnyh K.N., Petrov A.F., Zhigulin T.A., Astaf'ev A.A., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2023, No. 8(37), pp. 59–64, DOI: 10.53859/02352451-2023-37-8-59 (In Russ).
4. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F. [et al.], A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle, *J Dairy Sci. United States*, 2017, No. 12(100), pp. 10251–10271, DOI: 10.3168/jds.2017-12968.
5. Cole J., Eaglen S., Maltecca C. [et al.], The future of phenomics in dairy cattle breeding, *Animal Frontiers*, 2020, No. 2(10), pp. 37–44, DOI: 10.1093/af/vfaa007.
6. Romanova E.A., Tulinova O.V., *Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2021, No. 1(53), pp. 150–155, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155 (In Russ).
7. Toghiani S., VanRaden P.M., National Index Correlations and Actual vs. Expected Use of Foreign Sires. *Leeuwarden, The Netherlands*, 2021, Vol. 56, pp. 52–59.
8. Sartori C., Guzzo N., Mazza S. [et al.], Genetic correlations among milk yield, morphology, performance test traits and somatic cells in dual-purpose Rendena breed, *Animal*, 2018, No. 5(12), pp. 906–914, DOI: 10.1017/S1751731117002543.
9. Dahiya S., Kumar S., Kumar M., Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies, *Tropical Animal Health and Production*, 2020, Vol. 52, pp. 2221–2232, DOI: 10.1007/s11250-020-02302-w.
10. Lapina M.Ju., Abramova M.V., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2020, No. 3(31), pp. 94–102, DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10045 (In Russ).
11. Batanov S. D., Amerhanov I. A., Baranova I. A., Starostina O.S., Kertiev R.M., *Izvestija Timirjazevskoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2021, No. 2, pp. 102–113, DOI: 10.26897/0021-342X-2021-2-102-113 (In Russ).
12. Batanov S., Baranova I., Starostina O., Innovative methods in study of animal's conformation, *Bulg. J. Agric. Sci.*, 2020, No. 6(26), pp. 1286–1291.
13. Antal, L., *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo*, 2019, No. 5. pp. 49–50 (In Russ).
14. Manafiazar G., Goonewardene L., Miglior F. [et al.], Genetic and phenotypic correlations among feed efficiency, production and selected conformation traits in dairy cows, *Animal*, 2016, No. 3(10), pp. 381–389, DOI: 10.1017/S1751731115002281.
15. Madrid S., Echeverri J., Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia, *Veterinaria y Zootecnia*, 2014, No. 1(8), pp. 35–47.
16. Ismael H., Janković D., Stanojević D. [et al.], Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2021, Vol. 50, pp. 1–10, DOI: 10.37496/rbz5020200121.
17. Petrov A.F., Kamaldinov E.V., Panferova O.D., Efremova O.V., Rogozin V.A., *Sibirskij vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki*, 2020, No. 6(50), pp. 106–114, DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-12 (In Russ).
18. Gart V.V., Efremova O.V., Kulikova S.G., Bogdanova O.V., Petrov A.F., Narozhnykh K.N., Norkina V.M., Kamaldinov E.V., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2024, No. 3(38), pp. 45–15, DOI: 10.53859/02352451_2024_38_3_45. (In Russ).
19. Xue X., Hu H., Zhang J. [et al.], Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins, *Animals*, 2022, No. 1(13), pp. 1–12, DOI:10.3390/ani13010100.
20. Narozhnykh K., Kamaldinov E., Bogdanova O. [et al.], Prediction of Milk Productivity Based on Conformation Traits in Cows, *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 2023, No. 6(24), pp. 521–529.
21. Gart V.V., Kulikova S.G., Bogdanova O.V., Norkina V.M., Kamaldinov E.V., Petrov A.F., *Izvestija Timirjazevskoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 2024, No. 5, pp. 86–100, DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100 (In Russ).

Информация об авторах:

В.В. Гарт, доктор сельскохозяйственных наук
С.Г. Куликова, доктор биологических наук
К.Н. Нарожных, кандидат биологических наук
Е.В. Камалдинов, доктор биологических наук

Contribution of the authors:

V.V. Gart, Doctor of Agricultural Sciences
S.G. Kulikova, Doctor of Biological Sciences
K.N. Narozhnykh, Candidate of Biological Sciences
E.V. Kamaldinov, Doctor of Biological Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА И МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ СВИНЕЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

¹К.В. Жучаев, ¹М.Л. Кочнева, ²Л.В. Осадчук, ¹Е.А. Борисенко, ³С.В. Папшев

¹ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

²ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

³ООО «РУСАГРО-Приморье»

E-mail: zhuchaev-kv@mail.ru

Для цитирования: Онтогенетические особенности гормонального статуса и метаболического профиля свиней в условиях промышленной технологии / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Л.В. Осадчук, Е.А. Борисенко, С.В. Папшев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 177–188. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-177-188.

Ключевые слова: гормональный статус, биохимический статус, референсные параметры сыворотки крови, молодняк свиней, свиноматки, хряки.

Реферат. Проведены исследования гормонального и метаболического профиля условно здоровых свиней породы йоркшир разных половозрастных групп в условиях промышленного свиного комплекса. Установлено статистически значимое влияние возраста на уровень сывороточного кортизола, трийодтиронина, тироксина исследованных групп свиней. Повышенное содержание кортизола по сравнению с представленными в литературе данными практически во всех группах свиней может указывать на наличие хронического стресса, а усиленная секреция тиреоидных гормонов является адаптивной реакцией, связанной с компенсацией стресса. Биохимические показатели сыворотки крови животных разных групп отражают возрастные особенности обмена веществ. Показано, что средние значения параметров по группам в целом входят в лимиты, полученные другими авторами. Выявлено, что с возрастом наблюдается снижение содержания глюкозы, триглицеридов, мочевины. При этом уровень общего белка, альбуминов и глобулинов в сыворотке крови исследованных свиней постепенно повышается с возрастом. В ряде случаев обнаружены достоверные межполовые различия по уровню биохимических показателей, в частности, свиноматки превосходили хряков по содержанию холестерина, тогда как по общему белку отмечена обратная закономерность. В целом показатели гормонального и метаболического профилей стада соответствуют «промышленному» статусу комплекса. Способность адаптироваться, интенсивный белковый, углеводный и жировой обмен, очевидно, закреплены направленной селекцией породы. Установленные референсные значения параметров гормонального статуса и метаболического профиля могут быть использованы для характеристики свиней высокоинтенсивных мясных пород в условиях промышленной технологии.

ONTOGENETIC FEATURES OF HORMONAL STATUS AND METABOLIC PROFILE OF PIGS IN INDUSTRIAL TECHNOLOGY

¹K.V. Zhuchaev, ¹M.L. Kochneva, ²L.V. Osadchuk, ¹E.A. Borisenko, ³S.V. Papshev

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²FIC Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

³RUSAGRO-Primorye LLC

E-mail: zhuchaev-kv@mail.ru

Keywords: hormonal status, biochemical status, reference parameters of blood serum, young pigs, sows, boars.

Abstract. The hormonal and metabolic profile of conditionally healthy Yorkshire pigs of different age and sex groups was studied in an industrial pig farm. A statistically significant effect of age on the level of serum cortisol, triiodothyronine, and thyroxine in the studied pig groups was established. Increased cortisol levels compared to the literature data in almost all pig groups may indicate chronic stress, while increased secretion of thyroid hormones is an adaptive response associated with stress compensation. Biochemical parameters of blood serum in animals of different groups reflect age-related metabolic features. It was shown that the average parameter values for the groups as a whole are within the limits obtained by other authors. It was revealed that with age,

there is a decrease in the content of glucose, triglycerides, and urea. At the same time, the level of total protein, albumins, and globulins in the blood serum of the studied pigs gradually increases with age. In some cases, reliable intersexual differences in the level of biochemical parameters were found, in particular, sows exceeded boars in cholesterol content, while the opposite pattern was noted for total protein. In general, the hormonal and metabolic profiles of the herd correspond to the "industrial" status of the complex. The ability to adapt, intensive protein, carbohydrate and fat metabolism are obviously fixed by targeted breed selection. The established reference values of the hormonal status and metabolic profile parameters can be used to characterize pigs of high-intensity meat breeds under industrial technology conditions.

Благополучие животных в индустрии свиноводства приобретает все большее значение для потребителей, что усиливает давление на законодательство и производство в сторону совершенствования менеджмента для улучшения условий содержания животных [1].

Особое значение вопросы благополучия животных приобретают при адаптации животных, завезенных из-за рубежа в Сибирь, и их потомков к условиям промышленной технологии [2, 3]. Животные адаптируются сразу к множеству стресс-факторов: климату и микроклимату, местным кормам, микрофлоре, технологии содержания, обслуживающему персоналу. Выживание и благополучие животных в специфических условиях среды обеспечивает адаптация, включающая морфологические, анатомические, физиологические и поведенческие изменения у животных [4, 5].

Физиологический ответ на стрессоры включает две различные системы [6]. Во-первых, секреция катехоламинов начинается в течение нескольких секунд после воздействия стрессора, обуславливает приток крови к мозгу, сердцу, легким, скелетной мускулатуре и мобилизацию энергии [7]. Далее, глюкокортикоидный ответ начинает работать через минуты или часы и помогает животному мобилизовать энергию, снизить затраты энергии на неосновные функции организма и подготовиться к будущим стрессам [8]. В идеале глюкокортикоидный ответ (повышение концентрации кортизола) на внешние стимулы должен быть быстрым и сильным, но быстро прекращаться с возвращением к базальной концентрации [7].

Кортизол опосредует воздействие любых стресс-факторов на процессы жизнедеятельности организма, как на молекулярном, клеточном, органном, так и организменном уровнях [9]. При длительной активации кортизол вызывает отрицательные эффекты, такие как когнитивные нарушения [10], супрессия репродуктивного и родительского поведения, дисрегуляция мета-

болизма [11]. Использование энергии для функционирования адаптивных механизмов снижает продуктивные и воспроизводительные качества животных.

При стрессе происходят заметные изменения в биохимическом статусе организма [12, 13], глубина которых связана с интенсивностью и продолжительностью стрессового воздействия. Степень хронического стресса, выражаемая через концентрацию кортизола и изменения в уровне тиреоидных гормонов, регулирующих метаболизм [14], тестостерона [15], биохимию крови [8], характеризует в этом случае индивидуальные адаптивные способности и в целом благополучие животных.

В связи с этим целью исследований было выявить онтогенетические особенности гормонального уровня и метаболических показателей свиней в условиях промышленной технологии, обращая особое внимание на сбалансированность параметров и их взаимодействие. Основные задачи исследования состоят в том, чтобы определить:

- какой уровень гормонов и биохимических показателей характеризует популяционную норму для свиней разных половозрастных групп в условиях промышленной технологии;
- связана ли концентрация кортизола с уровнем других гормонов и биохимических показателей сыворотки крови животных разного пола и возраста в условиях промышленной технологии;
- соответствует ли состояние животных представлениям о «хроническом технологическом стрессе».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в условиях промышленного свиного комплекса на условно здоровых свиньях породы йоркшир. Анализом охвачены 41 голова молодняка (20 голов в возрасте 45 и 21 голова – 75 дней), ремонтные свинки (30 голов в возрасте 210–215 дней), основные

свиноматки (14 голов второго месяца супоросности, возраст 1,5–2 года), проверяемые хряки (30 голов в возрасте 210–215 дней) и основные хряки (50 голов в возрасте 2–3 лет).

Содержание животных – безвыгульное, согласно принятым нормам размещения свиней на промышленном комплексе. Основные хряки содержались индивидуально, остальные животные – группами: молодняк 1,5 – 2,5 мес. – 25 гол.; ремонтные свинки 7–8 мес. – 20 гол.; проверяемые хряки 12 мес. – 10 гол.; основные свиноматки – 6 гол.

Отбор крови свиней для оценки концентрации кортизола, тироксина, трийодтиронина, тестостерона и биохимических показателей проводили в период с 8:00 до 10:00.

Биохимическое исследование сыворотки крови провели на автоматическом многофункциональном анализаторе «Statfax». Панель биохимических тестов включала общий белок, альбумин, триглицериды, глюкозу, мочевины, холестерин. Гормональный статус оценивали по уровню кортизола, тироксина, трийодтиронина и тестостерона в сыворотке крови свиней в лаборатории ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН». Определение уровня тестостерона, кортизола, тироксина и трийодтиронина в сыворотке периферической крови проводили иммуноферментным методом с помощью коммерческих наборов («Алкор Био», Санкт-Петербург).

Полученные данные обработаны методами описательной статистики и протестированы на соответствие нормальному распределению методом Андерсона–Дарлинга [16] или Шапиро–Уилка. Корреляционный анализ (линейный или ранговый коэффициент корреляции) показателей сыворотки крови осуществляли с использованием программы Microsoft Excel. Различия между группами оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента (при нормальном распределении) или непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни, однофакторного дисперсионного анализа (при нормальном распределении) или его непараметрического аналога критерия Краскела–Уоллиса.

Референсные значения для каждого биохимического показателя крови определяли в виде доверительных границ $\bar{X} \pm 2\sigma$ (при нормальном распределении) или 2,5–97,5 % (при ненормальном распределении) согласно ГОСТ Р 53022.2–2008. В таблицах приведены данные других авторов, характеризующие среднегрупповые значения изучаемых признаков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди стресс-факторов промышленной технологии особое значение имеют такие неизменные характеристики, как бесподстилочное содержание, ветеринарные обработки, концентрация поголовья, ограничение подвижности, а также проблемные ситуации, связанные с нарушениями микроклимата, резкими сменами рациона, некачественным обращением персонала и т.д. В этих условиях гормональный статус дает важную информацию для характеристики гомеостаза и адаптивных свойств организма и популяции.

Исследованиями установлено влияние возраста на уровень таких гормонов, как кортизол, трийодтиронин, тироксин (табл. 1–3), в сыворотке крови исследованных групп свиней ($P < 0,05$ – $0,01$). Известно, что средняя концентрация, например, кортизола, уменьшается с возрастом [17], хотя экспериментальные данные разных исследователей очень разнородны: средняя концентрация кортизола в сыворотке крови поросят 2–3-месячного возраста варьирует от 38 до 66,6 нмоль/л [18], в то время как у свинок 7–8 мес. и свиноматок он поднимается до 73–149 нмоль/л [18, 19], а у хряков достигает 78–96 нмоль/л [17].

По уровню кортизола практически все изученные группы свиней, кроме ремонтных свинок и проверяемых хряков, превосходили представленные в литературе параметры (см. табл. 1–3). Можно констатировать наличие некоторого уровня хронического стресса, что постулировано другими исследователями [20] и подтверждено, например, экспериментами по сравнительной оценке реакции свиней на содержание с подстилкой и без подстилки [21] и оценкой благополучия [22].

В наших исследованиях наивысший уровень кортизола определен в сыворотке крови поросят 75 дней, ремонтных свинок и основных хряков. Концентрация тиреоидных гормонов, характеризующих уровень основного обмена, была наивысшей у полуторамесячных поросят, снижаясь к возрасту хозяйственной зрелости животных с некоторым повышением у основных хряков (см. табл. 1–3).

Таблица 1

Уровень гормонов в сыворотке крови поросят в возрасте 45 и 75 дней
Serum hormone levels in piglets aged 45 and 75 days

Показатель	45 дней		75 дней		Данные других авторов [18, 23–25]
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Референсные значения	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Референсные значения	
Кортизол, нмоль/л	89,46±8,92	20,2–185,2	95,11±8,31	31,2–193,0	38,4–66,6
Трийодтиронин, нмоль/л	4,42±0,28	1,3–7,6	3,10±0,16	1,4–4,8	0,8–3,04
Тироксин, нмоль/л	98,27±4,27	50,0–147,4	86,07±3,05	58,6–124,8	22,2–56,74

Уровни кортизола и трийодтиронина в сыворотке крови ремонтных свинок, кортизола и тиреоидных гормонов у проверяемых хряков не

соответствовали нормальному распределению, что, возможно, связано с возрастными особенностями животных.

Таблица 2

Уровень гормонов в сыворотке крови ремонтных свинок и основных свиноматок
Serum hormone levels in replacement gilts and breeding sows

Показатель	Ремонтные свинки		Основные свиноматки		Данные других авторов [18, 19, 24, 26]
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1-Q3)	Референсные значения	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1-Q3)	Референсные значения	
Кортизол, нмоль/л	106,06 (75,89–173,41)	35,35–343,41	89,10±17,78	18,30–218,76	75–149
Трийодтиронин, нмоль/л	1,98 (1,57–2,42)	1,11–6,04	3,37±0,76	1,22–14,20	1,43–2,23
Тироксин, нмоль/л	69,76±16,05	36,26–103,58	32,36±2,94	10,93–53,79	28,0–58,63

Гормоны щитовидной железы регулируют формирование костей, снижение концентрации ТЗ связано с повышенной их минерализацией и риском переломов [27–29]. Трийодтиронин влияет на рост через анаболические и катаболические процессы [14, 30]. Тиреоидные гормоны играют большую роль в обеспечении приспособительных реакций организма при стрессе пластическим материалом и энергией, фактически обеспечивая снижение напряженности стресс-синдрома [31].

С учетом высокого уровня кортизола можно предположить, что повышенная по сравнению с представленными в литературе данными секре-

ция тиреоидных гормонов является адаптивной реакцией, связанной с компенсацией стресса, хотя связи между уровнем кортизола и тиреоидных гормонов в разных половозрастных группах не выявлено. Кроме того, известно, что уровень тироксина у мясных свиней в два раза выше, чем у жирных [26], и повышенный уровень тиреоидных гормонов, очевидно, характеризует уровень обмена веществ у свиней современных мясных пород.

Половые гормоны, в частности тестостерон, играют ключевую роль в формировании фертильности животных [32].

Таблица 3

Гормональный статус проверяемых и основных хряков
Hormonal status of tested and main boars

Показатель	Проверяемые хряки		Основные хряки		Данные других авторов [17, 33]
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1-Q3)	Референсные значения	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1-Q3)	Референсные значения	
1	2	3	4	5	6
Кортизол, нмоль/л	79,10(65,01–92,05)	24,25–162,39	97,37±7,13	16,72–201,46	78,0–96,66
Трийодтиронин, нмоль/л	2,54(2,26–3,62)	0,77–5,26	3,87(3,06–5,27)	1,61–10,89	0,43–0,50

1	2	3	4	5	6
Тироксин, нмоль/л	44,72(38,63–50,44)	28,98–77,08	65,75(50,97–83,24)	35,67–152,54	29,1–31,2
Тестостерон, нмоль/л	6,27±0,40	2,05–10,49	7,32±0,39	2,59–14,63	7,0–7,6

Уровень тестостерона у проверяемых и основных хряков соответствует нормальному распределению. Возможно, сила хронического стресса не превышает адаптивный уровень, в соответствии с которым сформировался репродуктивный статус производителей в ходе селекции.

По сообщению [17], с возрастом (с одного до трех лет) уровень кортизола у хряков-производителей снижался. Возрастные отличия по кортизолу у дюрков составили 29,11 %, йоркширов – 18,58 % и ландрасов 25,55 %. Результаты наших исследований показали обратную картину: проверяемые хряки имели существенно ниже, чем основные, и уровень кортизола, и лимиты изменчивости этого признака (см. табл. 1–3).

В числе причин могут быть существенные индивидуальные различия стрессовых реакций разной силы на внешние стимулы, которые могут вызывать значительные колебания уровня глюкокортикоидов. Из литературы также известно о высокой индивидуальной вариации уровня кортизола [34].

Достоверная корреляция выявлена между содержанием в сыворотке крови трийодтиронина и тироксина у основных хряков ($r = 0,36 \pm 0,14$, $P < 0,05$). У проверяемых хряков существенной связи этих признаков не обнаружено.

Гематологические и биохимические параметры свиней подвержены влиянию множества средовых и физиологических факторов, включая генетику, питание, возраст, пол, физиологическое состояние и условия содержания [35, 36].

Необходимо отметить, что описание нормы применительно к биохимическому составу крови свиней в литературе ограничено: как правило, это обобщение по группе «свиньи» со ссылками на

ветеринарные справочники и собственные исследования. Поэтому важное значение для оценки клинического состояния животного на основании интерпретации полученных данных имеют референсные значения гематологических и биохимических показателей крови свиней. В случае развития патологических процессов именно исследования крови позволяют выявить серьезные нарушения в организме до того, как они проявятся клинически [12, 37–39].

Безусловно, использование референсных значений для мониторинга статуса здоровья стада весьма трудоемко и дорого. Однако знание «нормы» для стада дает возможность оценивать влияние разных факторов на благополучие животных, своевременно выявить причины его нарушения.

При характеристике разных групп животных выделяются возрастные особенности обмена веществ. Так, по сравнению с полуторамесячными поросятами в группе 2,5 мес. наблюдается достоверное повышение уровня общего белка ($P < 0,01$) и расширение лимитов референсных значений по всем исследованным биохимическим показателям (табл. 4).

Анализ биохимических параметров сыворотки крови показал наличие нормального распределения по большинству признаков. Средние данные по группам в целом входят в лимиты, представленные другими авторами.

Установлено влияние возраста на уровень сывороточной глюкозы ($P < 0,01$). У 45-дневных поросят содержание глюкозы было выше в сравнении с животными остальных половозрастных групп. Соотношение уровня глюкозы и триглицеридов указывает на углеводный тип энергетического обмена.

Таблица 4

Биохимические показатели сыворотки крови поросят в возрасте 45 и 75 дней
Biochemical parameters of blood serum of piglets at the age of 45 and 75 days

Показатель	45 дней		75 дней		Данные других авторов [18, 40–43]
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Референсные интервалы	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Референсные интервалы	
1	2	3	4	5	6
Общий белок, г/л	46,81±2,30	30,13–63,50	66,49±4,36	30,5–107,5	50–83
Альбумины, г/л	25,47±1,11	17,35–33,58	30,52±2,23	10,5–50,6	22,9–41,7

1	2	3	4	5	6
Глобулины, г/л	21,34±2,11	10,26–41,63	35,96±2,59	17,94–65,13	30–45
Белковый индекс, усл. ед.	1,29±0,12	0,23–2,11	0,87±0,05	0,52–1,45	0,8–1,2
Триглицериды, ммоль/л	0,67±0,09	0,1–1,4	0,70±0,08	0,3–1,8	0,22–0,88
Глюкоза, ммоль/л	5,52±0,47	2,3–9,6	4,25±0,63	1,6–10,7	1,9–6,8
Мочевина, ммоль/л	5,94±0,38	2,3–9,5	6,92±0,39	4,0–11,0	2,9–9,4
Глюкоза/триглицериды	9,39±1,36	3,46–24,54	7,11±1,41	1,18–26,3	15,7

Высокий уровень глюкозы в сочетании с уровнем триглицеридов, достигающим верхнюю треть представленных среднегрупповых лимитов, может свидетельствовать о последствиях стресса, связанного с перегруппировками при отъеме и на дорастивании. Возможен и алиментарный характер наблюдаемых явлений, связанный с высоким потреблением стартовых кормов. Это отчасти подтверждается содержанием мочевины в сыворотке крови поросят, превышающим верхний уровень значений нормы (5,8 ммоль/л), представленных в литературе [44].

Содержание общего белка в сыворотке крови исследованных животных (табл. 4–6) постепен-

но повышается с возрастом ($P < 0,001$), причем увеличивается и альбуминовая, и глобулиновая фракции ($P < 0,05$). Повышение уровня альбуминов связано с ускорением процессов обновления белков и клеточных структур организма.

Значение белкового индекса варьировало в пределах от 0,87 в группе полуторамесячных поросят до 1,8 в группе проверяемых хряков. Высокий белковый коэффициент отражает общий уровень метаболизма. Наивысшие показатели белкового индекса отмечены у хряков, что, видимо, связано с повышенной (в период подготовки к случке и в случной период) белковой питательностью рациона.

Таблица 5

Биохимические показатели сыворотки крови ремонтных свинок и основных свиноматок
Biochemical parameters of blood serum of replacement gilts and main sows

Показатель	Ремонтные свинки		Основные свиноматки		Данные других авторов [44–50]
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1–Q3)	Референсные интервалы	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1–Q3)	Референсные интервалы	
Общий белок, г/л	71,12±2,32	48,89–93,35	78,25±2,56	57,35–99,14	70–85
Альбумины, г/л	39,50±1,55	24,81–54,78	–	–	33,8–45,0
Глобулины, г/л	31,62±1,46	17,65–45,59	–	–	40–45
Белковый индекс, усл. ед.	1,30±0,08	0,56–2,03	–	–	0,77–1,6
Триглицериды, ммоль/л	0,37±0,02	0,20–0,59	0,44±0,04	0,10–0,78	0,22–0,88
Холестерин, ммоль/л	2,58±0,09	1,73–3,44	1,94±0,11	1,05–2,83	1,56–2,86
Глюкоза, ммоль/л	3,30(2,22–4,36)	1,3–11,0	3,52±0,33	0,84–6,21	2,7–5,6
Мочевина, ммоль/л	6,95±0,25	4,49–9,18	4,75±0,31	2,25–7,25	3,3–5,8
Глюкоза/триглицериды	8,57(7,00–11,61)	3,02–30,39	9,08±1,17	1,46–20,95	8,6

Статистически значимые различия между половозрастными группами свиней выявлены по содержанию триглицеридов ($P < 0,01$). Показано, что у поросят этот показатель был в 1,8 раза

выше, чем у взрослых свиней, что, возможно, носит алиментарный характер, но и характеризует особенности обмена веществ быстрорастущего организма.

Таблица 6

Биохимические показатели сыворотки крови проверяемых и основных хряков
Biochemical parameters of blood serum of tested and main boars

Показатель	Проверяемые хряки		Основные хряки		Данные других авторов [40, 43, 53–55]
	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1-Q3)	Референсные интервалы	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ Me (Q1-Q3)	Референсные интервалы	
Общий белок, г/л	74,88±1,61	56,56–93,21	85,30±2,52	56,16–114,46	70–85
Альбумины, г/л	46,44±1,48	29,58–63,30	47,11±1,89	25,30–68,93	31–45
Глобулины, г/л	28,44±1,60	10,18–46,71	38,20±1,88	16,53–59,87	40–52
Белковый индекс, усл. ед.	1,82±0,13	0,32–3,31	1,35±0,09	0,27–2,43	0,8–1,0
Триглицериды, ммоль/л	0,43±0,02	0,23–0,64	0,45±0,03	0,10–0,79	0,22–1,42
Холестерин, ммоль/л	2,02(1,81–2,32)	1,01–3,11	1,35±0,06	0,51–2,19	1,56–4,90
Глюкоза, ммоль/л	2,52±0,20	0,52–2,69	2,66±0,16	0,47–4,85	0,60–5,6
Мочевина, ммоль/л	2,99(2,54–3,72)	1,83–10,42	3,66(3,09–4,41)	1,96–7,34	3,3–6,12
Глюкоза/триглицериды	6,12±0,55	1,94–13,33	5,77±0,40	0,55–10,99	8,6

С возрастом отмечается нарастание уровня сывороточной мочевины у молодых животных ($P < 0,01$), однако у проверяемых и основных хряков-производителей наблюдается падение этого показателя практически в два раза. О снижении концентрации мочевины в сыворотке крови животных в отдельные возрастные периоды и, особенно в зависимости от кормового фактора, в связи с усилением интенсивности белкового обмена пишут и другие авторы [45, 51].

Статистически значимые различия установлены между хряками и свиноматками ($P < 0,001$) по уровню холестерина, являющегося основой для стероидных гормонов [52].

Установлена обратная связь ($r = -0,27 \pm 0,12$, $P < 0,05$) между уровнем холестерина и тестостерона в сыворотке крови основных хряков-производителей. Подобная закономерность выявлена в исследованиях [56] на фоне дефицита тестостерона и повышенного уровня холестерина у самцов-кастратов (йоркшир х ландрас), а также у мини-свиней [57].

Положительная связь выявлена между уровнем мочевины и содержанием общего белка ($r = 0,58 \pm 0,13$; $P < 0,01$). Содержание триглицеридов положительно коррелировало с уровнем холе-

стерина в сыворотке крови хряков ($r = 0,53 \pm 0,13$; $P < 0,01$).

ВЫВОДЫ

1. Гормональный статус и метаболический профиль стада соответствуют «промышленному» статусу комплекса и характеризуют стадию резистентности к «неистощающему» хроническому стрессу. Способность адаптироваться, интенсивный белковый, углеводный и жировой обмен, очевидно, закреплены направленной селекцией породы.

2. Прямого влияния уровня кортизола на другие гормоны и биохимические параметры не выявлено, распределение большинства оцениваемых параметров соответствует нормальному, выявленные корреляции между признаками имеют физиологическую основу, что характеризует существующий уровень гомеостаза и приспособленности к условиям содержания.

3. Полученные референсные значения параметров гормонального статуса и метаболического профиля могут быть использованы для интерпретации и обсуждения результатов исследований на свиньях высокоинтенсивных мясных пород в условиях промышленной технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Morgan L., Raz T. Providing Meaningful Environmental Enrichment and Measuring Saliva Cortisol in Pigs Housed on Slatted Flooring // Journal of Visualized Experiments. – 2019. – № 151. – P. e60070.

2. *Полиморфизм* интерфазных ядрышкообразующих районов у импортёванных свиней и их потомков / С.К. Бутеева, М.Л. Кочнева, К.В. Жучаев [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2014. – № 2. – С. 41–43.
3. *Гематологический статус* импортёванных животных при адаптации / М.Л. Кочнева, К.В. Жучаев, О.А. Иванова [и др.] // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 4 (22). – С. 91–97.
4. *Паншев С.В., Жучаев К.В., Барсукова М.А.* Этологическая характеристика домашней свиньи // Сельскохозяйственная биология. – 2000. – № 2. – С. 20.
5. *Hereford and Simmental cattle breeds in Siberia: implementation of the adaptive and productive potential in the cold climate* / G.I. Ragimov, K.V. Zhuchayev, M.L. Kochneva [et al.] // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8, № 4. – P. 9631–9636.
6. *Lattin C.R., Kelly T.R.* Glucocorticoid negative feedback as a potential mediator of trade-offs between reproduction and survival // General and Comparative Endocrinology. – 2020. – Vol. 286. – P. 113301.
7. *Goldstein D.S.* Stress-induced activation of the sympathetic nervous system // Bailliere's clinical endocrinology and metabolism. – 1987. – Vol. 1, № 2. – P. 253–278.
8. *Sapolsky R.M., Romero L.M., Munck A.U.* How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions // Endocrine reviews. – 2000. – Vol. 21, № 1. – P. 55–89.
9. *Turner A.I., Hemsworth P.H., Tilbrook A.J.* Susceptibility of reproduction in female pigs to impairment by stress or elevation of cortisol // Domest. Anim. Endocrinol. – 2005. – Vol. 29, № 2. – P. 398–410.
10. *De Kloet E.R., Joëls M., Holsboer F.* Stress and the brain: from adaptation to disease // Nature reviews neuroscience. – 2005. – Vol. 6, № 6. – P. 463–475.
11. *A spoonful of sugar: feedback signals of energy stores and corticosterone regulate responses to chronic stress* / M.F. Dallman, S.F. Akana, K.D. Laugero [et al.] // Physiology & behavior. – 2003. – Vol. 79, № 1. – P. 3–12.
12. *Физиологический статус* лактирующих голштинских коров в условиях Сибири / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Е.А. Борисенко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 4. – С. 118–124.
13. *Молочная продуктивность* первотелок голштинской и симментальской пород с разным уровнем воспроизводительных качеств / С.М. Анохин, К.В. Жучаев, О.А. Иванова [и др.] // Вестник ИРГСХА. – 2019. – № 93. – С. 121–130.
14. *Lower dietary phosphorus supply in pigs match both animal welfare aspects and resource efficiency* / M. Oster, Ch. Gerlinger, Ka. Heide [et al.] // Ambio. – 2018. – Vol. 47, № 1. – P. 20–29.
15. *Sapolsky R.M.* Testicular function, social rank and personality among wild baboons // Psychoneuroendocrinology. – 1991. – Vol. 16. – P. 281–303.
16. *Reference Value Advisor: a new freeware set of macroinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel.* / A. Geffré, D. Concordet, J.P. Braun [et al.] // Veterinary Clinical Pathology. – 2011. – Vol. 40, № 1. – P. 107–112.
17. *Джанапов Е.К., Дерхо М.А.* Кортизол и его взаимосвязи с лейкоцитами в организме хряков-производителей // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2019. – Т. 239, № 3. – С. 110–117.
18. *Биохимический статус и продуктивные качества* свиней (*Sus scrofa domestica*) при моделировании стресса и его коррекции / Р.В. Некрасов, Н.В. Боголюбова, К.С. Остренко [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – Vol. 58, № 4. – P. 638–659.
19. *Дедкова А.И., Сергеева Н.Н.* Клинико-физиологическое состояние свиней на откорме при уплотненном содержании // Вестник аграрной науки. – 2010. – Т. 24, № 3. – С. 84–87.
20. *Попова О.А., Татьяначева О.Е.* Сезонные стрессы как фактор, влияющий на воспроизводительные функции свиней // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2018. – № 2(8). – С. 36–40.
21. *Housing conditions do not alter cognitive bias but affect serum cortisol, qualitative behaviour assessment and wounds on the carcass in pigs* / R. Carreras, E. Mainau, L. Arroyo [et al.] // Applied Animal Behaviour Science. – 2016. – Vol. 185. – P. 39–44.
22. *Орлов Д.А.* Влияние промышленной технологии содержания на показатели благополучия супоросных свиноматок // Научное обозрение. – 2014. – № 9–2. – С. 449–453.
23. *Postnatal changes in circulating concentrations of growth hormone, somatomedin C and thyroid hormones in pigs* / C. G. Scanes, D. Lazarus, S. Bowen [et al.] // Domestic animal endocrinology. – 1987. – Vol. 4, No. 4. – P. 253–257.
24. *Тиреоидный статус* свиней и его коррекция / В.А. Самсонович, А.И. Ятусевич, Н.С. Мотузко [и др.] // Ученые записки Витебской ордена «Знак почёта» государственной академии ветеринарной медицины. – 2011. – Т. 47, № 2 – С. 83–86.
25. *Тиреоидный статус* свиней при циркувирусной инфекции. И.М. Донник, О.Г. Петрова, А.Г. Исаева [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2013. – Т. 5 (111). – С. 12–14.
26. *Yen J.T., Pond W.G.* Plasma thyroid hormones, growth and carcass measurements of genetically obese and lean pigs as influenced by thyroprotein supplementation // Journal of animal science. – 1985. – Vol. 61, № 3. – P. 566–572.

27. Vestergaard P., Rejnmark L., Mosekilde L. Influence of hyper-and hypothyroidism, and the effects of treatment with antithyroid drugs and levothyroxine on fracture risk // *Calcified tissue international*. – 2005. – Vol. 77. – P. 139–144.
28. Williams G.R. Thyroid hormone actions in cartilage and bone // *European thyroid journal*. – 2013. – Vol. 2, № 1. – P. 3–13.
29. Bassett J.H.D., Williams G.R. Role of thyroid hormones in skeletal development and bone maintenance // *Endocrine reviews*. – 2016. – Vol. 37, № 2. – P. 135–187.
30. Влияние генотипа матерей на концентрацию и изменчивость трийодтиронина у свиней породы ландрас / Е.И. Тарасенко, Т.В. Коновалова, Л.В. Осадчук [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 4 (69). – С. 294–303.
31. Городецкая И.В. Роль йодсодержащих тиреоидных гормонов в формировании ответной реакции организма при хроническом стрессовом воздействии // *Вестник Витебского государственного медицинского университета*. – 2012. – Т. 11, № 3. – С. 28–35.
32. Establishing reference intervals for sex hormones and SHBG in apparently healthy Chinese adult men based on a multicenter study / Yu, L. Qiu, M. Liu [et al.] // *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*. – 2018. – Vol. 56, No. 7. – P. 1152–1160.
33. Тимовский А.В. Метаболические показатели, резистентность и функциональное состояние коры надпочечников и семенников у хряков разных пород: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Курск, 2024 – 20 с.
34. Young E.A., Abelson J., Lightman S.L. Cortisol pulsatility and its role in stress regulation and health // *Frontiers in neuroendocrinology*. – 2004. – Vol. 25, № 2. – P. 69–76.
35. Tumbleson M.E., Scholl E. Hematology and clinical chemistry // Lemman AD, ed. *Diseases of swine*. Ames: Iowa State University Press. – 1981. – P. 27–40.
36. Age-related serum biochemical reference intervals established for unweaned calves and piglets in the post-weaning period / K. Yu, F. Canalias, D. Solà-Oriol [et al.] // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2019. – Vol. 6. – P. 123.
37. Assessment of hematologic and biochemical parameters for healthy commercial pigs in China / S. Zhang, B. Yu, Q. Liu [et al.] // *Animals*. – 2022. – Vol. 12, № 18. – P. 2464.
38. Reference values of hematological, biochemical and endocrinological parameters in the blood of piglets aged 1 and 21 days / M. Cincović, M. Radović, I. Belić [et al.] // *Contemporary Agriculture*. – 2020. – Vol. 69, № 3–4. – P. 34–40.
39. Stevancevic O., Cincović M., Šević R. Age-associated and breed-associated variations in haematological and biochemical variables in Mangalitsa, Mangalitsa× Durock and Large White Pig // *Acta scientiae veterinariae*. – 2019. – Vol. 47. – P. 1679.
40. К вопросу о селективности биохимических тестов в оценке состояния здоровья сельскохозяйственных животных / В.М. Холод, Ю.Г. Соболева, В.П. Баран [и др.] // *Ученые записки Витебской ордена «Знак Почета» государственной академии ветеринарной медицины*. – 2021. – Т. 57, вып. 2. – С. 173–178.
41. Аухатова С.Н. Некоторые биохимические показатели в крови поросят в зависимости от йодного питания // *Современные наукоемкие технологии*. – 2004. – № 5. – С. 97–98.
42. Козел Л.С., Сукач В.Л., Милоста О.В. Биохимические и гематологические показатели у поросят при использовании комплексного препарата-синбиотика // *Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр.* – Гродно: ГТАУ, 2013. – Т. 20: Ветеринария. – С. 109–115.
43. Сравнительная физиология животных: учебник / А.А. Иванов, О.А. Войнова, Д.А. Ксенофонов [и др.]. – С-Пб.: Лань, 2022. – 416 с.
44. Урбан Г.А. Морфологический состав и биохимические показатели крови супоросных и подсосных свиноматок // *Ветеринарная патология*. – 2012. – № 3 (41). – С. 91–97.
45. Лодянов В.В., Ганзенко Е.А. Биохимические показатели крови свиней специализированных типов // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2014. – Т. 97. – С. 762–775.
46. Смирнова Е.В., Дерхо М.А. Лептин и его взаимосвязь с липидным обменом у ремонтных свинок разных пород // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. – 2020. – Т. 242(2). – С. 165–170.
47. Характеристика изменчивости показателей крови свинок родительских пород, используемых для промышленного скрещивания / С.А. Гриценко, М.А. Дерхо, М.Б. Ребезов [и др.] // *Аграрная наука*. – 2023. – № 5. – С. 42–48.
48. Благополучие и потенциал приспособленности локальных пород свиней Сибири / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Е.А. Борисенко [и др.]. – Новосибирск, 2022. – 218 с.
49. Биохимические, морфологические и иммунологические показатели свиноматок при стимуляции воспроизводительной функции препаратами «Е-селен» и «Гамавит» / Н.В. Шульгин, В.И. Плешакова, В.С. Власенко [и др.] // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 4 (145). – С. 81–87.

50. Шинкаревич Н.А. Влияние биологически активной кормовой добавки «Ветлактофор» на обменные процессы у супоросных свиноматок: дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2023. – 200 с.
51. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets / J.L. Figueroa, A.J. Lewis, P.S. Miller [et al.] // *Journal of animal science*. – 2002. – Vol. 80, № 11. – P. 2911–2919.
52. Cellular cholesterol delivery, intracellular processing and utilization for biosynthesis of steroid hormones / J. Hu, Z. Zhang, W.J. Shen [et al.] // *Nutrition & metabolism*. – 2010. – Vol. 7. – P. 1–25.
53. Перевойко Ж.А., Косилов В.И. Основные биохимические показатели крови хряков и свиноматок крупной белой породы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2014. – № 5 (49). – С. 196–199.
54. Конотоп Д.С., Соболев Д.Т., Соболева В.Ф. Показатели белкового и минерального обмена у хряков и влияние на них факторных патогенов // *Ученые записки Витебской ордена «Знак Почета» государственной академии ветеринарной медицины*. – 2019. – Т. 55 (4). – С. 46–49.
55. Панькова Е.К. Биохимические показатели сыворотки крови свиней разных генотипов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 3 (89). – С. 292–296.
56. Influence of castration-induced sex hormone deficiency on serum lipid levels and the genes expression in male pigs / Y.C. Yao, Z.W. Cai, C.J. Zhao [et al.] // *Hormone and metabolic research*. – 2011. – Vol. 43, № 10. – P. 674–680.
57. Testosterone deficiency accelerates early stage atherosclerosis in miniature pigs fed a high-fat and high-cholesterol diet: urine 1 H NMR metabolomics targeted analysis / L. Deng, D. Fu, L. Zhu [et al.] // *Molecular and Cellular Biochemistry*. – 2021. – Vol. 476. – P. 1245–1255.

REFERENCES

1. Morgan L., Raz T., Providing Meaningful Environmental Enrichment and Measuring Saliva Cortisol in Pigs Housed on Slatted Flooring, *Journal of Visualized Experiments*, 2019, No. 151, pp. e60070.
2. Buteeva S.K., Kochneva M.L., Zhuchaev K.V. [i dr.], *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2014, No. 2, pp. 41–43. (In Russ.)
3. Kochneva M.L., Zhuchaev K.V., Ivanova O.A., Borisenko E.A., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2018, No. 4 (22), pp. 91–97. (In Russ.)
4. Papshev S.V., Zhuchaev K.V., Barsukova M.A., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2000, No. 2, pp. 20–26. (In Russ.)
5. Ragimov G.I., Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Gart V.V., Inerbaev B.O., Goncharenko G.M., Deeva V.S., Hereford and Simmental cattle breeds in Siberia: implementation of the adaptive and productive potential in the cold climate, *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2019, Vol. 8, No. 4, pp. 9631–9636.
6. Lattin C.R., Kelly T.R., Glucocorticoid negative feedback as a potential mediator of trade-offs between reproduction and survival, *General and Comparative Endocrinology*, 2020, Vol. 286, pp. 113301.
7. Goldstein D.S., Stress-induced activation of the sympathetic nervous system, *Bailliere's clinical endocrinology and metabolism*, 1987, Vol. 1, No. 2, pp. 253–278.
8. Sapolsky R.M., Romero L.M., Munck A.U., How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions, *Endocrine reviews*, 2000, Vol. 21, No. 1, pp. 55–89.
9. Turner A.I., Hemsworth P.H., Tilbrook A.J., Susceptibility of reproduction in female pigs to impairment by stress or elevation of cortisol, *Domest. Anim. Endocrinol.*, 2005, Vol. 29, No. 2, pp. 398–410.
10. De Kloet E.R., Joëls M., Holsboer F., Stress and the brain: from adaptation to disease, *Nature reviews neuroscience*, 2005, Vol. 6, No. 6, pp. 463–475.
11. Dallman M.F., Akana S.F., Laugero K.D. [et al.], A spoonful of sugar: feedback signals of energy stores and corticosterone regulate responses to chronic stress, *Physiology & behavior*, 2003, Vol. 79, No. 1, pp. 3–12.
12. Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., Borisenko E.A., Bogdanova O.V., Rep'yuk D.V., Semenov A.A., Eilert A.I., Chubarova I.M., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2016, No. 4, pp. 118–124. (In Russ.)
13. Anokhin S.M., Zhuchaev K.V., Ivanova O.A., *Vestnik IrGSKhA*, 2019, No. 93, pp. 121–130. (In Russ.)
14. Oster M., Gerlinger Ch., Heide Ka. [et al.], Lower dietary phosphorus supply in pigs match both animal welfare aspects and resource efficiency, *Ambio*, 2018, Vol. 47, No. 1, pp. 20–29.
15. Sapolsky R.M., Testicular function, social rank and personality among wild, *Psychoneuroendocrinology*, 1991, Vol. 16, pp. 281–303.
16. Geffré A., Concordet D., Braun J.P. [et al.], *Veterinary Clinical Pathology*, 2011, Vol. 40, No. 1, pp. 107–112.
17. Dzhaparov E.K., Derkho M.A., *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. NE Bauman*, 2019, No. 239(3), pp. 110–117. (In Russ.)

18. Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Ostrenko K.S., Chabaev M.G. Kut'in I.V. Lakhonin P.D., Semenova A.A., Pchelkina V.A., Nasonova V.V., Loskutov S.I., Rykov R.A., Prytkov Yu.A., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2023, Vol. 58(4), pp. 638–659. (In Russ.)
19. Dedkova A.I., Sergeeva N.N., *Vestnik agrarnoi nauki*, 2010, No. 24(3), pp. 84–87. (In Russ.)
20. Popova O.A., Tat'yanicheva O.E., *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaistvennoi biologii*, 2018, No. 2(8), pp. 36–40. (In Russ.)
21. Carreras R., Mainau E., Arroyo L. [et al.], Housing conditions do not alter cognitive bias but affect serum cortisol, qualitative behaviour assessment and wounds on the carcass in pigs, *Applied Animal Behaviour Science*, 2016, Vol. 185, pp. 39–44.
22. Orlov D.A., *Nauchnoe obozrenie*, 2014, No. 9–2, pp. 449–453. (In Russ.)
23. Scanes C.G., Lazarus D., Bowen S. [et al.], Postnatal changes in circulating concentrations of growth hormone, somatomedin C and thyroid hormones in pigs, *Domestic animal endocrinology*, 1987, Vol. 4., No. 4, pp. 253–257.
24. Samsonovich V.A., Yatushevich A.I., Motuzko N.S., Bratushkina E.L., *Uchenye zapiski UO VGAVM*, 2011, No. 47(2), pp. 83–86. (In Russ.)
25. Donnik I.M., Petrova O.G., Isaeva A.G., Krysenko Yu.G., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2013, No. 5 (111), pp. 12–14. (In Russ.)
26. Yen J.T., Pond W.G., Plasma thyroid hormones, growth and carcass measurements of genetically obese and lean pigs as influenced by thyroprotein supplementation, *Journal of animal science*, 1985, Vol. 61, No. 3, pp. 566–572.
27. Vestergaard P., Rejnmark L., Mosekilde L., Influence of hyper- and hypothyroidism, and the effects of treatment with antithyroid drugs and levothyroxine on fracture risk, *Calcified tissue international*, 2005, Vol. 77, pp. 139–144.
28. Williams G.R., Thyroid hormone actions in cartilage and bone, *European thyroid journal*, 2013, Vol. 2, No. 1, pp. 3–13.
29. Bassett J.H.D., Williams G.R., Role of thyroid hormones in skeletal development and bone maintenance, *Endocrine reviews*, 2016, Vol. 37, No. 2, pp. 135–187.
30. Tarasenko E.I., Konovalova T.V., Osadchuk L.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 4 (69), pp. 294–303. (In Russ.)
31. Gorodetskaya I. V., *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2012, No. 11(3), pp. 28–35. (In Russ.)
32. Yu L., Qiu M., Liu [et al.], Establishing reference intervals for sex hormones and SHBG in apparently healthy Chinese adult men based on a multicenter study, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, 2018, Vol. 56, No. 7, pp. 1152–1160.
33. Titovskii A.V., *Metabolicheskie pokazateli, rezistentnost' i funktsional'noe sostoyanie kory nadpochechnikov i semennikov u khryakov raznykh porod* (Metabolic indices, resistance and functional state of the adrenal cortex and testes in boars of different breeds), Avtoref. diss. kand. biol. Nauk, Kursk, 2024, 20 p.
34. Young E.A., Abelson J., Lightman S.L., Cortisol pulsatility and its role in stress regulation and health, *Frontiers in neuroendocrinology*, 2004, Vol. 25, No. 2, pp. 69–76.
35. Tumbleson M.E., Scholl E., Hematology and clinical chemistry, *Leman AD, ed. Diseases of swine*, Ames: Iowa State University Press, 1981, pp. 27–40.
36. Yu K., Canalias F., Solà-Oriol D. [et al.], Age-related serum biochemical reference intervals established for unweaned calves and piglets in the post-weaning period, *Frontiers in Veterinary Science*, 2019, Vol. 6, pp. 123.
37. Zhang S., Yu B., Liu Q. [et al.], Assessment of hematologic and biochemical parameters for healthy commercial pigs in China, *Animals*, 2022, Vol. 12, No. 18, pp. 2464.
38. Cincović M., Radović M., Belić I. [et al.], Reference values of hematological, biochemical and endocrinological parameters in the blood of piglets aged 1 and 21 days, *Contemporary Agriculture*, 2020, Vol. 69, No. 3–4, pp. 34–40.
39. Stevancevic O., Cincović M., Šević R., Age-associated and breed-associated variations in haematological and biochemical variables in Mangalitsa, Mangalitsa × Durock and Large White Pig, *Acta scientiae veterinariae*, 2019, Vol. 47, pp. 1679.
40. Kholod V.M., Soboleva Yu.G., Baran V.P., Sintserova A.M., *Uchenye zapiski UO VGAVM*, 2021, No. 57(2), pp. 173–178. (In Russ.)
41. Aukhatova S.N., *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2004, No. 5, pp. 97–98. (In Russ.)
42. Kozel L.S., Sukach V.L., Milosta O.V., *Sel'skoe khozyaistvo - problemy i perspektivy* (Agriculture - problems and prospects), Collection of scientific papers, Grodno: GGAU, 2013, No. 20: Veterinariya, pp. 109–115. (In Russ.)
43. Ivanov A.A., Voinova O.A., Ksenofontov D.A., *Sravnitel'naya fiziologiya zhivotnykh* (Comparative Animal Physiology), Sankt-Peterburg: Lan', 2022, 416 p. (In Russ.)
44. Urban G.A., *Veterinarnaya patologiya*, 2012, No. 3 (41), pp. 91–97. (In Russ.)
45. Lodyanov V.V., Ganzenko E.A., *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No. 97, pp. 762–775. (In Russ.)

46. Smirnova E.V., Derkho M.A., *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Baubana*, 2020, No. 242(2), pp. 165–170. (In Russ.)
47. Gritsenko S.A., Derkho M.A., Rebezov M.B., Solomakha S.V., *Agrarnaya nauka*, 2023, (5), pp. 42–48. (In Russ.)
48. Zhuchayev K.V., Kochneva M.L., Borisenko E.A., Barsukova M.A., Orlov D.A., Petukhov V.L., Ryavkin O.V., *Blagopoluchie i potentsial prispособlennosti lokal'nykh porod svinei Sibiri* (Welfare and fitness potential of local pig breeds in Siberia), Novosibirsk, 2022, 218 p. (In Russ.)
49. Shul'gin N.V., Pleshakova V.I., Vlasenko V.S., Zhernosenko A.A., *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 4 (145), pp. 81–87. (In Russ.)
50. Shinkarevich N.A., *Vliyanie biologicheskii aktivnoi kormovoi dobavki «Vetlaktofor» na obmennye protsessy u suporosnykh svinomatok* (The influence of the biologically active feed additive “Vetlactofor” on metabolic processes in pregnant sows), Candidate of Science Dissertation, Sankt-Peteburg, 2023, 200 p. (In Russ.)
51. Figueroa J.L., Lewis A.J., Miller P.S. [et al.], Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets, *Journal of animal science*, 2002, Vol. 80, No. 11, pp. 2911–2919.
52. Hu J., Zhang Z., Shen W.J. [et al.], Cellular cholesterol delivery, intracellular processing and utilization for biosynthesis of steroid hormones, *Nutrition & metabolism*, 2010, Vol. 7, pp. 1–25.
53. Perevoiko Zh.A., Kosilov V.I., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No. 5 (49), pp. 196–199. (In Russ.)
54. Konotop D.S., Sobolev D.T., Soboleva V.F., *Uchenye zapiski UO VGAVM*, 2019, T. 55 (4), pp. 46–49. (In Russ.)
55. Pan'kova E.K., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 3 (89), pp. 292–296. (In Russ.)
56. Yao Y.C., Cai Z.W., Zhao C.J. [et al.], Influence of castration-induced sex hormone deficiency on serum lipid levels and the genes expression in male pigs, *Hormone and metabolic research*, 2011, Vol. 43, No. 10, pp. 674–680.
57. Deng L., Fu D., Zhu L. [et al.], Testosterone deficiency accelerates early stage atherosclerosis in miniature pigs fed a high-fat and high-cholesterol diet: urine 1 H NMR metabolomics targeted analysis, *Molecular and Cellular Biochemistry*. 2021, Vol. 476, pp. 1245–1255.

Информация об авторах:

К.В. Жучаев, доктор биологических наук, профессор
 М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, профессор
 Л.В. Осадчук, доктор биологических наук, профессор
 Е.А. Борисенко, кандидат биологических наук, доцент
 С.В. Папшев, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

K.V. Zhuchayev, Doctor of Biological Sciences, Professor
 M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences, Professor
 L.V. Osadchuk, Doctor of Biological Sciences, Professor
 E.A. Borisenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 S.V. Papshev, Candidate of Agricultural Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ СИММЕНТАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ С РАЗНЫМИ ГЕНОТИПАМИ ПО ГЕНАМ КАППА-КАЗЕИНА И СОМАТОТРОПИНА

^{1,2}А.А. Зырянова, ¹А.А. Клещева, ¹М.Ю. Севостьянов

¹ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Екатеринбург, Россия

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», Екатеринбург, Россия

E-mail: agata.lis.00@mail.ru

Для цитирования: Зырянова А.А., Клещева А.А., Севостьянов М.Ю. Молочная продуктивность коров симментальской породы с разными генотипами по генам каппа-казеина и соматотропина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 189–197. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-189-197.

Ключевые слова: гены-маркеры, каппа-казеин, соматотропин, симментальский скот, молочная продуктивность.

Реферат. Экономически важными продуктивными признаками крупного рогатого скота, которые способствуют развитию молочной промышленности, считаются обильномолочность, содержание белка и жира в молоке. В последние годы пристальное внимание селекционеров направлено на программы разведения скота, основанные на молекулярно-генетических методах исследования. Потенциал продуктивности животных во многом зависит от генетических вариантов маркерных генов, присутствующих в генотипе особи. Перспективными ДНК-маркерами считаются гены каппа-казеина и соматотропина, так как отвечают за качественные и количественные признаки продуктивности скота. В работе изучена молочная продуктивность 84 коров симментальской породы из племенного предприятия, расположенного на территории Уральского региона, по генам каппа-казеина и соматотропина, а также по комплексным генам. По гену каппа-казеина по удою в преимуществе находились особи с генотипами CSN3^{AB} – 6937,6 кг. Больше содержание белка в молоке, выход молочного жира и белка, а также сумму питательных веществ зафиксировали у коров с генотипами CSN3^{BB} – 3,40 %, 282,5, 234,2 и 516,7 кг соответственно; по гену соматотропина наиболее обильномолочные коровы с генотипами GH^{IV} – 7160,0 кг. По белкомолочности более продуктивны сверстницы с генотипами GH^{LL} – 3,4 %. Сумма питательных веществ, выход молочного жира и белка в большей степени установлены в молоке коров с генотипами GH^{IV} – 522,7, 293,6 и 229,1 кг соответственно. В данном стаде симментальских особей встречались все девять возможных вариантов комплексных генотипов по генам каппа-казеина и соматотропина: AA/LV – 26 голов; AA/LL – 14; AA/VV – 12; AB/LL – 13; AB/LV – 10; AB/VV – 2; BB/LL – 4; BB/VV – 2; BB/LV – 1. В обработку данных по влиянию комплексных генотипов на молочную продуктивность включили по количеству от десяти коров и больше для более объективных результатов. Большими удоем, содержанием белка в молоке, выходом молочного жира и белка, а также суммой питательных веществ обладали особи с комплексными генотипами AB/LL: 6756,0 кг, 3,4 %, 277,0 кг и 229,7 кг, 506,7 кг соответственно. Обнаружены значимые различия между группами коров по содержанию массовой доли белка.

MILK PRODUCTIVITY OF SIMMENTAL CATTLE BY COMBINED KAPPA-CASEIN AND SOMATOTROPIN GENES

^{1,2}A.A. Zyryanova, ¹A.A. Klescheva, ¹M.Y. Sevostyanov

¹FGBNU “Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”, Yekaterinburg, Russia

²FGBOU VO “Ural State Agrarian University”, Yekaterinburg, Russia

E-mail: agata.lis.00@mail.ru

Keywords: marker genes, kappa-casein, somatotropin, Simmental cattle, dairy productivity.

Abstracts. The economically important productive traits of cattle that contribute to the development of the dairy industry are considered to be abundant milk yield, protein and fat content in milk. In recent years, breeders have focused their attention on cattle breeding programmes based on molecular genetic research methods. The

potential of animal productivity largely depends on genetic variants of marker genes present in the genotype of an individual. The genes of kappa-casein and somatotropin are considered to be promising DNA markers, as they are responsible for qualitative and quantitative traits of cattle productivity. In this work we studied milk productivity of 84 cows of Simmental breed from the breeding plant in the Urals by kappa-casein and somatotropin genes, as well as by complex genes. On the gene kappa-casein on milk yield in advantage are individuals with genotypes CSN3AB - 6937,6 kg. The higher content of protein in milk, milk fat and protein yield, as well as the sum of nutrients were recorded in cows with CSN3BB genotypes - 3.40%, 282.5 kg, 234.2 kg and 516.7 kg, respectively. In terms of somatotropin gene, cows with GHVV genotypes had the most abundant milk production - 7160.0 kg. In terms of protein-milk yield, coevals with GHLL genotypes are more productive - 3.4 %. The sum of nutrients, milk fat and protein yield is more established in milk of cows with GHVV genotypes - 522.7 kg, 293.6 kg and 229.1 kg, respectively. All nine possible variants of complex genotypes for kappa-casein and somatotropin genes occur in this Simmental herd: AA/LV - 26 cows; AA/LL - 14; AA/VV - 12; AB/LL - 13; AB/LV - 10; AB/VV - 2; BB/LL - 4; BB/VV - 2; BB/LV - 1. Data processing on the effect of complex genotypes on milk productivity included a number of 10 cows or more. Higher milk yield, milk protein content, milk fat and protein yield, and nutrient sum were found in AB/LL complex genotypes: 6756.0 kg, 3.4 %, 277.0 kg and 229.7 kg, 506.7 kg, respectively. Significant differences were found between cow groups in the content of mass fraction of protein.

На современном этапе развития молочного скотоводства программы селекции крупного рогатого скота, основанные на молекулярно-генетических методах, активно привлекают внимание. Это связано в первую очередь с тем, что данная селекция ускоряет улучшение продуктивности животных.

Для молочной промышленности наиболее привлекательно молоко животных не только с повышенной жирномолочностью, но и с высоким содержанием белка. Состав и качество молока крупного рогатого скота во многом зависит от генотипа животного. Содержание общего белка в коровьем молоке имеет связь с генотипом животного по локусу гена каппа-казеина [16, 17, 19]. Каппа-казеин (CSN3) считается главным белком молока и одной из фракций казеина. Сам ген имеет около 13 аллельных вариантов. Из них у крупного рогатого скота наиболее распространены CSN3^A и CSN3^B аллельные варианты [13].

Одним из перспективных генов-маркеров крупного рогатого скота считается ген гормона роста, или соматотропина (GH). Ген оказывает значительное влияние на регуляцию синтеза белков, деление клеток, рост организма, процессы мобилизации жира и характеризуется лактогенным действием [1]. В пятом экзоне гена установлен полиморфизм, который связан с трансверсией С-Г, обуславливающей аминокислотную замену лейцина на валин в белковом продукте гена. Это обеспечивает повышение темпов прироста живой массы животных и молокообразование у лактирующих коров [2, 3, 10].

Ряд ученых зафиксировали связь полиморфных вариантов гена соматотропина с обильномолочностью, содержанием жира и белка в молоке. Практика многих исследований показала, что концентрация аллеля GH^I среди поголовья крупного рогатого скота имеет селекционное преимущество перед вариантом GH^V, что связано с обеспечением повышения лактогенной функции [1, 15]. Многочисленные исследования и практический опыт определили, что

гормон роста оказывает влияние на количественные и качественные показатели молочной продуктивности коров. Подведем итог, что генотипы гена GH можно применять как генетические маркеры удою, массовой доли жира и белка и впоследствии закреплять путем селекции более ценные из них [5].

В России распространен крупный рогатый скот симментальской породы. В Уральском регионе есть хозяйства, занимающиеся ее разведением. Симментальский скот имеет отличительную особенность – сочетание молочной и мясной продуктивности, в связи с чем и привлекает внимание исследователей.

В испытательной лаборатории молекулярно-генетической экспертизы отдела животноводства и генетических исследований Уральского НИИСХ в 2021 г. определяли полиморфизм симментальского скота уральского разведения по гену каппа-казеина [6]. В 2022 г. коров генотипировали по гену соматотропина [11].

Цель исследований состоит в анализе молочной продуктивности симментальского скота в зависимости от комплексных геновариантов генов каппа-казеина и соматотропина.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках государственного задания по теме «Изучение селекционно-генетических характеристик крупного рогатого скота Уральского региона с использованием биотехнологических методов в целях создания новых селекционных форм животных, обладающих высоким генетическим потенциалом молочной продуктивности, качества молока и продолжительности хозяйственного использования».

Объектом исследования являются 84 коровы симментальской породы племенного завода на Урале. Генотипирование животных произвели с

использованием образцов их крови. Аллели и генотипы исследуемых генов устанавливали в испытательной лаборатории молекулярно-генетической экспертизы отдела животноводства и генетических исследований Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН [7].

Выделение ДНК провели с помощью реагентов производства ООО «НПФ Синтол» (Москва) согласно инструкции фирмы-изготовителя.

Для определения генотипов и аллелей генов каппа-казеина и соматотропина пользовались разными методами:

ПЦР-ПДРФ метод использовали для генотипирования особей по гену соматотропина. Полимеразную цепную реакцию осуществляли на амплификаторе «Gene Amp PCR 9700» (Applied Biosystems, США). На рис. 1 представлена электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ-идентификации аллелей гена соматотропина.

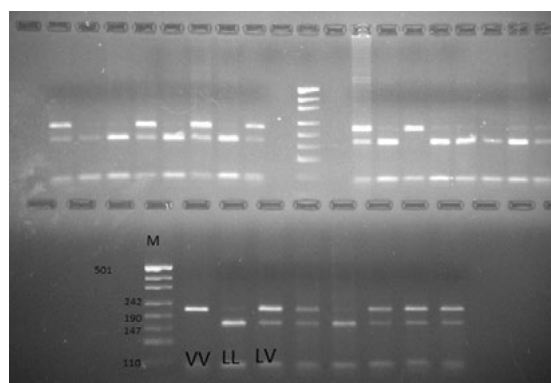


Рис. 1. Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ-идентификации аллелей GHV крупного рогатого скота
Electropherogram of the result of PCR-RFLP identification of GHV alleles in cattle

Методом ПЦР в реальном времени определяли генотипы и аллели по гену каппа-казеина. Методику проводили на ДНК-амплификаторе в реальном времени Real-Time PCR AB 7500. Результаты генотипирования изображены на рис. 2–4. Флуоресценция была зафиксирована на стадии элонгации репортерными красителями FAM и VIC. На рис. 2

флуоресценция по каналу «FAM» окрашивает синим цветом, а «VIC» – красным. У коров с генотипами CSN3^{BB} сигнал флуоресценции имелся по поднятию «кривой» в канале «FAM», у животных с генотипами CSN3^{AA} – по каналу «VIC» (см. рис. 3). У гетерозиготных особей сигнал регистрировали в обоих каналах (см. рис. 4).

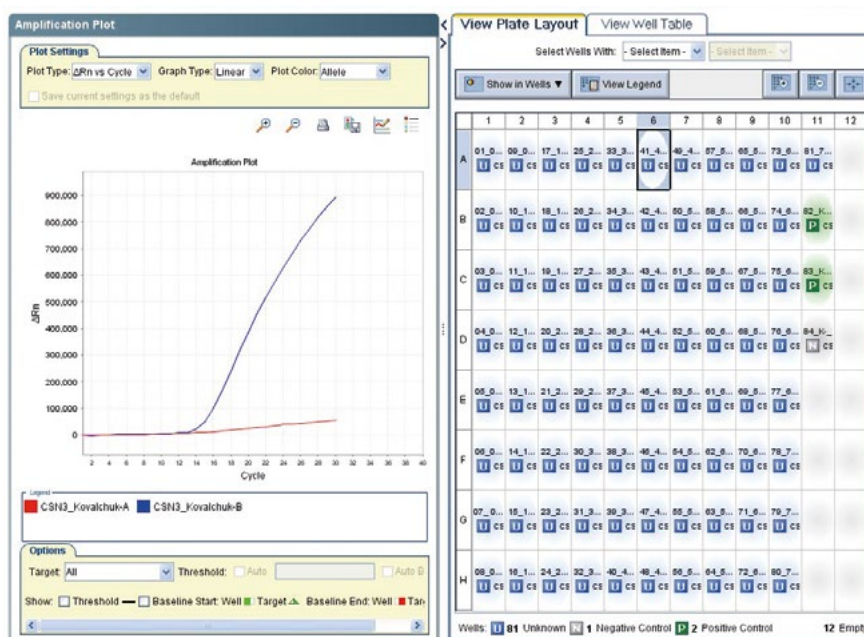


Рис. 2. Результат генотипирования с использованием Real-Time PCR AB 7500, указывающий генотип CSN3^{BB}
Real-Time PCR AB 7500 genotyping result indicating CSN3^{BB} genotype

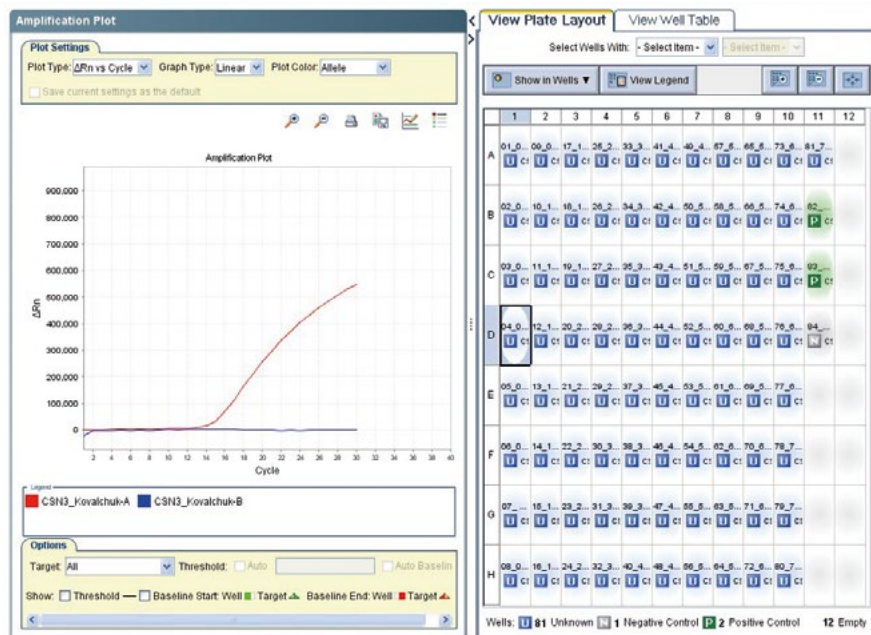


Рис. 3. Результат генотипирования с использованием Real-Time PCR AB 7500, указывающий генотип CSN3^{AA}
Real-Time PCR AB 7500 genotyping result indicating CSN3^{AA} genotype

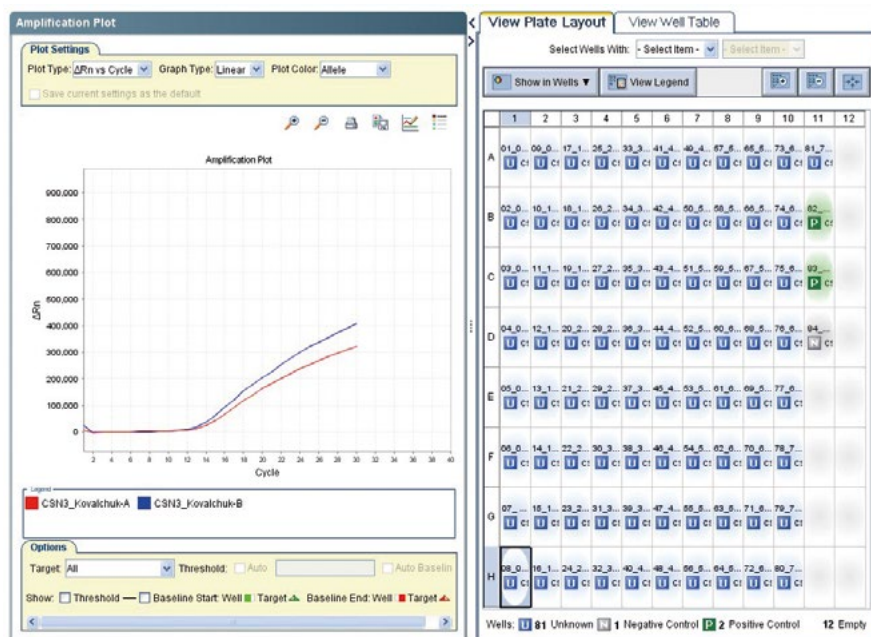


Рис. 4. Результат генотипирования с использованием Real-Time PCR AB 7500, указывающий генотип CSN3^{AB}
Real-Time PCR AB 7500 genotyping result indicating CSN3^{AB} genotype

Выборку показателей молочной продуктивности групп формировали по первой лактации по данным ИАС СЕЛЭКС – Племенной учет в хозяйствах (молочный скот).

Для определения частоты встречаемости аллелей, геновариантов и комплексных генотипов использовали формулу Е.К. Меркурьевой и Г.Н. Шангин-Березовского [8]:

$$P_1 = B_1 / 2n, \quad (1)$$

где P_1 – частота данного аллеля; B_1 – общее число данного аллеля в исследуемой популяции (для гомозигот считаются оба аллеля); n – количество протестированных животных.

У генотипов частота встречаемости определялась по следующей формуле:

$$P = n / N, \quad (2)$$

где P – частота определенного генотипа, %; n – количество животных, имеющих определенный генотип; N – общее число животных.

Таким образом, полученная матрица генотипов и аллелей послужила основой для статистической обработки результатов в электронной таблице Microsoft Excel.

Затем осуществляли сортировку 84 коров на группы с различными генотипами генов каппа-казеина и соматотропина и проводили анализ их связи с уровнем обильномолочности, выходом молочного белка и жира, массовой долей белка (МДБ) и массовой долей жира (МДЖ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе работы изучили молочную продуктивность коров с различными генотипами гена

каппа-казеина. Результаты представлены в табл. 1. По обильномолочности преимущественно выделяются особи с генотипами CSN3^{AB} (6938 кг). Удой этих коров был больше на 392 и 48 кг, чем у животных с генотипами CSN3^{AA} и CSN3^{BB} соответственно. Большую белковомолочность достоверно установили у коров с генотипами CSN3^{BB} (3,40 %), что совпадает с результатами других авторов [4, 9, 18]. По выходу молочного жира, белка и сумме питательных веществ также имеют превосходство сверстницы с генотипами CSN3^{BB} – 282,5, 234,2 и 516,7 кг соответственно.

Данные по молочной продуктивности животных с разными генотипами по гену соматотропина представлены в табл. 2.

Таблица 1

Молочная продуктивность в зависимости от генотипов по гену каппа-казеина
Milk productivity depending on genotypes of the kappa-casein gene

Генотип	Поголовье	Молочная продуктивность					
		Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	МДЖ, кг	МДБ, кг	Сумма питательных веществ
Всего	84	6691±158	4,07±0,03	3,33±0,01	272,3	222,8	495,0
AA	52	6546±209	4,1±0,03	3,30±0,02	268,4	216,0	484,4
AB	25	6938±288	4,0±0,05	3,30±0,02	277,5	228,9	506,4
BB	7	6890±335	4,10±0,11	3,40±0,05	282,5	234,2	516,7
AA - AB		-392	+0,1	+0,0	-9,1	-12,9	-22
AA - BB		-344	+0,0	-0,1**	-14,1	-18,2	-32,3
BB - AB		-48	+0,1	+0,1	+5	+5,3	+10,3

Примечание. ** P < 0,01.

Таблица 2

Молочная продуктивность в зависимости от генотипов по гену соматотропина

Генотип	Поголовье	Молочная продуктивность					
		Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	МДЖ, кг	МДБ, кг	Сумма питательных веществ
Всего	84	6691±158	4,1±0,03	3,3±0,01	274,3	220,8	495,2
LL	31	6683±193	4,1±0,04	3,4±0,02	274,0	227,2	501,2
LV	37	6496±237	4,0±0,05	3,3±0,02	259,8	214,3	474,2
VV	16	7160±495	4,1±0,05	3,2±0,03	293,6	229,1	522,7
LL - LV		+187	+0,1	+0,1	+14,2	+12,9	+27
LL - VV		-477	+0,0	+0,2***	-19,6	-1,9	-21,5
VV - LV		+664	+0,1	-0,1**	+33,8	+14,8	+48,5

Примечание. ** P < 0,01; *** P < 0,001.

Зафиксировали, что наибольшей обильномолочностью отличались коровы с генотипами GH^{VV} (7160 кг). Удой сверстниц с генотипами GH^{LL} и

GH^{LV} был меньше на 477 и 664 кг соответственно. Установлены достоверные различия между коровами с разными генотипами по содержанию

белка. Наибольшее содержание МДБ в молоке установили у коров с генотипами GH^{LL} (3,4 %). По сумме питательных веществ, выходу молочного жира и белка в приоритете особи с генотипами GH^{VV} – 522,7, 293,6 и 229,1 кг.

Результаты проделанной работы по изучению качества молока коров в зависимости от гена соматотропина имеют отличия от данных других исследователей. Например, в работе И.В.Ткаченко и С.Л. Гридиной на голштинской породе скота больший удой был зафиксирован у особей с генотипом GH^{LL} [12]. Аналогичную тенденцию обнаружили в работе А.А. Ярышкина на той же породе [14]. Тем не менее в исследовании данного автора по последней законченной лактации более обильномолочными оказались животные с генотипом GH^{LV} , где также присутствует аллель GH^L [14]. Предполагаем, что отличие результатов обусловлено породными различиями и количеством выборки изученных животных.

В генетической структуре изучаемых симментальских коров по комплексным генотипам

генов каппа-казеина и соматотропина определили встречаемость всех возможных девяти вариантов: AA/LV – 26 голов; AA/LL – 14; AB/LL – 13; AA/VV – 12; AB/LV – 10; BB/LL – 4; AB/VV – 2; BB/VV – 2; BB/LV – 1. Проведя анализ полученных результатов, мы пришли к выводу, что более распространенный комплексный генотип – AA/LV (26 особей). Более редкий – BB/LV, который имеется только у одного животного. Наши данные расходятся с полученными ранее результатами генотипирования голштинизированного черно-пестрого скота уральского типа авторами И.В. Ткаченко и С.Л. Гридиной. Наибольшее количество животных являются с комплексными генотипами AA/LL (169), а у наименьшего числа особей оказался генотип AA/VV (2) [12].

В обработку данных по влиянию комплексных генотипов по генам соматотропина и каппа-казеина на молочную продуктивность включали только группы от десяти животных для более объективных результатов. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Молочная продуктивность в зависимости от комплексных генотипов по генам каппа-казеина и соматотропина
Milk productivity depending on complex genotypes for kappa-casein and somatotropin genes

Генотип/гол.	Молочная продуктивность					
	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	МДЖ, кг	МДБ, кг	Сумма питательных веществ
AA/LV (26)	6493±296	4,1±0,06	3,3±0,02**	266,2	214,3	480,5
AA/LL (14)	6524±318	4,1±0,05	3,3±0,02	267,5	215,3	482,7
AB/LL (13)	6756±289	4,1±0,07	3,4±0,02**	277,0	229,7	506,7
AA/VV (12)	6688±554	4,1±0,06	3,2±0,03**	274,2	224,0	488,2
AB/LV (10)	6580±439	4,0±0,1	3,3±0,02**	263,2	217,2	480,4

Примечание. ** $P < 0,01$.

Полученные результаты позволили зафиксировать, что животные с генотипами AB/LL имели повышенный удой (6756 кг), высокий выход молочного жира (277,0 кг) и белка (229,7 кг), сумму питательных веществ (506,7 кг). Однако для получения более достоверных результатов необходимо продолжить исследования на большем поголовье. По жирномолочности между группами животных значимых различий не обнаружили.

Достоверно зафиксировали разницу белкомолочности. Так, наибольшей массовой долей белка (3,4 %) обладают особи с генотипами AB/LL, а наименьшей (3,2 %) – коровы с комплексными генотипами AA/VV. Предполагаем, что более высокие показатели молочной продуктивности

коров с комплексными генотипами AB/LL связаны с присутствием аллелей $CSN3^B$ и GH^L .

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований определили наибольший удой у животных с генотипами $CSN3^{AB}$, а большее содержание белка – в молоке у особей с генотипами $CSN3^{BB}$. Сверхстницы с генотипами $CSN3^{BB}$ обладали большим выходом молочного жира и белка и суммой питательных веществ.

2. По гену соматотропина более высокоудойными оказались особи с генотипами GH^{VV} , белкомолочными – коровы с генотипами GH^{LL} ,

по сумме питательных веществ, по выходу молочного жира и белка в превосходстве особи с генотипами GH^{VV}.

3. В генетической структуре изучаемого симментальского стада по комплексным генотипам каппа-казеина и соматотропина зафиксировали все девять возможных вариантов. Из них боль-

шее количество голов обладают генотипами AA/LV и только одна корова имела генотип BB/LV. Исследования показали, что самыми высокопродуктивными были животные с комплексными генотипами AB/LL. Но для получения более достоверных результатов необходимо продолжить исследования на большем поголовье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Влияние полиморфизма генов соматотропинового каскада на мясную продуктивность казахской белоголовой породы* / И.С. Бейшова, Т.В. Поддудинская, Б.Б. Траисов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2 (70). – С. 194–199.
2. *Бейшова И.С.* Фенотипические эффекты полиморфизмов генов соматотропинового каскада, ассоциированных с признаками мясной продуктивности относительно общей выборки у коров казахской белоголовой породы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2. – С. 208–211.
3. *Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н., Кайниденов Н.Н.* Полиморфные варианты гена PIT-1 крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Республики Казахстан // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 3. – С. 167–175. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175.
4. *Влияние генотипов гена каппа-казеина и страны происхождения быков-производителей голштинской породы на основные хозяйственно полезные признаки их дочерей* / О.П. Юдина, А.С. Десян, А.Н. Ермилов [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1. – С. 76–94.
5. *Епишко О.А., Пешко Н.Н.* Использование гена гормона роста в селекции крупного рогатого скота // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр.; под редакцией В.К. Пестиса. – Гродно: Гродненский гос. агр. ун-т, 2017. – Т. 37. – С. 60–67.
6. *Зырянова А.А., Севостьянов М.Ю., Шевкунов О.А.* Генетическая структура симментальского скота по гену каппа-казеина и её влияние на молочную продуктивность // Вестник Курганской ГСХА. – 2022. – № 1 (41). – С. 26–31.
7. *Зырянова А.А., Севостьянов М.Ю.* Генетическая структура симментальского скота по комбинированным генам каппа-казеина и соматотропина // Научные достижения генетики и биотехнологии в ветеринарной медицине и животноводстве: сб. мат-в науч.-практ. конф. с междунар. участием, Екатеринбург, 27 апреля 2023 г. – Екатеринбург: Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, 2023. – С. 70–75.
8. *Меркурьева Е.К., Шангин-Березовский Г.Н.* Генетика с основами биометрии: учеб. пособие. – М.: Колос, 1983. – 400 с.
9. *Панин В.А.* Оценка генотипа по генам CSN3 и LGB, влияющим на синтез молочного белка и жира в молоке симментальских коров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1 (81). – С. 197–201.
10. *Сычёва О.В., Кононова Л.В.* Генетические маркеры в молочном скотоводстве // Аграрно-пищевые инновации. – 2018. – № 1. – С. 27–31.
11. *Татаринцева Е.А., Севостьянов М.Ю.* Полиморфизм гена соматотропина у крупного рогатого скота симментальской породы // Молодежь и наука. – 2022. – № 4.
12. *Ткаченко И.В., Гридина С.Л.* Влияние полиморфных вариантов генов каппа-казеина и гормона роста на молочную продуктивность первотелок уральского типа // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 5. – С. 87–95.
13. *Шевелева О.М., Часовицкова М.А.* Биологические и продуктивные особенности коров черно-пестрой породы с разными генотипами каппа-казеина и пролактина // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 9. – С. 74–77.
14. *Ярышкин А.А.* Влияние полиморфных вариантов гена соматотропина на молочную продуктивность коров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6. – С. 279–281.
15. *Association between GH (g.1456_1457insT), GHRH (g.4474 C>A), and Pit-1 (g.244G>A) polymorphisms and lactation traits in Holstein 110 Friesian cattle* / A. Anggraeni, C. Sumantri, F. Saputra, L. Praharani // Tropical animal science journal. – 2020. – Vol. 43 (4). – P. 291–299.
16. *Association of polymorphism κ-casein gene with longevity and lifetime production of Holstein-Friesian cows in Vojvodina* / D. Lukač, S. Jovanovac, Z. Nemes [et al.] // Mljekarstvo. – 2015. – № 65 (4). – P. 232–237.

17. Association of HindIII-polymorphism in Kappa-Casein Gene With Milk, Fat and Protein Yield in Holstein Cattle / M. Miluchová, M. Gábor, J. Candrák [et al.] // *Acta biochimica Polonica*. – 2018. – № 65 (3). – P. 403–407.
18. The Influence of CSN3 and LGB Polymorphisms on Milk Production and Chemical Composition in Romanian Simmental Cattle [Text] / R.I. Neamt, Gh. Saplacan, S. Acatincai [et al.] // *Acta biochimica Polonica*. – 2017. – № 64 (3). – P. 493–497.
19. Effects of β - κ -casein (CSN2-CSN3) haplotypes and β -lactoglobulin (BLG) genotypes on milk production traits and detailed protein composition of individual milk of Simmental cows / V. Bonfatti, G. Di Martino, A. Cecchinato [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2010. – Vol. 93, Is. 8. – P. 3797–3808.

REFERENCES

1. Beishova I.S., Poddudinskaya T.V., Traisov B.B. [et al.], *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 2 (70), pp. 194–199. (In Russ.)
2. Beishova I.S., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 2, pp. 208–211. (In Russ.)
3. Dzhaksybaeva G.G., Kochnev N.N., Kainidenov N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. (3), pp. 167–175, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175. (In Russ.)
4. Yudina O.P., Delyan A.S., Ermilov A.N. [et al.], *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2020, No. 1, pp. 76–94. (In Russ.)
5. Epishko O.A., Peshko N.N., *Sel'skoe khozyaistvo – problemy i perspektivy* (Agriculture – problems and prospects), Collection of scientific papers, Grodno: Grodnenskiy gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2017, T. 37, pp. 60–67. (In Russ.)
6. Zyryanova A.A., Sevost'yanov M.Yu., Shevkunov O.A., *Vestnik Kurganskoi GSKhA*, 2022, No. 1 (41), pp. 26–31. (In Russ.)
7. Zyryanova A.A., Sevost'yanov M.Yu., *Nauchnye dostizheniya genetiki i biotekhnologii v veterinarnoy medicine i zhivotnovodstve* (Scientific achievements of genetics and biotechnology in veterinary medicine and animal husbandry), Proceedings of the Conference Title, Ekaterinburg: Ural'skiy federal'nyy agrarniy nauchno-issledovatel'skiy centr UrO RAN, 2023, pp. 70–75. (In Russ.)
8. Merkur'eva E.K., Shagin-Berezovskii G.N., *Genetika s osnovami biometrii* (Genetics with the basics of biometrics), Moscow: Kolos, 1983, 400 p. (In Russ.)
9. Panin V.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 1 (81), pp. 197–201. (In Russ.)
10. Sycheva O.V., Kononova L.V., *Agrarno-pishchevye innovatsii*, 2018, No. 1, pp. 27–31. (In Russ.)
11. Tatarintseva E.A., Sevost'yanov M.Yu., *Molodezh' i nauka*, 2022, No. 4. (In Russ.)
12. Tkachenko I.V., Gridina S.L., *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2018, No. 5, pp. 87–95. (In Russ.)
13. Sheveleva O.M., Chasovshchikova M.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018, No. 9, pp. 74–77. (In Russ.)
14. Yaryshkin A.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 6, pp. 279–281. (In Russ.)
15. Anggraeni A., Sumantri C., Saputra F., Praharani L., Association between GH (g.1456_1457insT), GHRH (g.4474 C>A), and Pit-1 (g.244G>A) polymorphisms and lactation traits in Holstein 110 Friesian cattle, *Tropical animal science journal*, 2020, Vol. 43 (4), pp. 291–299.
16. Lukač D., Jovanovac S., Nemes Z. [et al.], Association of polymorphism κ -casein gene with longevity and lifetime production of Holstein-Friesian cows in Vojvodina, *Mljekarstvo*, 2015, No. 65 (4), pp. 232–237.
17. Miluchová M., Gábor M., Candrák J. [et al.], Association of HindIII-polymorphism in Kappa-Casein Gene With Milk, Fat and Protein Yield in Holstein Cattle, *Acta biochimica Polonica*, 2018, No. 65 (3), pp. 403–407.
18. Neamt R.I., Saplacan Gh., Acatincai S. [et al.], The Influence of CSN3 and LGB Polymorphisms on Milk Production and Chemical Composition in Romanian Simmental Cattle, *Acta biochimica Polonica*, 2017, No. 64 (3), pp. 493–497.
19. Bonfatti V., Di Martino G., Cecchinato A., Vicario D., Carnier P., Effects of β - κ -casein (CSN2-CSN3) haplotypes and β -lactoglobulin (BLG) genotypes on milk production traits and detailed protein composition of individual milk of Simmental cows, *Journal of Dairy Science*, 2010, Vol. 93, Is. 8, pp. 3797–3808.

Информация об авторах:

А.А. Зырянова, аспирант

А.А. Клещева, научный сотрудник

М.Ю. Севостьянов, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

A.A. Zyryanova, postgraduate student

A.A. Kleshcheva, research fellow

M.Yu. Sevostyanov, candidate of agricultural sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОЛИМОРФИЗМ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ ЯРОСЛАВСКОГО СКОТА В СТАДАХ РАЗЛИЧНОГО СЕЛЕКЦИОННОГО ЗНАЧЕНИЯ

А.В. Ильина, М.В. Абрамова, С.В. Зырянова, Е.Г. Евдокимов, Ю.В. Муштукова, Н.В. Приданникова, А.В. Коновалов

Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса», Ярославль, Россия

E-mail: abramovam2016@yandex.ru

Для цитирования: *Полиморфизм микросателлитных локусов ярославского скота в стадах различного селекционного значения / А.В. Ильина, М.В. Абрамова, С.В. Зырянова, Е.Г. Евдокимов, Ю.В. Муштукова, Н.В. Приданникова, А.В. Коновалов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 198–206. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-198-206.*

Ключевые слова: крупный рогатый скот, ярославская порода, полиморфизм, микросателлитные локусы, аллели, гетерозиготность, молочная продуктивность.

Реферат. В работе представлены результаты изучения полиморфизма микросателлитных локусов крупного рогатого скота ярославской породы в племенных стадах Ярославской области. По 15 микросателлитным локусам ДНК было выявлено 115 аллелей с различной частотой встречаемости. В каждом из изучаемых локусов идентифицировано от 5 до 11 аллелей. Среднее число аллелей на локус составило 6,41, количество эффективных аллелей – 3,58. Наибольшая частота встречаемости (0,75) по всей популяции выявлена у локуса SPS115 с аллелью 248, по хозяйствам её распространение составило от 0,72 до 0,83. Для локуса SPS115 редкими аллелями являются 252, 254 и 256. По локусу BM1818 выявлено 6 аллелей. Наибольшую частоту встречаемости во всех исследуемых стадах имеет аллель 266, также в достаточном количестве присутствуют аллели 262, 264 и 270. Наибольшую частоту встречаемости по стадам в локусе BM1824 имеет аллель 182 (от 0,46 до 0,64), в среднем по выборке – 0,51. Выявлены редкие аллели, которые присутствуют только в отдельных стадах с частотой встречаемости от 0,01 до 0,02. Среднее число наблюдаемой гетерозиготности составило 0,71, а ожидаемой на 0,60 % меньше наблюдаемой. В ходе исследования установлено, что наибольший надой имели первотелки в племенном заводе I (6871 кг, $p < 0,001$), в этом стаде выявлены редкие аллели – 179 в локусе CSSM66 и 268 в локусе BM1818. В племенном репродукторе III выявлено наибольшее количество аллелей, которых нет в других стадах. От первотелок этого стада получена наибольшая массовая доля жира – 4,36 % и массовая доля белка – 3,45 %. Индекс фиксации во всех исследуемых стадах являлся отрицательным ($-0,019$), что свидетельствует об избытке гетерозигот. Полученные данные позволяют контролировать уровень гомозиготности в стадах и учитывать аллельный полиморфизм маточного поголовья при закреплении быков-производителей для получения племенного молодняка и в заказных спариваниях.

POLYMORPHISM OF MICROSATELLITE LOCI OF YAROSLAVL CATTLE IN HERDS OF VARIOUS BREEDING VALUES

A.V. Ilyina, M.V. Abramova, S.V. Zyryanova, E.G. Evdokimov, Yu.V. Mushtukova, N.V. Pridannikova, A.V. Kononov

Federal Williams Research Center for Forage Production and Agroecology, Scientific Research Institute of Livestock Breeding and Forage Production, Yaroslavl, Russia

E-mail: abramovam2016@yandex.ru

Keywords: dairy cattle, yaroslavl breed, polymorphism, microsatellite loci, alleles, heterozygosity, dairy productivity.

Abstract. The paper presents the results of studying the polymorphism of microsatellite loci of Yaroslavl cattle in breeding herds of the Yaroslavl region. 115 alleles with different frequency of occurrence were identified for 15 microsatellite DNA loci. From 5 to 11 alleles were identified in each of the studied loci. The average number of alleles per locus was 6.41, the number of effective alleles was 3.58. The highest incidence (0.75) in the entire population was found in locus SPS115 with allele 248, its distribution ranged from 0.72 to 0.83 across farms. For

the SPS115 locus, the rare alleles are 252, 254 and 256. 6 alleles were identified at the BM1818 locus. Allele 266 has the highest frequency of occurrence in all the studied herds, and alleles 262, 264 and 270 are present in sufficient numbers. The allele 182 has the highest frequency of occurrence in herds at the BM1824 locus (from 0.46 to 0.64), with an average of 0.51 in the sample. Rare alleles have been identified, which are present only in individual herds with a frequency of occurrence from 0.01 to 0.02. The average number of observed heterozygosity was 0.71, and the expected one was 0.60% less than the observed one. The study found that the first herd the heifers had the highest yield (6871 kg, $p < 0.001$), rare alleles were identified in this herd – 179 at the CSSM66 locus and 268 at the BM1818 locus. The largest number of alleles, which are not present in other herds, was revealed in the breeding herd III. The higher fat content was obtained from the first heifers of this herd – 4.36% and the higher protein content – 3.45%. The fixation index in all the studied herds was negative (-0.019), which indicates an excess of heterozygotes. The obtained data will allow controlling the level of homozygosity in herds, and taking into account the allelic polymorphism of the breeding stock when fixing bulls of producers to obtain breeding offspring and in custom mating.

Интенсификация и увеличение объемов производства животноводческой продукции отрасли молочного скотоводства в нашей стране в большей мере связана с изменением породного состава крупного рогатого скота. Наибольшее распространение получили животные голштинской породы и их помеси. В результате этого происходит интродукция и поглощение аллелофонда локальных пород, что может привести к снижению генетического разнообразия и утере уникальных аллелей, присущих аборигенным породам [1–3].

В исследованиях многих авторов установлено, что локальные породы крупного рогатого скота хорошо адаптированы к местным условиям кормления и содержания, устойчивы к ряду заболеваний и обладают наибольшим продуктивным долголетием [4, 5]. В связи с этим необходимо постоянно проводить исследования популяционно-генетической структуры отечественных пород скота с использованием различного спектра генетических маркеров.

В последнее время для более информативного исследования используют микросателлитный анализ. Благодаря использованию STR-маркеров (short tandem repeat) многие ученые исследуют генетическую структуру местного крупного рогатого скота, выявляя приватные аллели [6–11].

Целью настоящего исследования являлось изучение полиморфизма микросателлитных локусов в субпопуляциях ярославского скота и выявление его влияния на молочную продуктивность.

В связи с этим ставились следующие задачи:

- 1) оценить полиморфизм микросателлитных локусов в субпопуляциях ярославского скота;
- 2) изучить генетическую структуру коров ярославской породы;
- 3) оценить молочную продуктивность за 305 дней первой лактации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в племенных стадах Ярославской области, из них два племенных завода по ярославской породе крупного рогатого скота – АО «Племзавод Ярославка» (I) и ООО «Агроцех» (II); три племенных репродуктора по ярославской породе – ООО «Меленковский» (III), СПК (колхоз) «Прогресс» (IV), АО «Татищевское» (V). Объектом исследования являлись чистопородные коровы-первотелки ($n = 211$ голов).

Анализ STR проводили с помощью набора реагентов для мультиплексного анализа микросателлитных маркеров крупного рогатого скота COrDIS Cattle (ООО «Гордиз») по 15 микросателлитным локусам (BM1818, BM1824, BM2113, CSRM60, CSSM66, ILSTS6, INRA23, SPS115, TGLA53, TGLA122, ETH3, ETH10, ETH225, TGLA227, TGLA126). Материалом для исследования послужила цельная кровь. Выделение ДНК из крови проводили с помощью набора «ДНК-Экран-1» (ООО «Синтол») по протоколу, представленному производителем.

Амплификацию STR-локусов проводили, используя термоциклер C1000 Touch Thermal Cycler (Bio-Rad Laboratories, Inc) по протоколу, предоставленному производителем набора реагентов. Электрофорез проводили на анализаторе ABI 3130 (Thermo Fisher Scientific Inc.).

Расчет популяционно-генетических характеристик, включающих частоту аллелей, наблюдаемое количество аллелей, эффективное число аллелей (N_e), ожидаемая (H_e) и наблюдаемая (H_o) гетерозиготность, индекс фиксации Райта (F_{is}), оценку соответствия распределения генотипов закону Харди–Вайнберга с помощью критерия Хи-квадрат проводили с использованием GenAlEx 6.5 [12].

После проведения микросателлитного анализа у подконтрольных животных была проведена

оценка молочной продуктивности по первой лактации с использованием данных ИАС «Селэкс. Молочный скот». Животные лактировали в одинаковый временной интервал 2021–2022 гг. Материалом для исследований послужила продуктивность коров по первой законченной лактации (надой за 305 дней, содержание жира, %; содержание белка, %; количество молочного жира, кг; количество молочного белка, кг; суммарное содержание жира и белка в молоке, кг).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследований в подконтрольной выборке животных по 15 микросателлитным локусам ДНК было выявлено 115 аллелей с различной частотой встречаемости. В каждом из изучаемых локусов идентифицировано от пяти (BM1824, SPS115) до одиннадцати (CSSM66) аллелей. Среднее число аллелей на локус составило 6,41, количество эффективных аллелей – 3,58 (табл. 1).

Таблица 1

Частота встречаемости аллелей в современных стадах чистопородного скота ярославской породы
The frequency of occurrence of alleles in modern herds of purebred cattle of the Yaroslavl breed

Локус	Алель	Хозяйства					Локус	Алель	Хозяйства				
		I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V
	n	52	51	57	29	22		n	52	51	57	29	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BM1818	258	–	–	0,02	–	0,07	ILSTS6	282	0,12	0,11	0,21	0,17	0,11
	262	0,18	0,19	0,16	0,17	0,23		286	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	264	0,17	0,12	0,08	0,14	0,21		288	0,04	0,08	0,04	0,02	0,16
	266	0,49	0,59	0,62	0,57	0,32		290	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
	268	0,01	–	–	–	–		292	0,32	0,27	0,20	0,28	0,30
	270	0,14	0,11	0,12	0,12	0,18		294	0,07	0,07	0,07	0,03	0,07
BM1824	178	0,23	0,17	0,14	0,19	0,07	INRA23	296	0,42	0,40	0,42	0,43	0,34
	180	0,19	0,32	0,25	0,28	0,21		298	0,02	0,05	0,04	0,05	0,02
	182	0,50	0,46	0,54	0,47	0,64		300	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
	188	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02		198	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00
	190	0,06	0,04	0,04	0,03	0,07		200	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00
BM2113	125	0,11	0,08	0,13	0,07	0,14	SPS115	206	0,04	0,03	0,10	0,03	0,09
	127	0,10	0,13	0,18	0,21	0,09		208	0,30	0,34	0,17	0,33	0,36
	133	0,01	0,01	–	–	–		210	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02
	135	0,31	0,28	0,32	0,26	0,32		212	0,22	0,14	0,25	0,17	0,14
	137	0,42	0,47	0,35	0,47	0,43		214	0,39	0,42	0,43	0,40	0,39
	139	0,03	–	–	–	0,02		248	0,72	0,72	0,76	0,83	0,80
	141	0,03	0,04	0,03	–	–		252	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02
CSRM60	92	0,06	0,04	0,04	–	–	TGLA53	254	0,06	0,05	0,08	0,05	0,02
	94	0,07	0,06	0,11	0,07	0,05		256	0,04	0,05	0,04	0,00	0,02
	96	0,26	0,26	0,20	0,10	0,11		260	0,17	0,16	0,11	0,10	0,14
	98	0,03	0,06	0,10	0,02	0,05		154	0,42	0,41	0,44	0,36	0,30
	100	0,14	0,14	0,16	0,22	0,21		158	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00
	102	0,39	0,35	0,34	0,48	0,48		160	0,26	0,38	0,25	0,28	0,46
	104	0,05	0,10	0,04	0,10	0,11		162	0,18	0,11	0,14	0,26	0,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CSSM66	179	0,01	–	–	–	–	TGLA53	168	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	183	0,11	0,07	0,09	0,10	0,14		170	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02
	185	0,39	0,26	0,27	0,24	0,30		176	0,07	0,06	0,09	0,03	0,07
	187	0,08	0,08	0,10	0,07	0,14		178	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02
	189	0,01	0,04	0,02	0,02	0,07		184	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02
	191	0,07	0,04	0,06	0,09	0,05		186	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	193	0,15	0,27	0,28	0,16	0,18	TGLA122	141	0,01	0,02	0,04	0,02	0,07
	195	–	0,01	–	–	–		143	0,37	0,33	0,44	0,38	0,25
	197	0,13	0,17	0,16	0,22	0,02		147	0,18	0,22	0,21	0,24	0,27
	210	–	–	–	0,07	–		149	0,01	0,04	0,03	0,03	0,05
	211	0,06	0,08	0,03	0,03	0,11		151	0,21	0,19	0,11	0,19	0,27
								153	0,06	0,07	0,05	0,02	0,00
ETH3	117	0,22	0,12	0,23	0,14	0,30	TGLA126	159	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
	119	0,42	0,45	0,45	0,36	0,46		161	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
	121	0,06	0,08	0,05	0,07	0,05		173	0,15	0,14	0,12	0,10	0,07
	123	0,02	0,02	–	0,02	0,02		183	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	125	0,08	0,15	0,03	0,12	0,05		111	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02
	127	0,16	0,16	0,19	0,22	0,09		113	0,02	0,05	0,08	0,00	0,00
ETH10	129	0,04	0,03	0,05	0,07	0,05	TGLA227	115	0,28	0,34	0,24	0,31	0,36
	209	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		117	0,33	0,31	0,34	0,43	0,32
	213	0,06	0,05	0,02	0,05	0,00		121	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
	215	0,02	0,05	0,03	0,00	0,02		123	0,37	0,28	0,31	0,21	0,30
	217	0,13	0,21	0,22	0,16	0,25		77	0,07	0,06	0,10	0,05	0,00
	219	0,46	0,41	0,48	0,53	0,36		81	0,39	0,41	0,39	0,28	0,21
	221	0,33	0,28	0,21	0,26	0,36		83	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05
	223	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00		87	0,04	0,08	0,02	0,07	0,16
ETH225	225	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		89	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00
	140	0,08	0,16	0,12	0,17	0,14	TGLA227	91	0,13	0,13	0,07	0,10	0,18
	142	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00		93	0,14	0,15	0,18	0,17	0,07
	144	0,23	0,19	0,20	0,12	0,39		95	0,03	0,04	0,02	0,03	0,00
	146	0,29	0,27	0,31	0,31	0,18		97	0,18	0,10	0,18	0,19	0,34
	148	0,14	0,17	0,14	0,12	0,11		103	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00
	150	0,24	0,22	0,21	0,26	0,16							
	160	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02							
							–	–	–	–	–	–	–

По данным табл. 1 установлено, что во всех локусах присутствуют как аллели с наибольшей частотой встречаемости, так и редкие (с частотой менее 0,1).

Наибольшая частота встречаемости (0,75) по всей популяции выявлена у локуса SPS115 с аллелью 248, по хозяйствам ее распространение составило от 0,72 до 0,83. Сходные данные получены М.А. Часовщиковой (2019, 2021) на коровах голштинской и черно-пестрой пород, аллель 248

локуса SPS115 также отличалась наибольшей частотой встречаемости: 0,60 и 0,58 соответственно [13, 14]. У коров айрширской породы наибольшее распространение получила аллель 214 локуса INRA23 (0,74), а частота аллеля 248 локуса SPS115 имела среднее значение – 0,56 [15].

Для локуса SPS115 редкими аллелями являются 252, 254 и 256, при этом животные–носители аллели 256 в стаде IV не выявлены. Данные аллели также присутствуют, но встречаются с

невысокой частотой у других пород молочного направления продуктивности [13–15].

Всего по локусу BM1818 выявлено 6 аллелей (см. табл. 1). В целом по популяции частота встречаемости аллели 266 локуса BM1818 составила 0,54. Эта аллель была обнаружена на других породах крупного рогатого скота как мясного, так и молочной продуктивности, а также у аборигенного якутского скота [16, 17]. Наибольшую частоту встречаемости во всех исследуемых стадах имеет аллель 266 (от 0,32 в хозяйстве V до 0,62 в IV), при этом также в достаточном количестве присутствуют аллели 262, 264 и 270. Аллель 268 выявлена у животных только в стаде I.

Наибольшую частоту встречаемости по стадам в локусе BM1824 имеет аллель 182 (от 0,46 до 0,64), в среднем по выборке – 0,51. В четырех стадах частота встречаемости аллелей 178, 180 была на уровне средней, за исключением стада V, в котором аллель 178 была редкой. Аллели 188, 190 идентифицированы во всех стадах, однако частота встречаемости не превышала 0,1. При этом аллель 190 локуса BM1824 является одной из уникальных, характерных для ярославской и черно-пестрой пород [18].

В локусе ETH10 наибольшая частота встречаемости отмечена у аллели 219 (от 0,36 до 0,53); в локусе ETH3 у аллели 119 (от 0,36 до 0,46); в локусе BM2113 у аллели 137 (от 0,35 до 0,47); в локусе INRA23 у аллели 214 (от 0,39 до 0,43); в локусе ILSTS6 у аллели 296 (от 0,34 до 0,43); в локусе TGLA53 у аллели 154 (от 0,30 до 0,44); в локусе TGLA122 у аллели 143 (от 0,25 до 0,44); в локусе CSRM60 у аллели 102 (от 0,34 до 0,48); в локусе TGLA227 у аллели 81 (от 0,21 до 0,41); в локусе CSSM66 у аллели 185 (от 0,24 до 0,39), также этот локус является наиболее вариабельным (11 аллелей).

У локусов TGLA126 и ETH225 отмечено по три аллели с наибольшей частотой распространения. В среднем по локусу TGLA126 частота распространения аллелей 115, 117, 123 составила 0,30, 0,34, 0,30 соответственно. Отдельно по стадам прослеживалась схожая тенденция по частоте встречаемости этих аллелей. В локусе ETH225 по аллелям 144, 146, 150 средняя частота по выборке составила 0,21, 0,28, 0,22 соответственно, при этом наибольший показатель по аллели 144 был в стаде V, что, вероятно, связано с большей удаленностью этого предприятия от других.

Выявлены редкие аллели, которые присутствуют только в племенном репродукторе III: 183 в локусе TGLA122 с частотой 0,01; 168 в локусе TGLA53 с частотой 0,02; 186 в локусе TGLA53 с частотой 0,01; 209 в локусе ETH10 с частотой 0,01 и аллель 225 в локусе ETH10 с частотой 0,01.

В племенном заводе I также установлены редкие аллели 179 в локусе CSSM66 и 268 в локусе BM1818 с частотой встречаемости 0,01. По данным С.В. Николаева, аллель 179 в локусе CSSM66 была выявлена у якутского аборигенного скота с частотой встречаемости 0,45 [15].

В племенном заводе II редкими аллелями являются 195 в локусе CSSM66 с частотой 0,01 и аллель 286 в локусе ILSTS6 с частотой 0,02. В племрепродукторе IV аллель 210 в локусе CSSM66 с частотой 0,07 и аллель 161 в локусе TGLA122 с частотой 0,02 являются редкими.

Изучение полиморфизма STR-локусов позволило выявить ряд частных аллелей, присутствующих только животным ярославской породы: аллель 141 в локусе BM2113, аллель 160 в локусе ETH225, аллель 173 в локусе TGLA122 и аллель 111 в локусе TGLA126, четыре аллели (191, 195, 210, 211) в локусе CSSM66, аллель 123 в локусе ETH3, аллели 286 и 300 в локусе ILSTS6, при этом отсутствующие в аллелофонде других сравниваемых пород [13–17].

В табл. 2 представлены наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность. Наблюдаемая гетерозиготность показывает генетическую изменчивость, а ожидаемая является показателем, характеризующим разнообразие исследуемой популяции.

В результате исследований установлено, что по некоторым локусам наблюдается превышение показателя наблюдаемой гетерозиготности над ожидаемой, что говорит о дефиците гетерозиготных генотипов в исследуемой выборке. Во всех исследуемых стадах выявлены локусы с недостатком гетерозигот, в среднем от четырех (стадо I) до девяти (стадо II) локусов, при этом наибольшие положительные значения индекса фиксации получены по локусам SPS115 в стаде V и ETH3 в стаде I, $F_{is} = +0,214$ и $+0,136$ соответственно. Это может свидетельствовать об использовании в этих стадах отдаленного родственного спаривания, а также направленного отбора вследствие связи локуса с хозяйственно полезными признаками.

Таблица 2

Гетерозиготность локусных микросателлитов
Heterozygosity of locus microsatellites

Локус	I (n = 52)			II (n = 51)			III (n = 57)			IV (n = 29)			V (n = 22)		
	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis
BM1818	0,712	0,675	-0,054	0,549	0,594	0,075	0,579	0,566	-0,024	0,586	0,613	0,044	0,773	0,768	-0,007
BM1824	0,596	0,656	0,091	0,725	0,654	-0,11	0,684	0,627	-0,092	0,69	0,669	-0,031	0,591	0,543	-0,087
BM2113	0,75	0,704	-0,065	0,667	0,679	0,018	0,649	0,728	0,109	0,621	0,669	0,072	0,682	0,685	0,005
CSRM60	0,75	0,745	-0,006	0,706	0,774	0,087	0,807	0,791	-0,02	0,69	0,69	0,001	0,773	0,7	-0,103
CSSM66	0,788	0,78	-0,011	0,902	0,817	-0,104	0,789	0,801	0,014	0,931	0,838	-0,111	0,818	0,822	0,005
ETH10	0,712	0,661	-0,077	0,667	0,708	0,058	0,719	0,673	-0,069	0,621	0,621	0	0,727	0,673	-0,081
ETH225	0,769	0,781	0,015	0,843	0,796	-0,059	0,86	0,786	-0,094	0,759	0,778	0,024	0,727	0,76	0,043
ETH3	0,635	0,734	0,136	0,725	0,729	0,005	0,737	0,704	-0,046	0,931	0,775	-0,201	0,636	0,691	0,079
ILSTS6	0,731	0,7	-0,043	0,725	0,743	0,024	0,842	0,73	-0,154	0,69	0,704	0,02	0,773	0,753	-0,026
INRA23	0,654	0,704	0,072	0,745	0,682	-0,092	0,649	0,717	0,094	0,793	0,703	-0,129	0,818	0,691	-0,184
SPS115	0,423	0,445	0,049	0,451	0,458	0,014	0,439	0,398	-0,101	0,345	0,301	-0,144	0,273	0,347	0,214
TGLA122	0,769	0,761	-0,011	0,745	0,782	0,047	0,719	0,732	0,018	0,759	0,749	-0,013	0,864	0,777	-0,112
TGLA126	0,788	0,681	-0,157	0,647	0,7	0,076	0,649	0,726	0,105	0,655	0,674	0,027	0,682	0,679	-0,005
TGLA227	0,827	0,768	-0,077	0,824	0,771	-0,068	0,789	0,77	-0,025	0,828	0,835	0,009	0,818	0,777	-0,053
TGLA53	0,75	0,714	-0,05	0,667	0,669	0,003	0,754	0,717	-0,053	0,793	0,723	-0,097	0,727	0,687	-0,059

Примечание: Ho – гетерозиготность наблюдаемая; He – гетерозиготность ожидаемая; F_{is} – индекс фиксации.

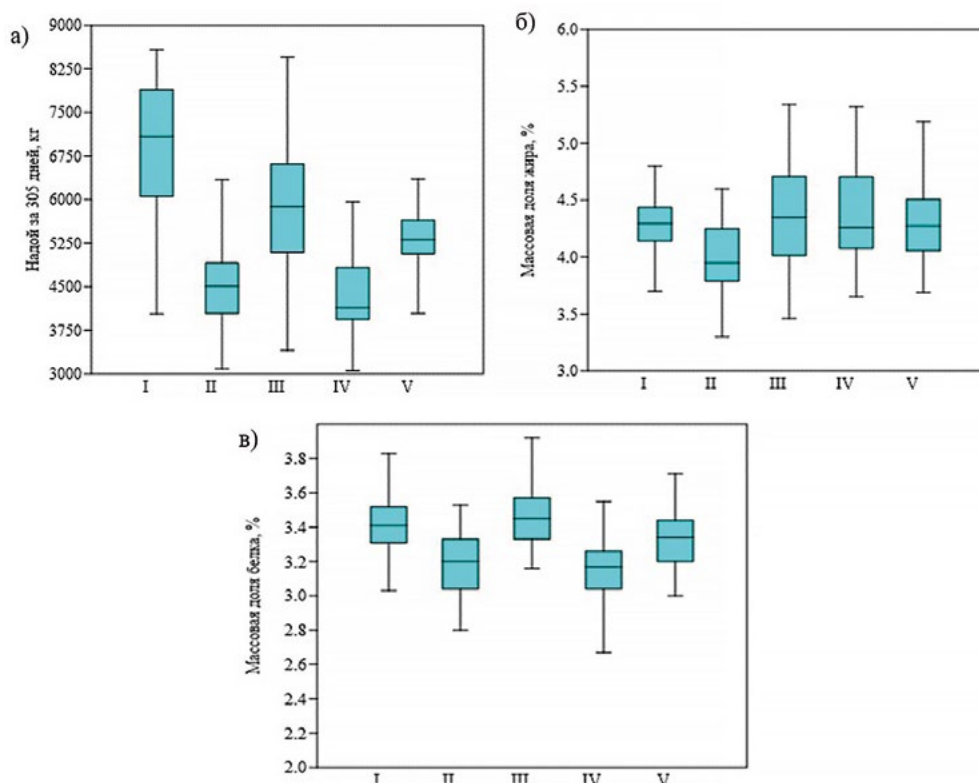
Отрицательные значения индекс фиксации может принимать в случае связи гетерозиготного генотипа с селекционируемыми признаками либо в случае применения в стаде гетерогенного подбора родительских пар. В нашем исследовании наибольшие отрицательные показатели индекса фиксации выявлены по локусу ETH3 в племенном репродукторе IV ($F_{is} = -0,201$), по локусу INRA23 в стаде V ($F_{is} = -0,184$), по локусу TGLA126 в стаде I ($F_{is} = -0,157$) и по локусу ILSTS6 в стаде III ($F_{is} = -0,154$).

Дифферентные значения частот аллелей по локусам в разрезе хозяйств, а также разнонаправленные характеристики генетического разнообразия популяций косвенно подтверждают взаимосвязь STR-маркеров с хозяйственно полезными признаками. На исследуемой выборке были изучены показатели молочной продуктивности по первой лактации. Установлено, что наибольшее количество молока за первые 305 дней лактации получено от коров в племенном заводе I и племенных репродукторах III и V: 6871 кг, 5854 кг

и 5341 кг соответственно (рисунок, а). При этом дисперсия и коэффициент вариации в стадах I и III была выше, чем в стаде V.

Установлено, что наибольшую продуктивность имели первотелки из племенного завода I, которая составила 6871 кг молока ($p < 0,001$), что превышает продуктивность животных других хозяйств на 36,3–14,8 % (см. рисунок, а). Коэффициент вариации показателей надоя находился на среднем уровне во всех стадах ($Cv = 15,9...19,1$ %) за исключением стада V, в котором изменчивость надоя была ниже ($Cv = 9,5$ %), что говорит об однородности выборки и выбраковке животных с крайними левыми значениями.

Показатели массовой доли жира в молоке во всех исследуемых стадах были на уровне породного стандарта и составили от I к V как 4,29, 3,99, 4,36, 4,33 и 4,29 % соответственно (рисунок, б). Наименьшей изменчивостью фенотипов отличались коровы племенного завода I ($Cv = 5,6$ %). В других стадах вариабельность массовой доли жира в молоке была выше на 1,7–4,1 п.п.



Показатели молочной продуктивности коров за 305 дней первой лактации: а – надой, кг; б – массовая доля жира, %; в – массовая доля белка, %

Наибольшая массовая доля белка в молоке выявлена у коров племенного завода I и племенного репродуктора III 3,41 и 3,45 % соответственно ($p < 0,05$) (рисунок, в). Положительный эксцесс вариационного ряда в обоих стадах (стадо I $Ex = +0,71$, стадо III $Ex = +0,60$) и более низкий коэффициент вариации (стадо I $Cv = 4,3$ %, стадо III $Cv = 4,8$ %) говорит о направленности отбора в этих стадах в сторону белковомолочности.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследования установлено, что наибольший надой имели первотелки в племенном заводе I (6871 кг), при этом животные этого хозяйства имели схожие генотипы с коровами из других хозяйств. Отличия были лишь в редких аллелях, таких как аллель 179 в локусе CSSM66 и 268 в локусе BM1818. В племенном репродукторе III выявлено наибольшее количество аллелей, которых нет в других стадах, хозяйство отличается высокими качественными показателями молока. От первотелок этого стада получена наибольшая массовая доля жира – 4,36 % и массовая доля белка – 3,45 %.

2. Среднее число наблюдаемой гетерозиготности составило 0,71, а ожидаемой на 0,60 % меньше наблюдаемой. Индекс фиксации по 15 локусам всех исследуемых стад являлся отрицательным ($-0,019$), что свидетельствует об избытке гетерозигот.

3. Полученные данные позволяют контролировать уровень гомозиготности в стадах и учитывать аллельный полиморфизм маточного поголовья при закреплении быков-производителей для получения племенного молодняка и в заказных спариваниях.

Работа выполнена согласно государственному заданию (рег. номер 122041100076-6, номер/шифр FGW-2022-0010) по теме «Разработать селекционную программу и систему по сохранению и рациональному использованию генофонда крупного рогатого скота и овец, направленные на повышение и реализацию генетического потенциала по продуктивности и продолжительности хозяйственного использования».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Голишинская порода в создании улучшенных генотипов и внутривидовых типов крупного рогатого скота* / Н.М. Косяченко, М.В. Абрамова, А.В. Ильина [и др.]. – Ярославль: ООО «Канцлер», 2020. – 157 с.
2. *Происхождение и племенная ценность быков-производителей, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью* / О.Л. Хромова, Н.И. Абрамова, М.О. Селимян [и др.], // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 2. – С. 270–280. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-270-280.
3. *Роженцов А.Л.* Влияние кровности и линейной принадлежности на показатели молочной продуктивности коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2. – С. 97–105. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-97-105.
4. *Зырянова С.В., Абрамова М.В.* Реализация генетического потенциала коров ярославской породы // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 11. – С. 144–147. – DOI: 10.28983/asj.y2023i11pp144-147.
5. *Genetic Structure Analysis of 155 Transboundary and Local Populations of Cattle (Bos taurus, Bos indicus and Bos grunniens) Based on STR Markers* / E. Solodneva, G. Svishcheva, R. Smolnikov [et. al.] // Int J Mol Sci. – 2023. – Vol. 24, № 5. – P. 5061. – DOI: 10.3390/ijms24055061.
6. *Изучение генетической структуры крупного рогатого скота герефордской породы с применением микросателлитных маркеров* / Е.Г. Насамбаев, И.С. Бейшова, Т.В. Ульянова [и др.] // Наука и образование. – 2023. – № 2–1(71). – С. 74–82. – DOI: 10.52578/2305-9397-2023-2-1-74-82.
7. *Характеристика аллелофонда холмогорской породы крупного рогатого скота с использованием STR-маркеров* / В.В. Волкова, О.С. Романенкова, Т.Е. Денискова [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 7. – С. 3–7.
8. *Генетическая структура аборигенного тагильского скота по STR- и SNP-маркерам* / Ю.А. Столповский, С.В. Бекетов, Е.В. Солоднева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 6. – С. 1123–1133. – DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1123rus.
9. *Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers* / V.V. Volkova, A.S. Abdelmanova, T.E. Deniskova [et al.] // Diversity. – 2022. – № 14(7). – P. 569. – DOI: 10.3390/d14070569.
10. *Genetic Diversity and Population Structure of Taurine Cattle Using STR Markers in Burkina Faso, West Africa* / A. Tapsoba, S. Sawadogo, B. Yougbaré [et al.] // Tropical Animal Science Journal. – 2024. – № 47. – P. 131–140. – DOI: 10.5398/tasj.2024.47.2.131.
11. *Analysis of the relationship between short tandem repeats and lactation performance of Xinjiang Holstein cows* / Y. Li, L. Liu, A. Zunongjiang [et al.] // Trop Anim Health Prod. – 2023. – Vol. 55, № 4. – P. 238. – DOI: 10.1007/s11250-023-03651-y.
12. *Peakall R.O.D., Smouse P.E.* GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Molecular ecology notes. – 2006. – Vol. 6, №1. – P. 288–295.
13. *Часовицкова М.А.* Генетическая характеристика голштинской породы крупного рогатого скота с использованием микросателлитных ДНК-маркеров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2 (76). – С. 191–193.
14. *Часовицкова М.А.* Генетическая характеристика черно-пестрой породы крупного рогатого скота с использованием микросателлитных маркеров // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2021. – № 1 (62). – С. 64–69. – DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.009.
15. *Николаев С.В.* Полиморфизм ДНК-микросателлит айрширского скота Республики Коми и Кировской области // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 9. – С. 67–70. – DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp67-70.
16. *Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф.* Микросателлитный анализ ДНК крупного рогатого скота калмыцкой породы, выращенного в Республике Калмыкия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (102). – С. 261–265. – DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-261-265.
17. *Полиморфизм 15 микросателлитных локусов ДНК у крупного рогатого скота калмыцкой породы и аборигенного якутского скота, разводимых на территории Республики Саха (Якутия)* / И.И. Слепцов, В.В. Додохов, Н.И. Павлова [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102, № 2. – С. 60–67. – DOI: 10.33284/2658-3135-102-2-60.

REFERENCES

1. Kosyachenko N.M., Abramova M.V., Il'ina A.V., Zy'ryanova S.V., Kononov A.V., Kosourova T.N., *Golshtinskaya poroda v sozdaniy uluchshenny'x genotipov i vnutripородny'x tipov krupnogo rogatogo skota* (The Holstein breed in the creation of improved genotypes and intrabreed types of cattle), Yaroslavl': ООО «Kanczler», 2020, 157 p.
2. Хромова О.Л., Абрамова Н.И., Селимян М.О., Зенкова Н.В., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvenny'j agrarny'j universitet)*, 2024, No. 2, pp. 270–280, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-270-280. (In Russ.)

3. Rozhenczov A.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 2, pp. 97–105, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-97-105. (In Russ.)
4. Zyryanova S.V., Abramova M.V., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2023, No. 11, pp. 144–147, DOI: 10.28983/asj.y2023i11pp144-147. (In Russ.)
5. Solodneva E., Svishcheva G., Smolnikov R. [et al.], Genetic Structure Analysis of 155 Transboundary and Local Populations of Cattle (*Bos taurus*, *Bos indicus* and *Bos grunniens*) Based on STR Markers, *Int J Mol Sci*, 2023, Vol. 24, No. 5, pp. 5061, Doi: 10.3390/ijms24055061.
6. Nasambaev E.G., Bejshova I.S., Ul'yanova T.V., Chernyaeva S.A., *Nauka i obrazovanie*, 2023, No. 2–1 (71), pp. 74–82, DOI: 10.52578/2305-9397-2023-2-1-74-82. (In Russ.)
7. Volkova V.V., Romanenkova O.S., Deniskova T.E. [i dr.], *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2019, No. 7, pp. 3–7. (In Russ.)
8. Stolpovskij Yu.A., Beketov S.V., Solodneva E.V. [i dr.], *Sel'skoxozyajstvennaya biologiya*, 2021, Vol. 56, No. 6, pp. 1123–1133, DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1123rus. (In Russ.)
9. Volkova V.V., Abdelmanova A.S., Deniskova T.E. [et al.], Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers, *Diversity*, 2022, Vol. 14, No. 7, pp. 569, DOI: 10.3390/d14070569.
10. Tapsoba A., Sawadogo S., Yougbaré B. [et al.], Genetic Diversity and Population Structure of Taurine Cattle Using STR Markers in Burkina Faso, West Africa, *Tropical Animal Science Journal*, 2024, No. 47, pp. 131–140. 10.5398/tasj.2024.47.2.131.6.
11. Li Y., Liu L., Zunongjiang A. [et al.], Analysis of the relationship between short tandem repeats and lactation performance of Xinjiang Holstein cows, *Trop Anim Health Prod*, 2023, Vol. 55, No. 4, pp. 238, DOI: 10.1007/s11250-023-03651-y.
12. Peakall R.O.D., Smouse P.E., GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research, *Molecular ecology notes*, 2006, Vol. 6, No. 1, pp. 288–295.
13. Chasovshhikova M.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 2 (76), pp. 191–193. (In Russ.)
14. Chasovshhikova M.A., *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova*, 2021, No. 1 (62), pp. 64–69, DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.009. (In Russ.)
15. Nikolaev S.V., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2021, No. 9, pp. 67–70, DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp67-70. (In Russ.)
16. Kayumov F.G., Tret'yakova R.F., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 4 (102), pp. 261–265, DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-261-265. (In Russ.)
17. Slepcev I.I., Dodoxov V.V., Pavlova N.I., Kayumov F.G., *Zhivotnovodstvo i kormoproduktstvo*, 2019, Vol. 102, No. 2, pp. 60–67, DOI: 10.33284/2658-3135-102-2-60. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.В. Ильина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
 М.В. Абрамова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
 С.В. Зырянова, старший научный сотрудник
 Е.Г. Евдокимов, старший научный сотрудник
 Ю.В. Муштукова, старший научный сотрудник
 Н.В. Приданникова, научный сотрудник
 А.В. Коновалов, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор

Contribution of the authors:

A.V. Ilyina, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher
 M.V. Abramova, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher
 S.V. Zyryanova, Senior Researcher
 E.G. Evdokimov, Senior Researcher
 Yu.V. Mushtukova, Senior Researcher
 N.V. Pridannikova, Research Associate
 A.V. Kononov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УГЛЕВОДНЫЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ ОБМЕН У ОВЕЦ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

Email: tapetva@gmail.com

Для цитирования: Углеводный и минеральный обмен у овец романовской породы в условиях Западной Сибири / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 207–214. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214.

Ключевые слова: овцы, минеральный обмен, углеводный обмен, тяжелые металлы, корреляции.

Реферат. Представлены данные углеводного и минерального обменов у овец романовской породы в условиях Кемеровской области. Определены связи макроэлементов с показателями углеводного обмена, уровнем тяжелых металлов в органах и тканях. Вычислены среднее содержание, изменчивость и референсные интервалы глюкозы, амилазы, лактатдегидрогеназы и макроэлементов в сыворотке крови. Изучены взаимосвязи этих показателей с уровнем тяжелых металлов в органах и тканях овец. В зоне разведения романовских овец проанализированы материалы о содержании тяжелых металлов в почве, воде и кормах, которое не превышало ПДК. Содержание макро- и микроэлементов определяли в лаборатории изотопно-геохимических методов анализа Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН методом атомно-эмиссионной спектроскопии с использованием методики анализа НСАМ №450-С. Содержание глюкозы в сыворотке крови равно 6,0 ммоль/л, амилазы – 104,0 ЕД/л и лактатдегидрогеназы – 1086 ЕД/л. Ранг макроэлементов в сыворотке в убывающем порядке расположен следующим образом: $Na > K > Ca > P > Mg$ в соответствии 90 : 7 : 4 : 3,4 : 1. Уровень K в крови положительно связан с Zn в селезенке ($r = 0,507$) и Cu в семенниках ($r = 0,535$). В то же время Na отрицательно коррелировал с содержанием Zn в сердце ($r = -0,416$) и Pb в крови ($r = -0,598$). Высокая отрицательная связь обнаружена между Ca в крови и частотой хромосомных разрывов ($r = -0,752$). Уровень глюкозы отрицательно коррелировал с концентрацией Cu в мышцах ($r = -0,414$), Zn в почках ($r = -0,465$) и Zn в сердце ($r = -0,572$), но ее уровень положительно связан с Pb в мышцах ($r = 0,568$). Показатели углеводного и минерального обменов и корреляции между изученными параметрами важны при комплексной оценке фенотипа породы.

CARBOHYDRATE AND MINERAL METABOLISM IN ROMANOV SHEEP IN WESTERN SIBERIA

T.V. Konovalova, E.A. Klimanova, E.I. Tarasenko, O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: tapetva@gmail.com

Keywords: sheep, mineral, carbohydrate metabolism, heavy metals, correlations.

Abstract. The article presents information regarding the metabolism of carbohydrates and minerals in Romanov sheep in the Kemerovo region. The correlations among macro elements and carbohydrate metabolism indices and heavy metal levels in organs and tissues were ascertained. We determined the average content, variability and reference intervals of glucose, amylase, lactate dehydrogenase and macro elements in blood serum. We investigated the relationship between these indices and heavy metal levels in sheep organs and tissues. In the Romanov sheep breeding zone, heavy metal content was analyzed in soil, water, and feed and did not exceed the MAC. The determination of the content of macro- and microelements was carried out in the laboratory of isotope-geochemical methods of analysis at the V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences by atomic emission spectrometry employing the NSAM analysis technique No. 450-S. The level of blood serum glucose is 6.0 mmol/l, the amylase is 104.0 U/l, and the lactate dehydrogenase is 1086 U/l. The order of macro elements in serum is as follows: $Na > K > Ca > P > Mg$ in accordance with 90 : 7 : 4 : 3.4 : 1. The concentration of K in the blood exhibits a significant correlation with Zn in the spleen ($r = 0.507$) and Cu in the testes ($r = 0.535$). Simultaneously, Na exhibited a negative correlation with the concentration of Zn in the heart ($r = -0.416$) and Pb in the blood ($r = -0.598$). There was a high negative relationship between Ca in the

blood and the frequency of chromosomal breaks ($r = -0.752$). The glucose level was negatively correlated with the concentration of Cu in the muscles ($r = -0.414$), Zn in the kidneys ($r = -0.465$), and Zn in the heart ($r = -0.572$), but its level was positively associated with Pb in the muscles ($r = 0.568$). The significance of the indicators of carbohydrate and mineral metabolism, as well as the correlations between the studied parameters, is evident in the comprehensive evaluation of the breeds phenopool.

При комплексной оценке фенотипа пород сельскохозяйственных животных большое значение придается изучению белкового, жирового и минерального обменов [1–4]. Исследуют содержание макро и микроэлементов в органах и тканях и их связь с параметрами хромосомной нестабильности и биохимическими показателями [5–8].

Макроэлементы играют важную роль в жизнедеятельности животных [9]. Натрий необходим для работы пищеварительных ферментов, водно-солевого обмена, поддержания кислотно-щелочного баланса. Он активизирует работу амилазы, холинестеразы [10–11].

Калий также принимает участие в регуляции кислотно-щелочного равновесия, нормализует работу клеточных стенок, поддерживает осмотическое давление, активизирует нервные и клеточные функции, отвечает за сердечный ритм [12]. Кальций играет важную роль в функционировании костной ткани, свертывании крови, содержании мышечной ткани, в передаче нервных импульсов, работе ядерного аппарата клетки, в митохондриях [13].

Фосфор важен для деления клеток, обмена нуклеиновых кислот, углеводов, жиров и аминокислот, сохранения структуры костной ткани. Магний участвует в более чем триста биохимических реакций. Имеет важное значение для белкового, углеводного и жирового, фосфорного и кальциевого обменов. Принимает, как и фосфор, в синтезе ДНК и РНК. Он важен для усвоения P, Ca, K и ряда витаминов [14]. Приведенные данные свидетельствуют о важной роли макроэлементов в росте и развитии животных.

Свинец является одним из опасных токсикантов. В большой степени он аккумулируется в костной ткани. Влияет отрицательно на иммунную систему. Обладает мутагенным и канцерогенным эффектами. Мишенью для свинца служат нервная ткань и почки, негативно действует на желудочно-кишечный тракт, сердечную и нервную системы. Абсорбцию свинца снижают фосфаты и кальций [15]. Медь является одним из незаменимых макроэлементов, влияет на работу более чем 30 ферментов. Она регулирует углеводный обмен, принимает участие в антиоксидантной защите, влияет на транскрипцию некоторых генов,

повышает устойчивость к некоторым инфекциям [16]. Cd и Zn оказывают влияние на всасывание меди.

Цинк по биологической ценности занимает второе место после Fe [17]. Он содержится в более чем трёхста белках и ферментах. Он участвует в нуклеиновом и белковом обменах репликации и транскрипции ДНК. Он играет важную роль в иммунитете и размножении [18]. Свинец и кадмий вытесняют цинк из организма [19]. Продолжаются исследования уровней макро-и микроэлементов в органах и тканях животных и их связи с биохимическими, физиологическими и молекулярно-генетическими показателями, а также влияние на них окружающей среды.

Цель исследований – изучение углеводного, минерального и элементного обменов у овец романовской породы и их взаимосвязь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проведены на овцах романовской породы в Кемеровской области. После рождения была отобрана группа баранчиков в количестве 25 голов. Для животных были созданы одинаковые условия кормления и содержания, которые регламентировались постановлением Коллегии экономической комиссии от 13.02.2018 № 27 «Об утверждении единых ветеринарно-санитарных требований, предъявляемых к объектам подлежащим ветеринарному контролю» Рацион состоял из злако-бобового сена, сенажа, концентрированных кормов в соответствии с ГОСТ 10199–2017 «Комбикорм-концентраты для овец и коз. Общие технические условия. Корма давали согласно требованиям МДУ элементов в кормах №123-4/281-8.

Вода для поения была второго класса (ГОСТ 2761–84) и соответствовала требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». На территории районирования популяции овец романовской породы сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН проводился мониторинг почв, воды, кормов. В совместных публикациях показано, что не уста-

новлено превышения уровня ПДК по тяжелым металлам в отобранных образцах [20–24]. По ГОСТ 31777–2012 проведен убой животных в 7–8 месячном возрасте. С учетом технического регламента ТР ТС 021/2011 «О безопасности мяса и мясной продукции», приказ Минсельхоза РФ от 12.03.2014 № 72 «Об утверждении правил в области ветеринарии при убое животных и первичной переработки мяса и иных продуктов убоя непромышленного изготовления на убойных пунктах средней и мелкой мощности.

Для анализа было взято 175 проб крови, мышц, сердца, печени, селезенки, почек семенников. Проведено более 2000 биохимических, физико-химических и цитогенетических анализов.

Уровень тяжелых металлов изучали в лаборатории изотопно-геохимических методов анализа Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Использован метод атомно-эмиссионной спектроскопии (ААС), методика анализа НСАМ №450-С. Биохимические показатели измеряли на полуавтоматическом анализаторе Photometer 5010 V5x. Подготовка препаратов лимфоцитов периферической крови, взятой из vena jugularis осуществлялась по методу P.S. Moorhead [et al.] (1960). Препараты метафазных хромосом анализировали на световом микроскопе Biolar 1DPSAZ.

Методом параметрической и непараметрической статистики обработаны данные экспериментов с использованием Excel. По критерию

Шапиро–Уилка определена нормальность распределения. Коэффициент корреляции вычисляли по Пирсену и Спирмену.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метаболизм углеводов включает расщепление дисахаридов в пищеварительном тракте, синтез и распад глюкогена и глюкозы, пентозный цикл, глюконеогенез и т.д. [25].

В табл. 1 приведены показатели углеводного обмена. Отмечено, что уровень глюкозы в сыворотке крови овец романовской породы находится на верхней границе физиологической нормы (табл. 1). Глюкоза подвергается гликолизу для обеспечения клеток организма энергией АТФ. При анаэробном гликолизе, который наиболее характерен для мышечной ткани животных, ферментом конечной реакции является лактатдегидрогеназа (ЛДГ), обеспечивающая превращение пировиноградной кислоты в молочную и наоборот. Кроме того, этот фермент обеспечивает работу глюкозо-аланинового шунта (ГАШ). В зависимости от pH среды реакция меняет свое направление: в кислой среде протекает в сторону гликолиза, при щелочном значении pH – идет по пути глюконеогенеза. Таким образом, ЛДГ является регулятором углеводных потоков в организме и компонентом буферной системы [26].

Таблица 1

Показатели углеводного обмена у овец романовской породы
Carbohydrate metabolism indices in Romanov sheep

Показатель	n	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me	Референсные интервалы
Глюкоза, ммоль/л	25	5,96 ± 0,25	6,0	3,28 – 8,51
Амилаза, ЕД/л	25	104,0 ± 12,9	90	45,8 – 230,9
Лактат-дегидрогеназа (ЛДГ), ЕД/л	25	1086,0 ± 87,0	1019	121,8 – 1970

Кальций-зависимый фермент α -амилаза способствует расщеплению α 1,4-гликозидных связей в полисахаридах корма. Активатором для данного фермента служат ионы хлора.

Обмен электролитов (натрия, калия, кальция, магния) тесно сопряжен с углеводным обменом. Так, магний в качестве кофактора ферментов пируватдегидрогеназного комплекса обеспечивает превращение пировиноградной кислоты в субстрат цикла Кребса, препятствуя накоплению молочной кислоты в клетке, т.е. лактоацидозу. Следует упомянуть об антагонизме магния с

кальцием, где идет конкуренция за каналцевые каналы не только цитоплазматической, но и внутриклеточных мембран. Магний в данном случае рассматривается как мембрано- и цитопро-тективный фактор, обеспечивающий регуляцию мембранного транспорта других электролитов в клетки [1, 27].

Уровень кальция в крови влияет на его концентрацию внутри клеток, что сопровождается изменением порога возбудимости нервных и мышечных клеток, изменению функционирования кальциевого насоса, что влияет на активность

ферментов и соответственно на метаболизм организма в целом.

Фосфор в сыворотке крови находится в виде свободных моно- и полимерных ионов, концентрация которых варьирует в течение суток, что связано непосредственно с их биологической ролью в организме. Так, реакции фосфорили-

рования углеводов делают их доступными для процессов метаболизма. Фосфаты формируют буферные системы, а вместе с кальцием входят в состав костей [28].

Из данных табл. 2 видно, что наибольшая фенотипическая изменчивость характерна для амилазы.

Таблица 2

Показатели изменчивости углеводного обмена
Indicators of carbohydrate metabolism variability

Показатель	SD	Q ₁	Q ₃	IQR	Lim	Отклонение крайних вариант
Глюкоза, ммоль/л	1,2	5	6,3	1,3	4-9	1 : 2,2
Амилаза, ЕД/л	64,4	51	133	82	22-281	1 : 12,7
Лактат-дегидрогеназа (ЛДГ), ЕД/л	434	837	1383	546	236 - 412	1 : 1,7

Концентрация калия в сыворотке крови характеризует интенсивность секреции инсулина в организме. По данным табл. 3 у овец романовской

породы отмечено незначительное повышение верхней границы нормы калия, что, вероятно, связано с процедурой взятия крови у животных.

Таблица 3

Показатели минерального обмена в сыворотке крови у овец романовской породы, ммоль/л
Indicators of mineral metabolism in the blood serum of Romanov sheep, mmol/l

Элемент	n	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me	Lim	Референсные интервалы
P	25	3,81±0,24	3,54	2,1–6,3	1,1–6,3
Ca	25	4,46±0,17	4,6	3,2–6,3	2,7–6,2
Na	25	101,0±8,0	87	50–189	2,3–180,7
K	25	7,8±0,3	8,0	6–11	4,5–10,6
Mg	25	1,12±0,02	1,1	0,98–1,43	0,84–1,34

В сыворотке крови наибольшее содержание Na, а наименьшее – Mg. Ранжированный ряд макроэлементов расположен в следующем порядке: Na > K > Ca > P > Mg в соответствии 90 : 7 : 4 : 3,4 : 1. Представляют важное значение межпородные различия. Так, в исследованиях было показано, что среди исследованных шести пород овец наибольшая концентрация Na была в сыворотке крови породы иль-де-франс (152,3), наименьшая у лейне (134,8 ммоль/л) [27]. В то же время у ромни марш содержание K было выше (5,52), чем у иль-де-фанс (4,58 ммоль/л). Уровни Ca у всех шести пород (ромни марш, лейне, польского меринуса, черноголовой и иль-де-франс) был приблизительно одинаковый (2,1–2,4 ммоль/л). Сибирская популяция романовских овец имела более высокое содержание Ca (4,46 ммоль/л).

Все популяции польских овец характеризовались незначительными колебаниями уровня P

(3,0–3,4 ммоль/л). Эти данные сравнимы с показателями романовских овец (3,8 ммоль/л).

По концентрации Mg в сыворотке крови изученные все 6 пород и наши овцы не различались (1,0–1,25 ммоль/л) [27].

Интересно, что польские популяции овец не различались по содержанию Mg в кости (0,83–0,97 ммоль/л в 1 г сухого вещества).

В исследованных популяциях овец из Австрии были получены такие же, как и у других пород концентрации Ca, K и Mg в сыворотке крови [29].

В табл. 4 представлены данные о взаимосвязи между макро- и микроэлементами между разными органами и тканями, а также были найдены корреляции между уровнем тяжелого металла и биохимическими параметрами.

Таблица 4

Корреляции показателей углеводного обмена и уровня макро- и микроэлементов в органах и тканях овец
Correlations of carbohydrate metabolism indices and the level of macro- and microelements in organs and tissues of sheep

Коррелирующие признаки	<i>n</i>	<i>r</i> ± <i>Sr</i>	<i>P</i>
К кровь – Pb мышцы	24	-0,424±0,193	< 0,05
К кровь – Cu печень	24	0,464±0,189	< 0,05
Na кровь – Cu семенники	24	0,535±0,180	< 0,01
Na кровь – Pb кровь	17	-0,598±0,207	< 0,05
Na кровь – Zn селезенка	24	0,507±0,184	< 0,05
Na кровь – Zn сердце	24	-0,416±0,194	< 0,05
P кровь – Ca кровь	25	0,218±0,204	
Ca кровь – хромосом.разрывы	18	-0,752±0,199	< 0,01
Глюкоза – Cu мышцы	24	-0,414±0,194	< 0,05
Глюкоза – Pb мышцы	24	0,568±0,175	< 0,01
Глюкоза – Zn почки	24	-0,465±0,198	< 0,05
Глюкоза – Zn сердце	24	-0,572±0,175	< 0,01
ЛДГ – As селезенка	24	0,411±0,194	< 0,05
ЛДГ – Pb селезенка	24	0,557±0,177	< 0,01
ЛДГ – холестерин	25	0,449±0,186	< 0,05
Амилаза – As кровь	17	-0,551±0,215	< 0,05
Глюкоза – амилаза	25	0,029±0,208	
Амилаза – ЛДГ	25	0,059±0,208	

Уровень К в крови положительно связан с Zn в селезенке ($r = 0,507$) и Cu в семенниках ($r = 0,535$). В то же время Na отрицательно коррелировал с содержанием Zn в сердце ($r = -0,416$) и Pb в крови ($r = -0,598$).

Высокая отрицательная связь обнаружена между Ca в крови и частотой хромосомных разрывов ($r = -0,752$).

Уровень глюкозы отрицательно коррелировал с концентрацией Cu в мышцах ($r = -0,414$), Zn в почках ($r = -0,465$) и Zn в сердце ($r = -0,572$), но ее уровень положительно связан с Pb в мышцах ($r = 0,568$). Показатели углеводного и минерального обменов и корреляции между изученными параметрами, генетическая обусловленность уровня металлов в организме важны при комплексной оценке фенотипа породы [30, 31].

ВЫВОДЫ

1. Установлены средние и референсные значения в популяции романовской породы овец по показателям углеводного и минерального обменов в сыворотке крови в условиях Кузбаса. Показано,

что минеральный статус овец многих пород сходен. Однако по некоторым элементам существуют межпородные различия.

2. Выявлены разные по величине и направлению связи параметров углеводного и минерального обмена с концентрацией тяжелых металлов и некоторыми показателями соматической хромосомной нестабильности в органах и тканях.

3. Показано, что увеличение концентрации свинца в мышцах и крови приводит к снижению уровней К и Na в крови ($r = -0,424$ и $-0,598$ соответственно). Повышение уровня мышьяка в крови ведет к снижению концентрации амилазы ($r = -0,551$). Точно такая же закономерность в ассоциациях выявлена между уровнем Cu в мышцах, Zn в почках и сердце. Увеличение этих элементов ведет к снижению содержания глюкозы в сыворотке крови ($r = -0,414$; $r = -0,465$ и $r = -0,572$ соответственно). Увеличение уровня Ca в сыворотке крови вызывает снижение частоты хромосомных разрывов.

Исследования выполнены по гранту РНФ №24-26-00136.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Биология, генетика и селекция овцы: монография* / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск, 2010. – 524 с.
2. *Populations of Tuvan Shot Fat-Tailed sheep breeds of the Russian Federation* / S.A. Beketov, T.E. Deniskova, [et al.] // *Russian Journal of Genetics*. – 2024. – Т. 60, № 1. – С. 87–99. – DOI: 10.1134/s1022795424010022.
3. *Гормональный и метаболический статус бычков голштинской породы в экологических условиях Кемеровской области* / Л.В. Осадчук, О.И. Себежко, Н.Г. Шишин [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 2 (43). – С. 52–61.
4. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2018. – 126 с.
5. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of west Siberia* / O.S.Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.I. Petukhov [et al.] // *Proceeding of the 10 th World Congress on Genetics Applied to livestock Production*. – 2014.
6. *Камалдинов Е.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л.* Фонд эритроцитарных антигенов и хромосомная нестабильность у якутского скота // *Сельскохозяйственная биология*. – 2011. – Т. 46, № 2. – С. 51–56.
7. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia* / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov, N.S. Yudin // *Proceeding of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. – 2014.
8. *Analysis of trace elements in the hair of with DC ARC excitation* / A.R. Tsygankova, A.V. Kuptsov, A.I. Saprykin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, № 5. – P. 601–605.
9. *Медицинская элементоология: 2-е изд.* / А.В. Скальный, М.Г. Скальная, А.А. Каричук, А.А. Тиньков. – М., 2021. – 199 с.
10. *Zink in animal organism: Areview* / V. Sloup, Jankovska I. Nechybova [et al.] // *Scientia Agricultural Bohemica*. – 2017. – Vol. 48, Is. 1. – P. 13–21.
11. *Changes of macromineral and trace element concentration in the blood of ewes during lactation period* / Z. Antunovic, Z. Klip [et al.] // *Czech Journal of Animal Science*. – 2021. – Vol. 66 (4). – P. 129–136.
12. *Field deficiency of macro and microelements is associated with alterations in hematology, hepatic and kidney functions and electrocardiography in sheep* / R.R. Emam, M.M. Ghanem, Y.M. Abdel-Raof [et al.] // *J. of Advanced Veterinary Research*. – 2024. – Vol. 14, Is. 4. – P. 553–558.
13. *Baranowski P.* Genetic and environmental factors of macroelements concentration in blood serum and osseous tissue of lambs in north-west Poland // *Arch. Tierz., Dummerstorf*. – 2002. – Vol. 45, № 6. – P. 565–574.
14. *Dinamics of biochemical parameters in lambs during the first four month of life* / D.E. de Souza, T.S.S.S. Reijers, S.Gilaverte, T.F. da Cruz [et al.] // *Revista Brasileira de Zootecnia*. – 2020. – Vol. 49. – P. e20190167. – DOI: 10.37496/rbz4920190167.
15. *Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, № 4, p. 368–374.
16. *Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia)* / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyaev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Т. 44, № 2. – С. 217–220.
17. *Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes* / T.V. Skiba, A.R. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Т. 9, № 6, p. 958–964.
18. *Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of Western* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Т. 44, № 3. – P. 662–666.
19. *Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia)* / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyaev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2018. – Т. 45, № 4. – P. 866–871.
20. *Baumgartner W.* Clinical propaedeutics of house animals and pets (in Germany) 7th end. Parey. – Stuttgart. Xivt. – 525 p.
21. *Changes in the content of certain macro- and microelements in the blood of Karakul sheep exposed to helminth infestation* / A. Varhidova, A. Daminov, E. Muradova // *BIO Web Conference* 95. – 2024. – P. 01008. – DOI: 10.1051/bioconf/20249501008.
22. *Boudebza A., Abdeldjelil M.C.* Reference intervals and physiological variations of the macro-mineral plasma concentrations in Ould Djellal ewes // *Science and Technology*. – 2022. – Vol. 14, № 1. – P. 46–53.
23. *Macromineral and trace element supply in sheep and goats in Austria* / V. Schweinzer, M. Iwersen, M. Drillich [et al.] // *Veterinari Medcicina*. – 2017. – Vol. 62 (02). – P. 62–73. – DOI: 10.17221/243/2015.

24. Коновалова Т.В. Влияние генотипа отцов на содержание меди в печени потомков у крупного рогатого скота // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 1 (70). – С. 196–203. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-96-203.
25. Генетическая детерминация накопления меди в миокарде у крупного рогатого скота Западной Сибири / О.И. Себежко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 10 (199). – С. 160–166. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-160-166.
26. Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in AS1-casein and β lacto globulin genes in Romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezko, O.S. Korotkevich [et al.] // Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018. – 2018. – P. 47.
27. Briffa J., Srinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // Heliyon. – 2020. – Vol. 6, Is. 9. – P. 1–26.
28. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: ОНИКС 21 век; Мир. – 2004. – 272 с.
29. Chasapis T.C., Ariadni C.L., Chara A.S. Zink and human health: an update // Archives of Toxicology. – 2012. – Vol. 86. – P. 521–534.
30. Zink and its role in immunity and inflammation / P. Bonaventura, G. Benedetti, F. Albareda [et al.] // Autoimmunity Reviews. – 2015. – Vol. 14, Is. 4. – P. 277–285.
31. Zink deficiency and heart failure: a systematic review of the current literature / H. Rosenblum, J.D. Wessler, A. Gupta [et al.] // Journal of Cardiac Failure. – 2020. – Vol. 26, Is. 2. – P. 180–189.

REFERENCES

1. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petuhov V.L., Dimov G., Storozhuk S.I., *Biologiya, genetika i selekciya ovcy* (Biology, genetics and breeding of sheep), Novosibirsk: NGAU, 2010, 524 p.
2. Beketov S.A., Deniskova T.E., Dostev A.V., Nikolaeva E.A., Zinovieva N.A., Selionova M.I., Stolpovsky Yu.A., Populations of Tuvan Shot FAT-Tailed sheep breeds of the Russian Federation, *Russian Journal of Genetics*, 2024, T. 60, No. 1, pp. 87–99, DOI: 10.1134/s1022795424010022.
3. Osadchuk L.V., Sebezko O.I., Shishin N.G. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 2 (43), pp. 52–61. (In Russ.)
4. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyaciya makroelementov v organah i tkanyah krupnogo rogatogo skota cherno-pestroj porody* (Content, variability and correlation of macroelements in organs and tissues of black-and-white cattle), Novosibirsk, 2018, 126 p.
5. Korotkevich O.S., Lyukhanov M.P., Petukhov V.I. [et al.], Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of west Siberia, *Proceeding of the 10 th World Congress on Genetics Applied to livestock Production*, 2014.
6. Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2011, T. 46, No. 2, pp. 51–56. (In Russ.)
7. Korotkevich O.S., Lyukhanov M.P., Petukhov V.L., Yudin N.S., Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia, *Proceeding of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 2014.
8. Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I. [et al.], Analysis of trace elements in the hair of with DC ARC excitation, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T.9, No. 5, pp. 601–605.
9. Skal'nyj A.V., Skal'naya M.G., Karichuk A.A., Tin'kov A.A., *Medicinskaya elementologiya* (Medical Elementology), Moscow, 2021, 199 p.
10. Sloup V., Jankovska I. Nechybova [et al.], Zink in animal organism: Areview, *Scientia Agricultural Bohemica*, 2017, Vol. 48, Is. 1, pp. 13–21.
11. Antunovic Z., Klip Z. [et al.], Changes of macromineral and trace element concentration in the blood of ewes during lactation period, *Czech Journal of Animal Science*, 2021, Vol. 66 (4), pp. 129–136.
12. Emam R.R., Ghanem M.M., Abdel-Raof Y.M. [et al.], Field deficiency of macro and microelements is associated with alterations in hematology, hepatic and kidney functions and electrocardiography in sheep, *J. of Advanced Veterinary Research*, 2024, Vol. 14, Is. 4, pp. 553–558.
13. Baranowski P., Genetic and environmental factors of macroelements concentration in blood serum and osseous tissue of lambs in north-west Poland, *Arch. Tierz., Dummerstorf.*, 2002, Vol. 45, No. 6, pp. 565–574.
14. De Souza D.F., Reijers T.S.S.S., Gilaverte S. [et al.], Dinamics of biochemical parameters in lambs during the first four month of life, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2020, Vol. 49, pp. e20190167, DOI: 10.37496/rbz4920190167.
15. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S. [et al.], Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grassesof the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T. 9, No. 4, pp. 368–374.
16. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I. [et al.], Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2017, T. 44, No. 2, pp. 217–220.

17. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. [et al.], Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T. 9, No. 6, pp. 958–964.
18. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. [et al.], Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of Western, *Indian Journal of Ecology*, 2017, T. 44, No. 3, pp. 662–666.
19. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I. [et al.], Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2018, T. 45, No. 4, pp. 866–871.
20. Baumgartner W., *Clinical propaedeutics of house animals and pets (in Germany) 7th end.* Parey, Stuttgart, Xivt 525 p.
21. Varhidova A., Daminov A., Muradova E., Nurullayev A., Changes in the content of certain macro- and microelements in the blood of Karakul sheep exposed to helminth infestation, *BIO Web Conference* 95, 2024, 01008, DOI: 10.1051/bioconf/20249501008.
22. Boudebza A., Abdeldjelil M.C., Reference intervals and physiological variations of the macro-mineral plasma concentrations in Ould Djellal ewes, *Science and Technology*, 2022, Vol. 14, No. 1, pp. 46–53.
23. Schewinzer V., Iwersen M., Drillich M. [et al.], Macromineral and trace element supply in sheep and goats in Austria, *Veterinarni Medicina*, 2017, Vol. 62 (02), pp. 62–73, DOI: 10.17221/243/2015.
24. Konovalova T.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2024, No. 1 (70), pp. 196–203, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-96-203. (In Russ.)
25. Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S. [i dr.], *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 10 (199), pp. 160–166, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-160-166. (In Russ.)
26. Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S. [et. al.], Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in AS1-casein and β lacto globulin genes in Romanov sheep breed, *Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018*, 2018, pp. 47.
27. Briffa J., Srinagra E., Blundell R., Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon*, 2020, Vol. 6, Is. 9, pp. 1–26.
28. Skal'nyj A.V., Rudakov I.A., *Bioelementy v medicine* (Bioelements in medicine), Moscow: ONIKS 21 vek; Mir, 2004, 272 p.
29. Chasapis T.C., Ariadni C.L., Chara A.S., Zinc and human health: an update, *Archives of Toxicology*, 2012, Vol. 86, pp. 521–534.
30. Bonaventura P., Benedetti G., Albaredo F. [et al.], Zinc and its role in immunity and inflammation, *Autoimmunity Reviews*, 2015, Vol. 14, Is. 4, pp. 277–285.
31. Rosenblum H., Wessler J.D., Gupta A. [et al.], Zinc deficiency and heart failure: a systematic review of the current literature, *Journal of Cardiac Failure*, 2020, Vol. 26, Is. 2, pp. 180–189.

Информация об авторах:

Т.В. Коновалова, старший преподаватель
 Е.А. Климанова, научный сотрудник
 Е.И. Тарасенко, аспирант
 О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор
 В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

Contribution of the authors:

T.V. Konovalova, Senior Lecturer
 E.A. Klimanova, Researcher
 E.I. Tarasenko, Postgraduate
 O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor
 V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЭТОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОДСОСНЫХ СВИНОМАТОК В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

¹М.Л. Кочнева, ¹К.В. Жучаев, ¹Е.А. Борисенко, ²С.В. Папшев

¹ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

²ООО «РУСАГРО-Приморье», Михайловка, Приморский край

E-mail: mlkochneva@nsau.edu.ru

Для цитирования: Этологический профиль и продуктивность подсосных свиноматок в условиях промышленной технологии / М.Л. Кочнева, К.В. Жучаев, Е.А. Борисенко, С.В. Папшев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 215–219. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-215-219.

Ключевые слова: благополучие животных, этологический профиль подсосных свиноматок, воспроизводительные качества.

Реферат. Анализ поведения животных, в частности подсосных свиноматок, позволяет определить проблемы их благополучия и здоровья на начальных стадиях, что обеспечивает повышение репродуктивности и прибыльности стада. Чаще всего индивидуальные характеристики животных, связанные с типом высшей нервной деятельности, остаются за рамками внимания заводчиков. Проведена оценка поведенческих реакций подсосных свиноматок с разным уровнем воспроизводительных качеств (многоплодие, молочность (масса гнезда в 21 день), количество поросят в гнезде в 2 месяца) в период наивысшей дневной активности. Фиксировалось время, затраченное свиноматкой на кормление поросят, двигательную активность, отдых, прием корма, исследовательское поведение, уринацию и дефекацию. В результате исследований у лактирующих свиноматок не выявлено поведенческих отклонений, снижающих их благополучие, на что указывало процентное распределение видов активности животных. Существенную долю в этологическом профиле животных занимал отдых, значения которого варьировали от 33,3 до 45,8 %. На двигательную активность приходилось от 10,4 до 20,8 % изученного бюджета времени. В среднем свиноматка на прием корма и кормление поросят затрачивала третью часть времени дневной активности. Показана тенденция к преимуществу по времени кормления поросят более многоплодных и молочных свиноматок над остальными. Подсосные свиноматки с показателями продуктивности выше средних значений по выборке характеризовались несколько меньшей исследовательской активностью, что, возможно, отражает их индивидуальные особенности.

ETHOLOGICAL PROFILE AND PRODUCTIVITY OF SUCKLING SOWS IN TERMS OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

¹M.L. Kochneva, ¹K.V. Zhuchayev, ¹E.A. Borisenko, ²S.V. Papshev

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²RUSAGRO-Primorye LLC, Mikhaylovka, Primorsky Krai

E-mail: mlkochneva@nsau.edu.ru

Keywords: animal welfare, ethological profile of suckling sows, reproductive qualities.

Report. The analysis of animal behavior, in particular suckling sows, allows us to identify problems of their well-being and health at the initial stages, which ensures an increase in reproductive productivity and profitability of the herd. Most often, the individual characteristics of animals associated with the type of higher nervous activity remain beyond the attention of breeders. The assessment of behavioral reactions of suckling sows with different levels of reproductive qualities (multiple fertility, lactation (nest weight at 21 days), the number of piglets in the nest at 2 months) during the period of the highest daily activity was carried out. The time spent by the sow on feeding piglets, motor activity, rest, feeding, research behavior, urination and defecation were recorded. As a result of the studies, no behavioral abnormalities were found in lactating sows that reduce their well-being, as indicated by the percentage distribution of animal activity types. A significant share in the ethological profile of animals was occupied by rest, the values of which ranged from 33.3 to 45.8%. Motor activity accounted for 10.4 to 20.8% of the studied time budget. On average, a sow spent a third of the daily activity budget on feeding and feeding piglets. The tendency to an advantage in feeding time of piglets of more fertile and dairy sows over the rest is shown. Suckling sows with productivity indicators

above the average values in the sample were characterized by slightly less research activity, which probably reflects their individual characteristics.

Знание особенностей поведения животных необходимо для обеспечения их благополучия и повышения продуктивности, оптимизации технологий производства и сокращения затрат труда персонала [1]. Отклонения от нормального поведения позволяют выявить проблемы здоровья и благополучия животных на ранних стадиях и эффективнее управлять стадом. Физиологический статус подсосных свиноматок в определенной степени может отражать степень их активности или неактивности. Поведенческие реакции в процессе приема пищи, при поении в ряде случаев выступают индикаторами заболеваний, нарушений условий содержания, теплового стресса. Поведение подсосных свиноматок существенно может влиять на жизнеспособность и развитие поросят. Хорошо известны такие нарушения поведения животных, как стереотипия [2], каннибализм, угнетение или возбуждение, связанное со стрессом, потеря аппетита и т.д. [3, 4]. Все эти симптомы ухудшения благополучия очевидным образом связаны с потерей продуктивности [5] и могут быть учтены в технологических или селекционных программах, поскольку продемонстрирована генетическая компонента этологических признаков [6, 7]. В то же время индивидуальные особенности животных, связанные с типом высшей нервной деятельности, опытом, элементарной рассудочной деятельностью, чаще всего остаются за рамками внимания. Как исключение, в протоколы оценки благополучия включена боязнь человека [8], существенно влияющая на продуктивность и здоровье животных [9–11].

Цель исследований: оценка этологического профиля свиноматок в связи с их воспроизводительными качествами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на свиньях локальной кемеровской породы в условиях промышленного

свинокомплекса. Индивидуальные различия по этологической оценке в период наивысшей активности (с 8:00 до 12:00, трехкратно) изучены методом временных срезов на группе основных подсосных свиноматок из 20 голов в первую треть подсосного периода. Учитывалось время, затраченное свиноматкой на кормление поросят, двигательную активность, отдых, прием корма, исследовательское поведение, комфортное поведение (уринацию и дефекацию).

Оценено распределение дневной активности основных подсосных свиноматок в зависимости от их многоплодия (сформированы две группы маток: с поголовьем поросят при рождении и при отъеме до десяти и более десяти поросят), массы гнезда в 21 день (молочность, группы до 54 и более 54 кг), количества поросят в гнезде в 2 мес. (гнезда до десяти и более десяти поросят).

Материалы обработаны методами описательной статистики. Различия между группами оценивали с помощью Z-теста.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для свиноматок период кормления поросят сопряжен с повышенными обменными и гормональными процессами, что характеризует особое физиологическое и поведенческое состояние маток [4]. С учетом необходимости заботы о потомстве возрастает нагрузка на организм, что повышает риски поведенческих аномалий. Важно понимать причины нарушения поведения свиней, как прямого показателя, связанного со здоровьем [12].

Исследования показали, что в этологическом профиле свиноматок нет девиаций, связанных с нарушением благополучия. В общем распределении поведенческой активности здоровых подсосных свиноматок значительную долю занимает отдых – от 33,3 до 45,8 %, в среднем около 40 % (табл. 1).

Таблица 1

Распределение дневной активности свиноматок, %
Distribution of daily activity of sows, %

Вид активности	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Cv
1	2	3
Кормление поросят	19,22±0,46	10,78
Двигательная активность	15,63±0,63	18,14
Отдых	40,69±0,72	7,91
Прием корма	15,03±0,51	15,17

Окончание табл. 1

1	2	3
Исследовательское поведение	4,91±0,32	28,80
Уринация	3,44±0,29	37,78
Дефекация	1,64±0,16	43,94

Значения ниже указанного интервала характеризуют беспокойство, связанное со стрессом или заболеванием, выше – риск возникновения проблем по тем же причинам. Соответственно, на двигательную активность приходится от 10,4 до 20,8 % общего времени, в среднем 15,63 %.

Частота кормления приплода свиноматкой начинается примерно с одного раза в час после опороса и несколько снижается с возрастом по-

росят. Кормление, включая подготовку и стимуляцию поросятами вымени, занимало 19,22 % (от 16,6 до 22,9 %) времени.

Достоверных различий по распределению активности между группами маток с разной продуктивностью не выявлено (табл. 2–4). Отмечена тенденция к преимуществу более многоплодных и молочных свиноматок над остальными по времени кормления поросят.

Таблица 2

Распределение дневной активности свиноматок в связи с многоплодием, %
Distribution of daily activity of sows due to multiple pregnancy, %

Вид активности	Многоплодие, голов	
	До десяти	10 и более
Кормление поросят	18,83±0,72	19,32±0,60
Двигательная активность	15,53±0,74	14,96±0,94
Отдых	40,41±0,73	41,21±1,24
Прием корма	14,67±0,43	14,24±0,61
Исследовательское поведение	5,23±0,44	4,66±0,41

Группа свиноматок с молочностью выше средней несколько больше тратила времени не только на кормление поросят, но и на собственное

потребление корма. Как отмечает А.Н. Соляник и др. [13], у более молочных свиноматок более высокая пищевая мотивация (см. табл. 3).

Таблица 3

Распределение дневной активности свиноматок в зависимости от массы гнезда поросят в 21 день
Distribution of the daily activity of sows depending on the weight of the nest on 21 days

Вид активности	Масса гнезда в 21 день	
	До 54 кг	54 кг и более
Кормление поросят	18,96±0,61	19,22±0,76
Двигательная активность	15,86±0,68	14,27±0,94
Отдых	40,12±0,94	41,88±0,91
Прием корма	14,10±0,38	15,06±0,67
Исследовательское поведение	5,38±0,44	4,27±0,41

Сходные данные получены в исследованиях А.Н. Шацкой и др. [14]. Свиноматки с более продолжительным временем кормления показывали лучшие результаты выращивания поросят.

Различия в продуктивности в связи с поведением зависят от сочетания силы, продолжительности стрессового воздействия и индивидуальных особенностей животного (тип ВНД, индивидуальный опыт, физиологическое состояние и т.д.).

Очевидно, влияние типа высшей нервной деятельности на продуктивность может в значительной степени проявляться в интенсивном промышленном свиноводстве под влиянием различных стресс-факторов [15]. Показано, например, что сила влияния ВНД типов на многоплодие варьирует в пределах от 0,28 до 0,40, на молочность – от 0,24 до 0,36, на массу гнезда при отъеме –

в пределах 0,21–0,28 и на сохранность приплода до отъема – 0,31–0,39 [16].

Таблица 4

Распределение дневной активности свиноматок в связи с количеством поросят в гнезде в 2 мес.
Distribution of the daily activity of sows in connection with the number of piglets in the nest at 2 months

Вид активности	Количество поросят в 2 месяца, голов	
	До 10	10 и более
Кормление поросят	18,88±0,66	19,36±0,62
Двигательная активность	15,30±0,65	15,20±1,16
Отдых	40,84±0,78	40,71±1,36
Прием корма	14,41±0,47	14,55±0,61
Исследовательское поведение	5,23±0,40	4,52±0,43

Можно отметить, что свиноматки с показателями продуктивности выше средней по выборке характеризовались несколько меньшей исследовательской активностью, что, возможно, отражает особенности ВНД.

ВЫВОДЫ

1. В условиях промышленной технологии при отсутствии значительного хронического или

острого стресса этологический профиль подсосных свиноматок отражает уровень гомеостаза организма, при котором не отмечается существенных потерь продуктивности.

2. Изменчивость поведенческой активности даже в пределах нормы обуславливает однонаправленные тенденции связи поведенческой активности свиноматок с количеством и качеством приплода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка лактирующих коров по реакции на человека как показатель их благополучия / К.В. Жучаев, А.И. Эйлерт, Д.В. Репьюк [и др.] // Инновации и продовольственная безопасность. – 2017. – № 4 (18). – С. 32–38.
2. Сулимова Л.И., Жучаев К.В., Кочнева М.Л. Поведенческие реакции и благополучие сельскохозяйственной птицы (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55, № 2. – С. 209–224.
3. Пашиев С.В., Жучаев К.В., Барсукова М.А. Этологическая характеристика домашней свиньи // Сельскохозяйственная биология. – 2000. – № 2. – С. 20.
4. Девиантное поведение маточного поголовья свиней на промышленных комплексах / А.Н. Соляник, Д.Н. Ходосовский, А.А. Хоченков [и др.] // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2020. – № 23 (2). – С. 125–133.
5. The effect of stress on productivity of animals: a review / E. Gebregeziabhear, N. Ameha, D. Zeit [et al.] // Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. – 2015. – No. 5 (3). – P. 165–172.
6. Суетов Н.В., Жучаев К.В., Кауфманн О. Влияние различных факторов на поведенческую активность поросят // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2011. – № 3 (19). – С. 66–71.
7. Дарьин А.И. Поведение свиноматок различного происхождения // Цифровизация в АПК: технологические ресурсы, новые возможности и вызовы времени: сб. науч. тр. по мат-м междунар. конф. – Тверь, 2020. – С. 165–167.
8. Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). Welfare Quality® Consortium, Lelystad, the Netherlands. – 2009.
9. A note on the relationship between the behavioural response of lactating sows to humans and the survival of their piglets / P.H. Hemsworth, V. Pedersen, M. Cox [et al.] // Applied Animal Behaviour Science. – 1999. – Vol. 65 (1). – P. 43–52.
10. The effects of fear of humans and pre-slaughter handling on the meat quality of pigs / P.H. Hemsworth, J.L. Barnett, C. Hofmeyr [et al.] // Australian Journal of Agricultural Research. – 2002. – Vol. 53 (4). – P. 493–501.
11. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare / D. Mota-Rojas, D.M. Broom, A. Orihuela [et al.] // Journal of Animal Behaviour and Biometeorology. – 2020. – Vol. 8 (3). – P. 196–205.
12. The evidence for a causal link between disease and damaging behavior in pigs / L.A. Boyle, S.A. Edwards, J.E. Bolhuis [et al.] // Frontiers in veterinary science. – 2022. – Vol. 8. – P. 771682.
13. Изучение преобладающих видов активности у маточного поголовья свиней в условиях промышленной технологии / А.Н. Соляник, И.П. Шейко, Д.Н. Ходосовский [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 377–384.

14. *Взаимосвязь* этологических и конституциональных характеристик свиноматок с их продуктивностью. / А.Н. Шацкая, Д.Н. Ходосовский, А.А. Хоченков [и др.] // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»: научно-практический журнал. – 2013. – Т. 49, Вып. 2, Ч. 1. – С. 330–333.
15. *Комлацкий В.И.* Поведение свиней в условиях интенсивного ведения отрасли. – Краснодар, 1985. – 80 с.
16. *Бажов Г.М., Степанова О.В.* Продуктивность свиней различных типов нервной деятельности и функционального состояния сердечно-сосудистой системы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 77. – С. 677–686.

REFERENCES

1. Zhuchaev K.V., Jejlert A.I., Rep'juk D.V., Ivanova O.A., Kochneva M.L., Pobegajlo I.M., *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'*, 2017, No. 4 (18), pp. 32–38. (In Russ.)
2. Sulimova L.I., Zhuchaev K.V., Kochneva M.L., *Sel'skhozjajstvennaja biologija*, 2020, No. 55 (2), pp. 209–224. (In Russ.)
3. Papshev S.V., Zhuchaev K.V., Barsukova M.A., *Sel'skhozjajstvennaja biologija*, 2000, No. 2, pp. 20. (In Russ.)
4. Soljanik A.N., Hodosovskij D.N., Hochenkov A.A., Bezmen V.A., Petrushko A.S., Rudakovskaja I.I., Matjushonok T.A., *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitija zhivotnovodstva*, 2020, No. 23 (2), pp. 125–133. (In Russ.)
5. Gebregeziabhear E., Ameha N., Zeit D., Dawa D. [et al.], The effect of stress on productivity of animals: a review, *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 2015, No. 5 (3), pp. 165–172.
6. Suetov N.V., Zhuchaev K.V., Kaufmann O., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2011, No. 3 (19), pp. 66–71. (In Russ.)
7. Dar'in A.I., *Cifrovizacija v APK: tehnologicheskie resursy, novye vozmozhnosti i vyzovy vremeni*, Collection of scientific papers, 2020, pp. 165–167. (In Russ.)
8. *Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs)*, Welfare Quality® Consortium, Lelystad, the Netherlands, 2009.
9. Hemsworth P.H., Pedersen V., Cox M. [et al.], A note on the relationship between the behavioural response of lactating sows to humans and the survival of their piglets, *Applied Animal Behaviour Science*, 1999, Vol. 65 (1), pp. 43–52.
10. Hemsworth P.H., Barnett J.L., Hofmeyr C. [et al.], The effects of fear of humans and pre-slaughter handling on the meat quality of pigs, *Australian Journal of Agricultural Research*, 2002, Vol. 53 (4), pp. 493–501.
11. Mota-Rojas D., Broom D.M., Orihuela A. [et al.], Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare, *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 2020, Vol. 8 (3), pp. 196–205.
12. Boyle L.A., Edwards S.A., Bolhuis J.E. [et al.], The evidence for a causal link between disease and damaging behavior in pigs, *Frontiers in veterinary science*, 2022, Vol. 8, pp. 771682.
13. Soljanik A.N., Shejko I.P., Hodosovskij D.N., Hochenkov A.A., Petrushko A.S., Rudakovskaja I.I., Dzhumkova M.V., *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi*, 2022, No. 66 (3), pp. 377–384. (In Russ.)
14. Shackaja A.N., Hodosovskij D.N., Hochenkov A.A., Bezmen V.A., Petrushko A.S., Rudakovskaja I.I., Matjushonok T.A., *Uchenye zapiski uchrezhdenija obrazovanija «Vitebskaja ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny»*: nauchno-prakticheskij zhurnal, 2013, Vol. 49 (2), pp. 330–333. (In Russ.)
15. Komlackij V.I., *Povedenie svinej v uslovijah intensivnogo vedenija otrasli* (Behavior of pigs in intensive farming conditions), Krasnodar, 1985, pp. 80. (In Russ.)
16. Bazhov G.M., Stepanova O.V., *Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, No. 77, pp. 677–686. (In Russ.)

Информация об авторах:

М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, профессор
 К.В. Жучаев, доктор биологических наук, профессор
 Е.А. Борисенко, кандидат биологических наук, доцент
 С.В. Папшев, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences, Professor
 K.V. Zhuchaev, Doctor of Biological Sciences, Professor
 E.A. Borisenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 S.V. Papshev, Candidate of Agricultural Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КРОВИ, АНТИОКСИДАНТНУЮ ЗАЩИТУ КУР-НЕСУШЕК

¹И.И. Кцоева, ²М.В. Розовенко, ^{1,3}Р.Б. Темираев, ^{1,3}С.Г. Козырев, ¹М.С. Газзаева, ¹З.А. Кубатиева

¹Горский государственный аграрный университет, Владикавказ, Россия

²Российская академия наук, Москва, Россия

³Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства
Владикавказский научный центр РАН, Владикавказ, Россия

E-mail: temiraev@mnail.ru

Для цитирования: Влияние антиоксидантов на морфологический и биохимический состав крови, антиоксидантную защиту кур-несушек / И.И. Кцоева, М.В. Розовенко, Р.Б. Темираев, С.Г. Козырев, М.С. Газзаева, З.А. Кубатиева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 220–227. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-220-227.

Ключевые слова: куры-несушки, антиоксиданты, перекисное окисление липидов, кровь, морфологический и биохимический состав, антиоксидантная защита.

Реферат. Исследования проведены на базе СПК «Дур-Дур» (РСО – Алания) на несушках кросса «КОББ-500», из которых в возрасте 155 дней при переводе в цех родительского стада по принципу групп-аналогов сформировали четыре группы по сто голов в каждой. Продолжительность данного эксперимента на курах-несушках составила 10 мес. Установлено, что совместное скормливание антиоксидантов витамина С из расчета 500,0 г/т и Эритокс из расчета 125,0 г/т комбикорма несушек 4-й опытной группы способствовало улучшению кроветворной функции. Из-за синергизма действия апробируемых антиоксидантов несушки 4-й опытной группы отличались лучшими показателями углеводного, белкового, липидного и минерального метаболизма, что против контроля проявилось в достоверном ($P > 0,95$) увеличении в сыворотке крови глюкозы на 0,53 ммоль/л, общего белка – на 4,48 г/л, активности аланинаминотрансферазы – на 5,00 ед./л и аспартатаминотрансферазы – на 5,97 ед./л, концентрации кальция – на 0,73 ммоль/л и фосфора – на 0,69 ммоль/л при одновременном снижении общих липидов – на 0,59 ммоль/л ($P > 0,95$) и холестерина – на 0,93 ммоль/л ($P > 0,95$). Кроме того, у несушек 4-й опытной группы относительно контроля оптимизировались процессы антиоксидантной защиты организма благодаря увеличению в крови активности глутатионпероксидазы на 7,31 % ($P > 0,95$) и глутатионредуктазы – на 19,96 % ($P > 0,95$).

INFLUENCE OF ANTIOXIDANTS ON THE MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF BLOOD, ANTIOXIDANT PROTECTION OF LAYING CHICKS

¹I.I. Ktsoeva, ²M.V. Rozovenko, ^{1,3}R.B. Temiraev, ^{1,3}S.G. Kozyrev, ¹M.S. Gazzaeva, ¹Z.A. Kubatieva

¹Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, Russia

²Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russia

E-mail: temiraev@mnail.ru

Keywords: laying hens, antioxidants, lipid peroxidation, blood, morphological and biochemical composition, antioxidant protection.

Abstract. The research was carried out on the basis of the agricultural production complex “Dur-Dur” (Russian North Ossetia – Alania) on laying hens of the “KOB-500” cross, of which, at the age of 155 days, when transferred to the parent stock workshop, according to the principle of analogous groups, 4 groups of 100 heads each were formed. The duration of this experiment on laying hens was 10 months. It was found that joint feeding of antioxidants vitamin C at the rate of 500,0 g/t and Erytox at the rate of 125,0 g/t of mixed feed to laying hens of the 4-test group contributed to the improvement of hematopoietic function. Due to the synergism of the action of the tested antioxidants, laying hens of the 4-experimental group were distinguished by better

indicators of carbohydrate, protein, lipid and mineral metabolism, which, compared to the control, manifested itself in a significant ($P > 0,95$) increase in blood serum glucose by 0,53 mmol/l, total protein – by 4,48 g/l, alanine aminotransferase activity – by 5,00 units/l and aspartate aminotransferase – by 5,97 units/l, calcium concentration – by 0,73 mmol/l and phosphorus – by 0,69 mmol/l with a simultaneous decrease in total lipids – by 0,59 mmol/l ($P > 0,95$) and cholesterol – by 0,93 mmol/l ($P > 0,95$). In addition, in laying hens of the 4th experimental group, relative to the control, the body's antioxidant defense processes were optimized due to an increase in the activity of glutathione peroxidase in the blood by 7,31 % ($P > 0,95$) and glutathione reductase by 19,96 % ($P > 0,95$).

Перекисное окисление липидов (ПОЛ) – биохимические реакции преобразования кормовых жиров, попадающих в организм сельскохозяйственной птицы с кормами, с участием свободных кислородных радикалов, т. е. активно заряженных ионов. С учетом того, что липиды являются компонентами мембран клеток всех органов и тканей, биохимические реакции ПОЛ приводят к нарушению мембранных структур. Следствием этого становится повреждение и старение клеток (и организма в целом), снижение продуктивности яичной и мясной [1–4].

Избыточная же активность ПОЛ зачастую приводит к полному разрушению клеточных мембран. При этом наблюдается проникновение или выход из клеток питательных веществ, которых в норме в организме не должно быть. Это приводит к нарушению жизнедеятельности всех клеток организма, выражаемому в их разрушении, преждевременном старении, связывании ферментов и снижении скорости передачи сигнала от рецепторов. Чрезмерная активность системы ПОЛ в печени может явиться причиной нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы, проявления воспалительных процессов и ослабления функциональной деятельности иммунной системы, прежде всего, антиоксидантной (антирадикальной) защиты (АОЗ) организма птицы. Это приводит к снижению пищевой и биологической ценности куриных яиц и птичьего мяса [5–8].

Для выправления указанной ситуации в организме сельскохозяйственной птицы следует усиливать функцию антиоксидантной системы, которая выступает в роли ингибирующего (тормозящего) фактора биохимических реакций ПОЛ. В этом ракурсе следует оптимизировать организацию питания молодняка и взрослой птицы. Прежде всего, следует более широко и рационально использовать в составе птичьих комбикормов препараты антиоксидантов, кото-

рые наиболее активно ингибируют процессы ПОЛ в организме [9–12].

На российском рынке кормовых биологически активных добавок ежегодно расширяется ассортимент препаратов антиоксидантов как природного (витамины С, Е и А, селен и др.), так и синтетического происхождения. При этом они отличаются высоким синергизмом действия, благодаря чему эффективнее ингибируются процессы ПОЛ, интенсифицируется промежуточный обмен и активируется система антирадикальной защиты организма птицы [13–17]. Однако установление более оптимальной дозировки и комбинации скармливания антиоксидантных препаратов может быть реализовано при проведении научно-производственных опытов на различных половозрастных группах сельскохозяйственной птицы.

Цель исследований – определить влияние антиоксидантов витамина С (природного происхождения) и Эритокс (синтетического происхождения) на морфологический и биохимический состав крови, а также на состояние антиоксидантной защиты организма кур-несушек.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились куры-несушки кросса «КОББ-500». Поэтому в ходе научно-производственного опыта, проведенного в условиях СПК «Дур-Дур» (РСО – Алания), из кур-молодок в возрасте 155 дней при переводе их в цех родительского стада по принципу групп-аналогов сформировали четыре группы по сто голов в каждой. Продолжительность данного эксперимента на курах-несушках составила 10 мес.

Схема кормления подопытной птицы в ходе научно-производственного опыта представлена в таблице.

Схема кормления птицы в ходе научно-хозяйственного опыта ($n = 100$)
Feeding scheme for poultry during a scientific and economic experiment ($n = 100$)

Группа	Полнораационный комбикорм (ПК)	Дозы внесения в ПК препаратов, г/т корма	
		Витамин С	Эритокс
1-я контрольная	ПК	–	–
2-я опытная	ПК	500,0	–
3-я опытная	ПК	–	125,0
4-я опытная	ПК	500,0	125,0

Дозы введения антиоксидантных препаратов в состав полнораационных комбикормов (ПК) были обусловлены рекомендациями отечественных фирм-производителей.

Содержание птицы в ходе эксперимента было напольным в типовых птичниках. Параметры микроклимата в помещении соответствовали требованиям Россельхознадзора.

Для гематологических исследований у пяти типичных голов кур-несушек из каждой группы при завершении научно-производственного эксперимента в ходе контрольного убоя отобрали образцы крови. По методикам, изложенным И.П. Кондрахиным и И.Д. Шпильманом [18], в указанных образцах крови изучали:

- морфологические показатели (количество гемоглобина, число эритроцитов и лейкоцитов);
- биохимические показатели (концентрация глюкозы, общих липидов, холестерина, общего белка, активность трансфераз – аспартатаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ), содержание кальция и фосфора).

При изучении антиоксидантной защиты организма в образцах сыворотки крови взрослых кур по методам, изложенным Л.М. Двинской, Л.И. Никифоровой [19], определили активность ферментов глутатионпероксидазы и глутатионредуктазы.

Статистическую обработку результатов исследований осуществляли с применением программы Microsoft Office Exce.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Антиоксиданты, оберегая мембраны клеток, в организме благоприятно воздействуют на кроветворную функцию сельскохозяйственной птицы. Поэтому изучали в составе образцов несвернувшейся крови у кур сравниваемых групп основные морфологические показатели.

Установлено, что в образцах крови у подопытного поголовья кур-несушек в ходе проведенного опыта по числу лейкоцитов статистически достоверной ($P < 0,95$) разницы не было.

Результаты исследований также показали, что из-за проявленного синергизма воздействия апробируемые антиоксиданты относительно аналогов контрольной группы обеспечили достоверно ($P > 0,95$) более высокое содержание в составе крови кур-несушек 4-й опытной группы числа эритроцитов на $0,55 \times 10^{12}/л$ и концентрации гемоглобина – на 4,62 г/л. Полученные результаты исследований основных морфологических показателей крови у птицы 4-й опытной группы свидетельствуют о стимулирующем воздействии при совместном скармливании препаратов витамина С и Эритокс на кроветворную функцию в организме.

Антиоксиданты, эффективно регулируя процессы перекисного окисления кормовых липидов, оказывают благоприятное воздействие на энергетический обмен в организме сельскохозяйственной птицы. С учетом изложенного, мы изучили влияние апробируемых антиоксидантов на наличие в сыворотке крови несушек сравниваемых групп массовой доли глюкозы (сахара), общих липидов и холестерина (рис. 1).

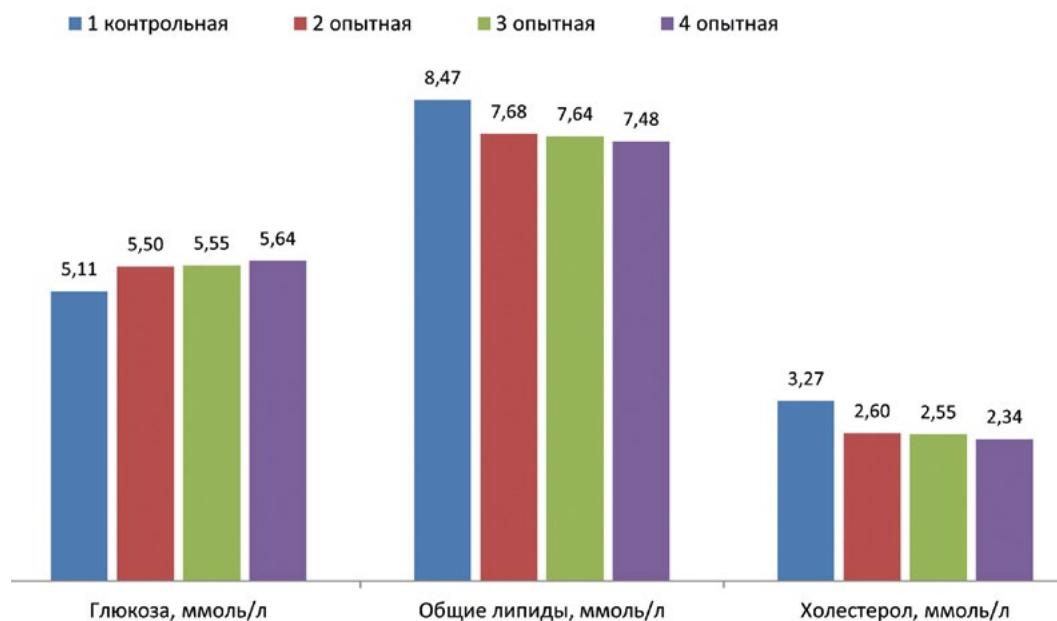


Рис. 1. Массовая доля в образцах крови кур сахара, общих липидов и холестерина
Mass fraction of sugar, total lipids and cholesterol in chicken blood samples

Установлено, что благодаря синергизму действия апробируемых антиоксидантов несушки 4-й опытной группы отличались лучшими особенностями углеводного и липидного метаболизма. Это у птицы данной группы по отношению к контрольным аналогам проявилось в достоверно ($P > 0,95$) более высоком содержании в крови глюкозы на 0,53 ммоль/л при параллельном снижении массовой доли общих липидов – на 0,59 ммоль/л ($P > 0,95$) и холестерина – на 0,93 ммоль/л

($P > 0,95$). Причиной этого считаем более благоприятное совместное воздействие антиоксидантов витамина С и Эритокс на процессы ПОЛ в организме кур 4-й опытной группы.

Параллельно с приведенными биохимическими показателями важно было изучить воздействие апробируемых кормовых антиоксидантов на белковый обмен и активность транспортных энзимов в крови подопытной птицы (рис. 2).

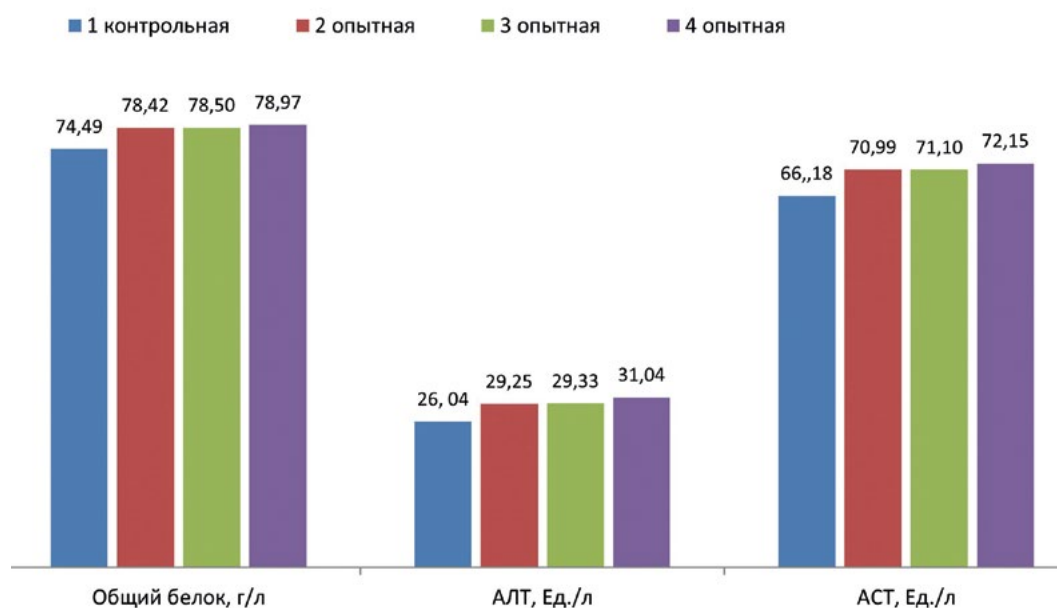


Рис. 2. Массовая доля общего белка и активность трансаминаз в крови несушек
Mass fraction of total protein and transaminase activity in the blood of laying hens

При совместном скормливании витамина С и Эритокс у несушек 4-й опытной группы интенсифицировался в крови белковый обмен и возросла активность транспортных энзимов, что против контроля проявилось в увеличении массовой доли общего белка на 4,48 г/л ($P > 0,95$), ферментативной активности АЛТ (аланинаминотрансферазы) – на 5,00 ед./л ($P > 0,95$) и АСТ (аспартатаминотрансферазы) – на 5,97 ед./л ($P > 0,95$).

Для увеличения яичной продуктивности у кур-несушек важное значение имеет процесс оптимизации кальций-фосфорного метаболизма, так как от усвояемости кальция кормов зависит толщина и прочность скорлупы яиц. Поэтому мы изучили концентрацию кальция и фосфора в сыворотке крови кур сравниваемых групп (рис. 3).

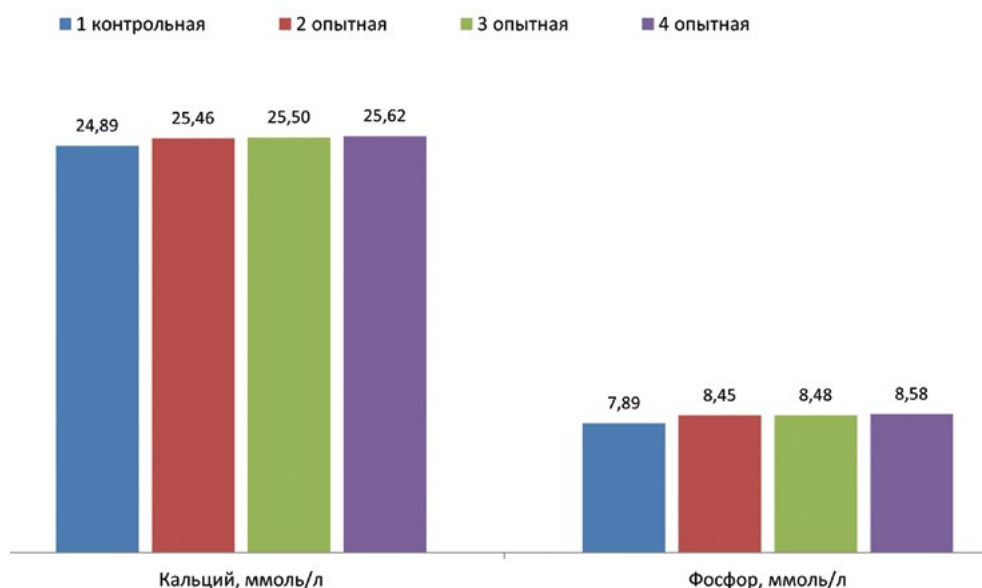


Рис. 3. Массовая доля кальция и фосфора в крови подопытной птицы
Mass fraction of calcium and phosphorus in the blood of experimental birds

Благодаря совместному скормливанию апробируемых антиоксидантов у кур 4-й опытной группы наблюдался лучший уровень минерального обмена, подтверждением чему является обогащение сыворотки их крови кальцием на 0,73 ммоль/л ($P > 0,95$) и фосфором – на 0,69 ммоль/л ($P > 0,95$).

Процессы ПОЛ – это биохимические реакции окислительной дегградации липидов под воздействием свободных кислородных радика-

лов. В связи с этим наши исследования были направлены на определение количественных характеристик в крови подопытной птицы продуктов ПОЛ, что крайне важно для установления роли окислительного стресса. В регуляции скорости протекания или ингибирования биохимических реакций ПОЛ непосредственное участие принимают ферменты глутатионпероксидаза и глутатионредуктазы (рис. 4).

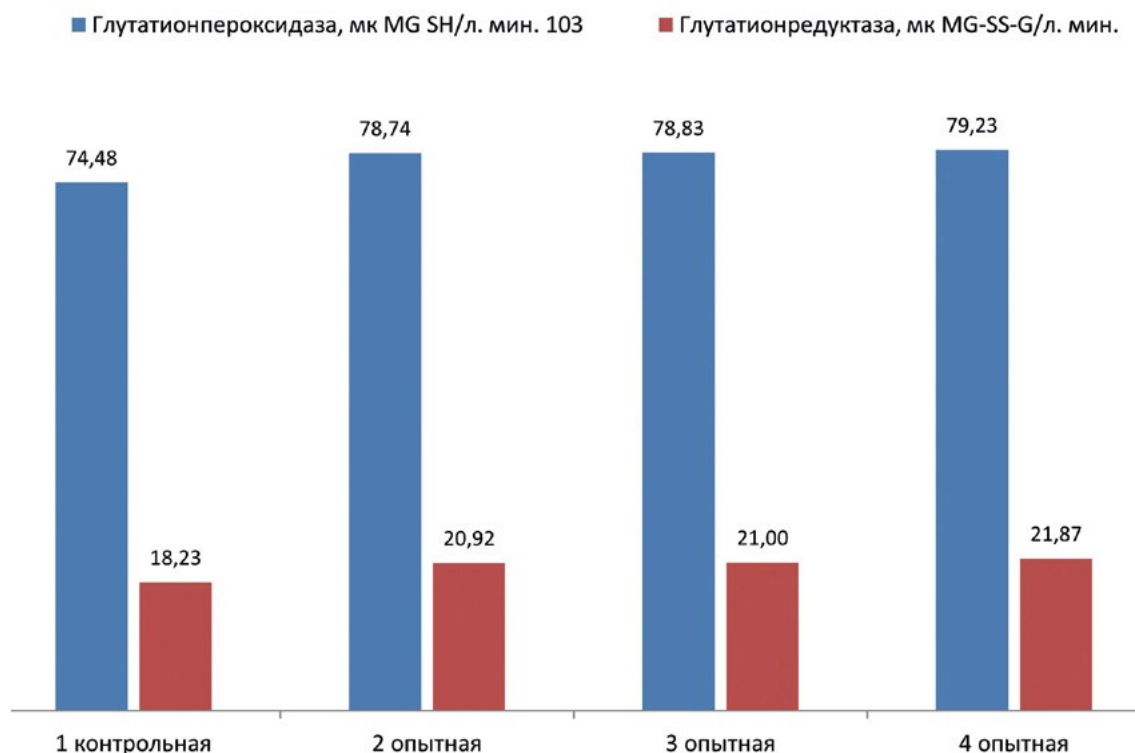


Рис. 4. Изучение активности глутатионпероксидазы (мк MG SH/л. мин. 103) и глутатионредуктазы (мк MG-SS-G/л.мин.) в крови подопытной птицы

Study of the activity of glutathione peroxidase (μ MG SH/l min. 103) and glutathione reductase (μ MG-SS-G/l min.) in the blood of experimental birds

Установлено, что совместное введение препаратов витамин С и Эритокс у несушек 4-й опытной группы относительно контрольных аналогов способствовало нарастанию в составе крови активности энзимов глутатионпероксидазы на 7,31 % ($P > 0,95$) и глутатионредуктазы – на 19,96 % ($P > 0,95$). Эти данные свидетельствуют об ингибировании процессов ПОЛ и интенсификации АОЗ организма кур-несушек 4-й опытной группы под воздействием синергизма между антиоксидантами витамином С и препаратом Эритокс.

ВЫВОДЫ

1. Совместное скормливание антиоксидантов витамина С из расчета 500,0 г/т и Эритокс из расчета 125,0 г/т комбикорма в составе рационов кур-несушек 4-й опытной группы способствовало улучшению кроветворной функции в организме, что относительно аналогов 1-й контрольной группы проявилось в увеличении в образцах несвернувшейся крови числа эритроцитов на $0,55 \times 10^{12}/л$ ($P > 0,95$) и концентрации гемоглобина – на 4,62 г/л ($P > 0,95$).

2. Благодаря синергизму действия апробированных антиоксидантов несушки 4-й опытной

группы отличались лучшими параметрами углеводного, белкового, липидного и минерального метаболизма. Это против контроля проявилось в достоверном ($P > 0,95$) увеличении в сыворотке крови массовой доли глюкозы на 0,53 ммоль/л, общего белка – на 4,48 г/л активности АЛТ (аланинаминотрансферазы) – на 5,00 ед./л и АСТ (аспартатаминотрансферазы) – на 5,97 ед./л, концентрации кальция – на 0,73 ммоль/л и фосфора – на 0,69 ммоль/л при параллельном снижении общих липидов – на 0,59 ммоль/л ($P > 0,95$) и холестерина – на 0,93 ммоль/л ($P > 0,95$).

3. Установлено, что совместное введение препаратов витамин С и Эритокс у несушек 4-й опытной группы относительно контрольных аналогов способствовало оптимизации процессов антиоксидантной защиты организма благодаря нарастанию в составе крови активности энзимов глутатионпероксидазы на 7,31 % ($P > 0,95$) и глутатионредуктазы – на 19,96 % ($P > 0,95$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние пробиотика и антиоксиданта на яичную продуктивность кур при риске афлатоксикоза / М.Н. Мамукаев, З.А. Гутиева, И.И. Кцоева [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – Издательство Горского ГАУ. – 2015. – Т. 52, Ч. 4 – С. 153–157.
2. Влияние биологически активных препаратов на процессы пищеварительного обмена сельскохозяйственной птицы / Ф.Н. Цогоева, И.И. Кцоева, М.Д. Карсанова // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 52, Ч. 2. – С. 77–81.
3. Использование природных антиоксидантов в кормлении цыплят-бройлеров / О.С. Кошчаева, А.А. Рядинская, К.В. Лавриненко, И.А. Кошчаев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 3 (68). – С. 235–244.
4. The use of chickpea flour in the minced meat products formula: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021) / A. Dzhaboeva, O. Byazrova, V. Tedtova [et al.] // E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. – 2021. – P. 01026.
5. Морфологический и биохимический состав крови перепелов при применении в питании пробиотика и витамина С / Д.О. Сенцова, Р.Б. Темираев, С.Г. Козырев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 55, № 4. – С. 115–120.
6. Сенцова Д.О., Темираев Р.Б. Влияние пробиотика и витамина С на пищеварительный обмен перепелов // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 4 (22). – С. 106–109.
7. Алексеева Н.М., Борисова П.П., Николаева Н.А. Биохимические показатели крови молодняка при скармливании кормовых добавок // Ветеринария и кормление. – 2019. – № 1. – С. 24–26.
8. Pellegrini N.R., Proteggente A. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay // Free radical biology and medicine. – 1999. – Vol. 26 (9–10). – P. 1231–1237. – DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3.
9. Andres A.I., Petron M.J., Delgado-Adamez J. Effect of Tomato Pomace Extracts on the Shelf-Life of Modified Atmosphere-Packaged Lamb // Meat. Journal of Food Processing and Preservation. – 2017. – Vol. 41. – P. e13018. – DOI: 10.1111/jfpp.13018.
10. Пуховая продуктивность и генотипические особенности по полиморфизму гена BLG и группам крови коз Горного Алтая / Г.М. Гончаренко, Т.Б. Каргачакова, Н.Б. Гришина, Т.С. Хорошилова, О.Л. Халина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3 (56). – С. 94–101.
11. Jing H., Kitts D. Antioxidant activity of sugar-lysine Maillard reaction products in cell free and cell culture systems // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2004. – Vol. 429 (2). – P. 154–163. – DOI: 10.1016/j.abb.2004.06.019.
12. Domínguez R., Pateiro M., Gagaoua M. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products // Antioxidants. – 2019. – Vol. 8 (10). – P. 429. – DOI: 10.3390/antiox8100429.
13. Повышение мясной продуктивности и биологической ценности мяса бройлеров / И.И. Кцоева, А.А. Баева, Г.С. Тукфатулин [и др.] // Мясная индустрия. – 2015. – № 12. – С. 44–45.
14. Переваримость и усвояемость питательных веществ кормов у бройлеров при добавках антиоксидантов / А.Г. Кошчаев, И.И. Кцоева, Л.А. Витюк [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 99. – С. 262–269.
15. Токсикологические исследования добавки кормовой эндофорс мульти на лабораторных животных / С.В. Малков, А.С. Красноперов, О.Ю. Опарина [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 220–228.
16. Физиологический статус лактирующих голштинских коров в условиях Сибири / К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Е.А. Борисенко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 4. – С. 118–124.
17. Осипова Н.А., Магер С.Н., Попов Ю.Г. Лабораторные исследования крови животных. – Новосибирск, – 2003. – 48 с.
18. Кондрахин И.П., Шпильман И.Д. Клиническая лабораторная диагностика в ветеринарии: Справ. изд. – М., 1985. – 287 с.
19. Двинская Л.М., Шубин А.А. Использование антиоксидантов в животноводстве. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 180 с.

REFERENCES

1. Mamukaev M.N., Gutieva Z.A., Ktsoeva I.I. [i dr.], *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, Vol. 52, No. 4, pp. 153–157. (In Russ.)
2. Tsogoeva F.N., Ktsoeva I.I., Karsanova M.D., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, Vol. 52, No. 2, pp. 77–81. (In Russ.)
3. Koshchaeva O.S., Ryadinskaya A.A., Lavrinenko K.V., Koshchaev I.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 3 (68), pp. 235–244. (In Russ.)

4. Dzhaboeva A., Byazrova O., Tedtova V., Baeva Z., Kokaeva M.B., The use of chickpea flour in the minced meat products formula: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021), *E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference*, 2021, pp. 01026.
5. Sentsova D.O., Temiraev R.B., Kozyrev S.G. [i dr.], *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, Vol. 55, No. 4, pp. 115–120. (In Russ.)
6. Sentsova D.O., Temiraev R.B., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2018, – № 4 (22), – P. 106-109. (In Russ.)
7. Alekseeva N.M., Borisova P.P., Nikolaeva N.A., *Veterinariya i kormlenie*, 2019, No. 1, pp. 24–26. (In Russ.)
8. Pellegrini N.R., Proteggente A., Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, *Free radical biology and medicine*, 1999, Vol. 26 (9–10), pp. 1231–1237, DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3.
9. Andres A.I., Petron M.J., Delgado-Adamez J., Effect of Tomato Pomace Extracts on the Shelf-Life of Modified Atmosphere-Packaged Lamb, *Meat. Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, Vol. 41, pp. e13018, DOI: 10.1111/jfpp.13018.
10. Goncharenko G.M., Kargachakova T.B., Grishina N.B., Khoroshilova T.S., Khalina O.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2020, No. 3 (56), pp. 94–101. (In Russ.)
11. Jing H., Kitts D., Antioxidant activity of sugar-lysine Maillard reaction products in cell free and cell culture systems, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2004, Vol. 429 (2), pp. 154–163, DOI: 10.1016/j.abb.2004.06.019.
12. Domínguez R., Pateiro M., Gagaoua M., A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products, *Antioxidants*, 2019, Vol. 8 (10), pp. 429, DOI: 10.3390/antiox8100429.
13. Ktsoeva I.I., Baeva A.A., Tukfatulin G.S., Tedtova V.V., Vityuk L.A., *Myasnaya industriya*, 2015, No. 12, pp. 44–45. (In Russ.)
14. Koshaev A.G., Ktsoeva I.I., Vityuk L.A. [i dr.], *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. 99, pp. 262–269. (In Russ.)
15. Malkov S.V., Krasnoperov A.S., Oparina O.Yu., Belousov A.I., Vershinina I.Yu., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 2 (67), pp. 220–228. (In Russ.)
16. Zhuchayev K.V., Kochneva M.L., Borisenko E.A. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2016, No. 4, pp. 118–124. (In Russ.)
17. Osipova N.A., Mager S.N., Popov Yu.G., *Laboratornye issledovaniya krovi zhivotnykh* (Laboratory studies of animal blood), Novosibirsk, 2003, 48 p.
18. Kondrakhin I.P., *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika v veterinarii* (Clinical laboratory diagnostics in veterinary medicine), Moscow, 1985, 287 p.
19. Dvinskaya L.M., Shubin A.A., *Ispol'zovanie antioksidantov v zhivotnovodstve* (Use of antioxidants in animal husbandry), Leningrad: Agropromizdat, 1986, 180 p.

Информация об авторах:

И.И. Ктсоева, кандидат биологических наук
 М.В. Розовенко, доктор ветеринарных наук
 Р.Б. Темираев, доктор сельскохозяйственных наук
 С.Г. Козырев, доктор биологических наук
 М.С. Газзаева, доктор сельскохозяйственных наук
 З.А. Кубатиева, кандидат экономических наук

Contribution of the authors:

I.I. Ktsoeva, Candidate of Biological Sciences
 M.V. Rozovenko, Doctor of Veterinary Sciences
 R.B. Temiraev, Doctor of Agricultural Sciences
 S.G. Kozyrev, Doctor of Biological Sciences
 M.S. Gazzaeva, Doctor of Agricultural Sciences
 Z.A. Kubatieva, Candidate of Economic Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПРИМЕНЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНО-ФОСФОЛИПИДНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

К.В. Лавриненко, И.А. Кощаев, Е.С. Сергеева, А.А. Рядинская, Н.Б. Ордина

ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ», п. Майский, Россия

E-mail: k.mezinova@yandex.ru

Для цитирования: Применение жирнокислотно-фосфолипидного комплекса при выращивании цыплят-бройлеров / К.В. Лавриненко, И.А. Кощаев, Е.С. Сергеева, А.А. Рядинская, Н.Б. Ордина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 228–238. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-228-238.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, лецитин, жирные кислоты, живая масса, сохранность.

Реферат. Фосфолипиды составляют структуру клеточных мембран и органелл, оказывая влияние на активацию клеточных ферментов. Они участвуют в межклеточном транспорте жиров, жирных кислот, холестерина и других веществ в липопротеинах крови. Эти соединения, являясь природными метаболитами, способствуют более эффективному использованию жира и препятствуют его излишнему накоплению в тканях. Фосфолипиды обладают эмульгирующими свойствами, особый интерес представляют лецитины, которые являются фосфатидами. Добавки на основе лецитина в кормлении птицы улучшают рост, снижают риск развития перозиса, благотворно влияют на формирование скелета и накопление витамина А в печени (лецитин проявляет синергетическое действие). Они также защищают сельскохозяйственную птицу от развития синдрома ожирения печени. Целью исследований являлось изучение действия жирнокислотно-фосфолипидного комплекса на основные зоотехнические показатели при выращивании цыплят-бройлеров. Частичная замена подсолнечного масла жирными кислотами в различные возрастные периоды на 0,69–1,48 % и фосфолипидами на 0,84–1,8 % (согласно схеме опыта) способствует повышению сохранности поголовья цыплят-бройлеров на 2,5 %. Включение в рационы бройлеров жирнокислотно-фосфолипидного комплекса целесообразно, что подтверждается повышением живой массы на 1,95–7,42 %; снижением конверсии на 0,01–0,02 кг/кг.; сохранением показателей сохранности на уровне 97,5–100 %; увеличением дохода от реализации цыплят на 4,57–7,42 %; получением прибыли на 52,60–104,98 % большей в сравнении с контролем; повышением уровня рентабельности на 1,01–2,19 %.

THE USE OF A FATTY ACID-PHOSPHOLIPID COMPLEX IN THE CULTIVATION OF BROILER CHICKENS

K.V. Lavrinenko, I.A. Koshchaev, E.S. Sergeeva, A.A. Ryadinskaya, N.B. Ordina

FGBOU VO "Belgorod GAU", p. Maysky, Russia

E-mail: k.mezinova@yandex.ru

Keywords: broiler chickens, feeding, lecithin, fatty acids, live weight, preservation.

Abstract. Phospholipids make up the structure of cell membranes and organelles, influencing the activation of cellular enzymes. They are involved in the intercellular transport of fats, fatty acids, cholesterol and other substances in blood lipoproteins. These compounds, being natural metabolites, contribute to more efficient use of fat and prevent its excessive accumulation in tissues. Phospholipids have emulsifying properties, of particular interest are lecithins, which are phosphatides. Lecithin-based supplements in poultry feeding improve growth, reduce the risk of perosis, have a beneficial effect on skeletal formation and accumulation of vitamin A in the liver (lecithin has a synergistic effect). They also protect farm poultry from the development of liver obesity syndrome. The aim of the research was to study the effect of the phospholipid-fatty acid complex on the main zootechnical indicators in the cultivation of broiler chickens. Partial replacement of sunflower oil with fatty acids at various age periods by 0.69–1.48 % and phospholipids by 0.84–1.8 % (according to the experimental scheme) contributes to an increase in the safety of broiler chickens by 2.5 %. The inclusion of a phospholipid-fatty acid complex in broiler diets is advisable, which is confirmed by an increase in live weight by 1.95–7.42%; a decrease in conversion by 0.01–0.02 kg/kg; preservation of safety indicators at the level of 97.5–100 %; an increase in income from the sale of chickens by 4.57–7.42 %; making a profit of 52.60–104.98 % more in comparison with the control; increasing the level of profitability by 1.01–2.19 %.

Мировое птицеводство является важным и активно развивающимся сектором сельского хозяйства, играющим ключевую роль в производстве пищевых продуктов [1]. Активная работа ученых и специалистов по разработке инновационных способов кормления направлена на получение конкурентоспособной продукции, соответствующей мировым стандартам [2, 3]. Роль птицеводства в этом процессе играет немаловажную роль, обеспечивая внутренний рынок высококачественными продуктами питания. Благодаря использованию высокопотенциальных бройлеров и ресурсосберегающих технологий, национальная потребность в животном белке удовлетворяется на 30 % [4]. Внедрение производства новых технологий создания кормов и систем кормления позволяет отечественной птицеводческой отрасли и дальше стремительно развиваться [5].

Энергетическая ценность рациона играет важную роль в процессе потребления корма у птиц мясного направления [6]. Липостатический контроль поедания корма у них выражен слабо, однако структура и функция желудочно-кишечного тракта у птиц функционально адаптированы для переваривания и усвоения преимущественно растительных кормов. Аппетит у птиц связан с голодом и сытостью, которые вызываются кормовым поведением [7].

Степень поедаемости кормосмесей птицей зависит от ее здоровья, активности, массы тела и температуры окружающей среды, которая определяется скоростью воздушного потока и влажностью в помещении [8]. Когда энергетическая ценность комбикорма снижается, птицы потребляют больше кормов, если их кишечник свободен от кормовых масс и других физиологических преград [9].

В мясном птицеводстве практически невозможно увеличить потребление кормов за счет уменьшения калорийности комбикормов. Гомеостатические механизмы потребления комбикормов у сельскохозяйственных птиц несовершенны [10]. От содержащихся в их составе комплексов жирных кислот напрямую зависит процесс всасывания продуктов липолиза. Эти комплексы, отделяясь от жировых молекул, способствуют улучшению всасывания [11].

В кормах содержится разнообразие липидов, включающих жир и другие жироподобные компоненты [12].

Липиды состоят из фосфатидов, стероидов, восков, смол, эфирных масел, пигментов и витаминов. Резервные и протоплазматические липиды,

образующие клеточные структуры, присутствуют во всех кормах в виде жиров. Характер липидов в кормах определяется природой жирных кислот, которые могут быть насыщенными или ненасыщенными. В состав липидов входят пальмитиновая и стеариновая кислоты, которые относятся к насыщенным жирным кислотам [13].

В настоящее время известно не менее 40 различных составов лецитина, куда входят очищенные синтетические фосфолипиды и масляные экстракты, полученные из натуральных природных источников. Условно составы можно классифицировать в зависимости от того, какие стадии процесса очистки они прошли. Природные лецитины после получения не подвергают обработке или модификации. Рафинированные лецитины производят путем технической очистки масла, полученного из семян и фракций спирторастворимых/нерастворимых фосфолипидов. Модифицированные лецитины получают путем химического изменения полярной группы фосфолипидов ацетилизацией, гидроксигированием и ферментативной модификацией [14].

Кроме того, существует множество различных видов лецитинов, отличающихся по качеству и количеству составных частей. Выделяют несколько основных товарных видов лецитинов: обезжиренные, фракционированные, псевдооживленные, осветленные, компаундированные, гидроксигированные. Кроме того, разработаны такие продукты, как ферментативно-модифицированный лецитин и фосфолипиды, полусинтетические фосфолипиды и ацетилизированные лецитины [15].

Производители кормовых добавок выпускают лецитин в обезжиренном виде – порошками, в стандартной – жидкой форме, а также гидролизированные лецитины, которые получили название лизолецитины.

Высшие жирные кислоты, глицерин, фосфорная кислота и холин известны как продукты ферментативного гидролиза. Холин входит в состав лецитина. Это важный кормовой компонент для нормального функционирования клеток. Фосфолипиды и другие продукты метаболизма лецитина обеспечивают целостность структур и основных функций клеточных мембран.

Олеиновая, линоленовая, линолевая и арахидоновая кислоты – это ненасыщенные жирные кислоты, которые присутствуют в растительных маслах как основные компоненты. Птицы, в отличие от людей, не могут синтезировать ненасыщенные жирные кислоты и должны получать их с рационом.

Синтез простагландинов и других веществ обеспечивается благодаря присутствию полиненасыщенных жирных кислот. Особое значение имеет кислота, формируемая из линолевой кислоты: арахидоновая. Поэтому содержание линолевой кислоты в рационах птиц необходимо тщательно контролировать [16].

Структурные составляющие лецитина (холин, фосфат и жирные кислоты) способствуют протеканию в печени метаболических процессов с участием липидов и углеводов.

При изготовлении комбикормов для сельскохозяйственных птиц жир добавляется в количестве 1,0–14 %. Согласно рекомендациям Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства (ВНИТИП), рекомендуемая норма введения жиров и масел в комбикорма для цыплят-бройлеров составляет 4–6 %. Это положительно влияет на продуктивность и использование питательных веществ. Обычно в кормах для птиц без добавок содержится около 3,0–4,0 % жира. Организм может создавать из углеводов жиры, но не в таком количестве, чтобы его системы нормально функционировали. Поэтому необходимо использовать жиры из комбикорма для компенсации дефицита липидов [17].

Дефицит лецитина, витамина В4 и метионина в комбикормах является одной из основных причин развития жировой инфильтрации печени у птиц. Это может привести к нарушению жирового обмена и возникновению авитаминозов, в результате чего работа печени нарушается. Переизбыток жира в корме может вызывать поносы и формирование нерастворимых соединений с минеральными веществами. Важно отметить, что липиды играют значительную роль в формировании иммунитета у птиц, начиная со структуры иммунокомпетентных клеток и заканчивая их взаимодействием с антигенами и друг с другом [18].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом данного исследования является жирнокислотно-фосфолипидный комплекс и экспериментальное поголовье бройлеров, а предмет исследования – влияние жирнокислотно-фосфолипидного комплекса на продуктивные качества и экономическую эффективность выращивания цыплят-бройлеров.

Изучение влияния жирнокислотно-фосфолипидного комплекса на основе растительного масла на продуктивность цыплят-бройлеров было проведено на бройлерах кросса «Ross-308» в условиях научно-производственной лаборатории УНИЦ «Агротехнопарк» Белгородского ГАУ.

Из партии цыплят одного вывода в суточном возрасте согласно схеме опыта было сформировано четыре группы по 40 голов в каждой. Опыт продолжался до 38 сут.

Условия содержания цыплят во всех группах были одинаковыми и соответствовали рекомендуемым нормативам для данного кросса и рекомендациям ВНИТИП.

Параметры микроклимата, плотность посадки, фронт кормления и поения были аналогичными для всех групп птицы и соответствовали нормативным показателям.

Птица получала рационы марки «Стартер», «Рост», «Финишер».

Корм «Старт» птица получала с момента постановки на опыт, 0-й (1-й) день. Далее птица получала корм «Рост» с 15 до 28 дня откорма. С 28-дневного возраста птицу плавно переводили на корм «Финиш» и скармливали данным видом корма до окончания опыта.

Кормления цыплят-бройлеров было во всех группах вволю, отличия заключались в замене подсолнечного масла жирнокислотно-фосфолипидным комплексом на основе растительного масла, представленного в табл. 1.

Таблица 1

Схема эксперимента ($n = 40$)
The scheme of the experiment ($n = 40$)

Группа	Старт (0–14)			Рост (15–28)			Финиш (29–38)		
	ПМ	ЖК	ФЛ	ПМ	ЖК	ФЛ	ПМ	ЖК	ФЛ
Контрольная	3,0	–	–	4,5	–	–	5,0	–	–
1-я опытная	1,905	0,495	0,6	2,8575	0,7425	0,9	3,54	0,66	0,8
2-я опытная	1,47	0,69	0,84	2,205	1,035	1,26	2,96	0,92	1,12
3-я опытная	0,81	0,99	1,2	1,215	1,485	1,8	2,08	1,32	1,6

Примечание. Содержание в рационе: ПМ – подсолнечное масло (нерафинированное недезодорированное), ЖК – жирные кислоты, ФЛ – фосфолипиды, %.

В учетный период определяли следующие показатели:

- учет раздачи корма (ежедневно);
- учет заболеваний/отхода/падежа (ежедневно);
- взвешивание в возрасте – 0-й (1-й) день, 14-й день, 28-й день, 38-й день;
- расчет конверсии корма, % отхода за период рассчитывается сразу после взвешивания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В течение экспериментального периода (с суточного до 38-суточного возраста) ежедневно проводили наблюдения за физиологическим состоянием птицы. С целью определения влияния применения жирнокислотно-фосфолипидного комплекса на основе растительного масла на резистентность организма птицы мы оценивали ее сохранность. На рис. 1 представлены результаты сохранности поголовья на 38 сут.

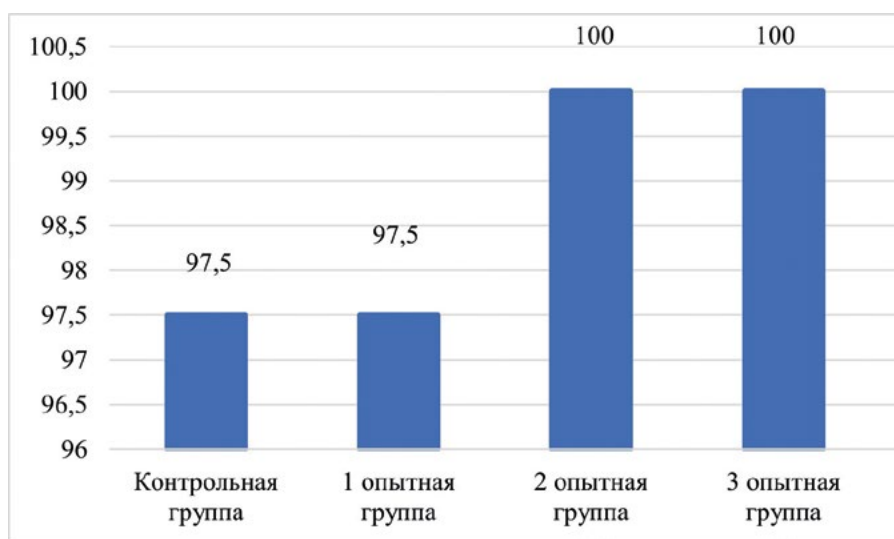


Рис. 1. Сохранность опытного поголовья цыплят-бройлеров на конец опытного периода, %
Safety of the experimental broiler chicken population at the end of the trial period, %

Анализ данных рис. 1 показывает, что сохранность поголовья на конец опытного периода в контрольной и 1-й опытной группах была одинакова и составила 97,5 %, что ниже в сравнении со 2-й и 3-й опытными группами на 2,5 %. Таким образом, можно отметить что частичная замена подсолнечного масла жирными кислотами в различные возрастные периоды на 0,69–1,48 %

и фосфолипидами на 0,84–1,8 % (согласно схеме опыта) способствует повышению сохранности поголовья цыплят-бройлеров.

В течение опытного периода осуществлялся контроль за живой массой поголовья. В табл. 2 представлены результаты контрольного взвешивания бройлеров при сменах рациона по периодам роста.

Таблица 2

Живая масса цыплят-бройлеров, кг Live weight of broiler chickens, kg

Группа	Группа			
Сутки	Контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
1	0,042±0,001			
14	0,506±0,012	0,545±0,010*	0,530±0,011	0,536±0,010
28	1,492±0,025	1,609±0,025**	1,511±0,034	1,599±0,027**
38	2,304±0,051	2,475±0,052*	2,349±0,054	2,409±0,055

*P ≥ 0,95; **P ≥ 0,99.

Анализ динамики роста цыплят выявил изменения роста цыплят в разные возрастные периоды. При практически равной живой массе в первые сутки и в 14-е сут, в 28-е сут цыплята 1-й и 3-й опытных групп имели более высокие показатели живой массы (см. табл. 2).

На 14-е сут показатель в опытных группах был выше показателя контроля соответственно на 0,039 кг (7,71 %, $P \geq 0,95$); 0,024 кг (4,74 %); 0,03 кг (5,93 %).

На 28-е сут тенденция сохранилась. Отмечено, что цыплята опытных групп имели большее значение живой массы в сравнении с контрольной группой соответственно на 0,117 кг (7,84 %, $P \geq 0,99$); 0,019 кг (1,27 %); 0,107 кг (7,17 %, $P \geq 0,99$).

В возрасте 38 сут. лучшие результаты зафиксированы в 1-й и 3-й опытных группах, рацион которых включал в себя жирнокислотно-фосфолипидный комплекс на основе растительного масла, согласно схеме проведения опыта. Так, показатель 1-й опытной группы был выше в сравнении с контролем на 0,171 кг (7,42 %, $P \geq 0,95$); показатель 2-й опытной группы был выше в сравнении с контролем на 0,045 кг (1,95 %); показатель 3-й опытной группы был выше в сравнении с контролем на 0,105 кг (4,56 %). Можем сделать вывод, что включение в рационы бройлеров жирнокис-

лотно-фосфолипидного комплекса целесообразно, что подтверждается повышением живой массы бройлеров в опытных группах.

Выращивание гибридных цыплят на мясо представляет собой процесс, который включает стадию от вывода из яиц до достижения возраста 6–7 недель. В конце этого периода, в зависимости от условий кормления и содержания, бройлеры достигают живой массы от 1,8 до 2,3 кг при низких расходах корма на каждый килограмм прироста (от 1,7 до 2,4 кг).

Один из основных технологических процессов в выращивании бройлеров – это непрерывное кормление цыплят высокопитательными сбалансированными кормосмесями в течение суток при свободном доступе к корму и воде.

Кормление цыплят-бройлеров регулируется по широкому спектру питательных веществ, биологически активных веществ и обменной энергии. Этот комплекс включает 40 показателей, рассчитанных на 100 г полноценного и полнорационного комбикорма, а также на каждую голову в день в зависимости от возраста и фазы роста птицы.

Проанализировав данные, представленные на рис. 2–4, можно сделать вывод, что наиболее эффективно использовала корм птица 1-й опытной группы.

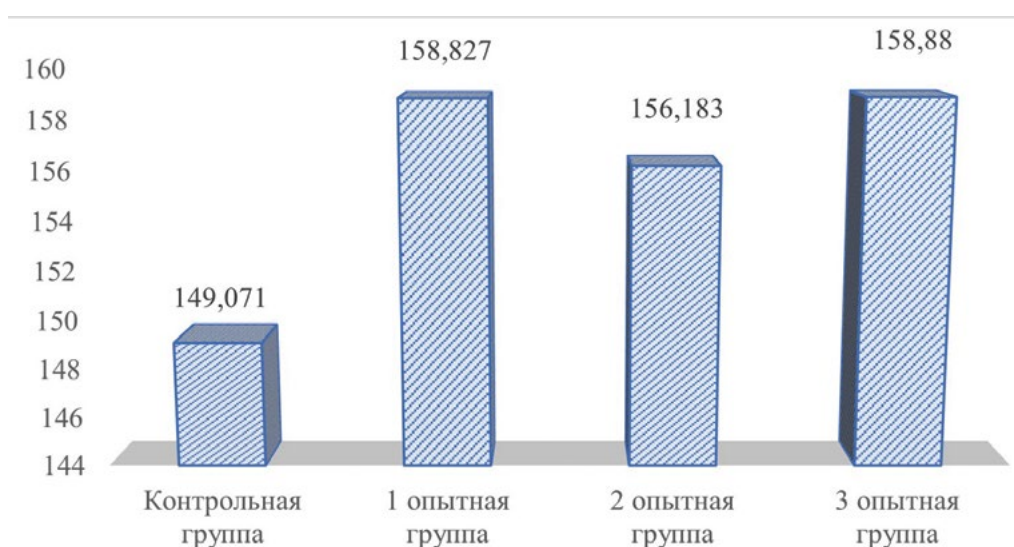


Рис. 2. Потребление корма цыплятами-бройлерами за опытный период, кг
Feed consumption by broiler chickens for the experimental period, kg

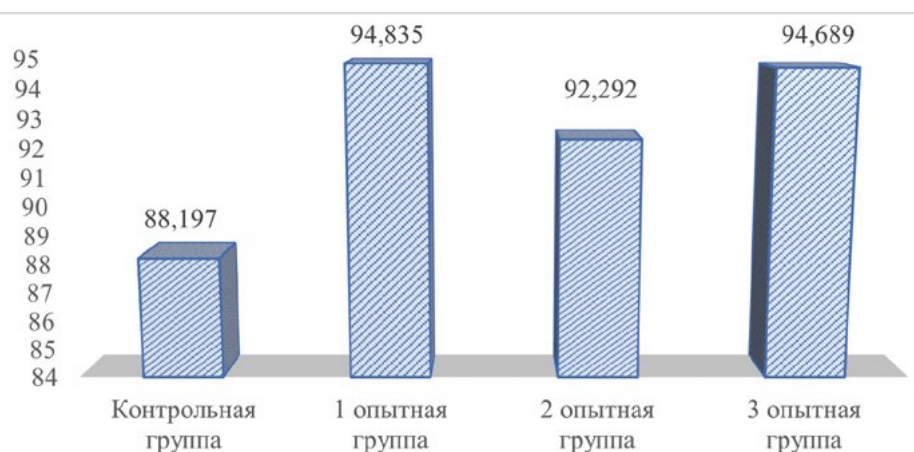


Рис. 3. Прирост группы, кг
Group gain, kg

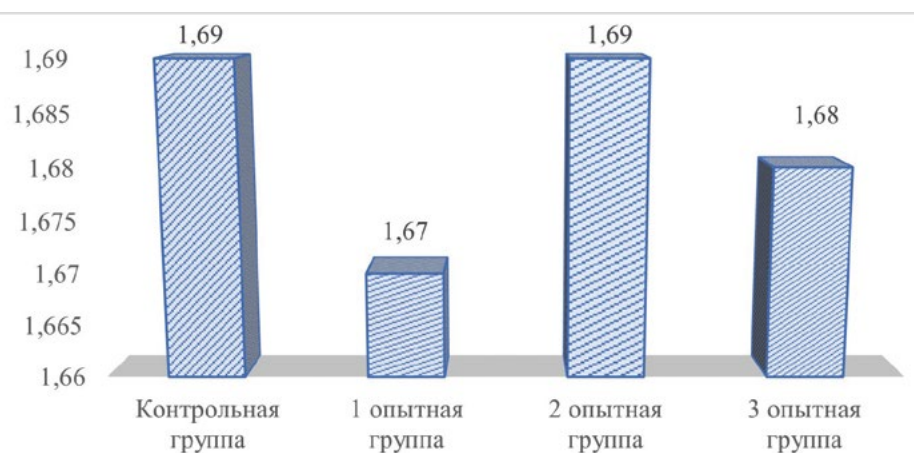


Рис. 4. Конверсия корма, кг/кг
Feed conversion, kg/kg

Цыплята-бройлеры опытных групп в целом за опытный период потребили большее количество корма в сравнении с контрольной группой соответственно на 9,756 кг (6,54 %); 7,112 кг (4,77 %); 9,809 кг (6,58 %). Большее количество потребленного корма отразилось на приросте, который также в опытных группах был выше в сравнении с контрольной соответственно на 6,638 кг (7,53 %); 4,095 кг (4,64 %); 6,492 кг (7,36 %). При

этом конверсия корма, кг/кг, в опытных группах снизилась в сравнении с контролем на 0,02 кг/кг – в 1-й опытной группе, показатель 2-й опытной группы был равен показателю контрольной, показатель 3-й опытной группы был ниже контроля на 0,01 кг/кг.

В табл. 3 представлен расчет стоимости кормов по периодам.

Таблица 3

Расчет стоимости кормов по периодам
Calculation of the cost of feed by period

Показатель	СТАРТ			РОСТ			ФИНИШ		
Контрольная группа									
	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ввод, %	97,000	3,000	0,000	95,500	4,500	0,000	95,000	5,000	0,000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стоимость ком- понентов, р./кг	37,000	76,000	100,00	35,000	76,000	100,00	33,500	76,000	100,00
Итого стоимость вводимого компо- нента, р./кг	35,89	2,28	0	33,425	3,42	0	31,825	3,8	0
Итого стоимость рациона, р./кг	38,17			36,85			35,63		
1-я опытная группа									
Компоненты	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л
Ввод, %	97,000	1,905	1,095	95,500	2,856	1,644	95,000	3,540	1,460
Стоимость ком- понентов, р./кг	37,000	76,000	100,00	35,000	76,000	100,00	33,500	76,000	100,00
Итого стоимость вводимого компо- нента, р./кг	35,89	1,448	1,095	33,425	2,170	1,644	31,825	2,690	1,46
Итого стоимость рациона, р./кг	38,43			37,24			35,98		
2-я опытная опытная									
Компоненты	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л
Ввод, %	97,000	1,470	1,530	95,500	2,205	2,295	95,000	2,960	2,040
Стоимость ком- понентов, р./кг	37,000	76,000	100,00	35,000	76,000	100,00	33,500	76,000	100,00
Итого стоимость вводимого компо- нента, р./кг	35,89	1,1172	1,53	33,425	1,6758	2,295	31,825	2,2496	2,04
Итого стоимость рациона, р./кг	38,54			37,40			36,11		
3-я опытная группа									
Компоненты	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л	ПК	ПМ	Л
Ввод, %	97,000	0,810	2,190	95,500	1,215	3,285	95,000	2,080	2,920
Стоимость ком- понентов, р./кг	37,000	76,000	100,00	35,000	76,000	100,00	33,500	76,000	100,00
Итого стоимость вводимого компо- нента, р./кг	35,89	0,6156	2,19	33,425	0,9234	3,285	31,825	1,5808	2,92
Итого стоимость рациона, р./кг	38,70			37,63			36,33		

Примечание. ПК – гранулированный комбикорм без подсолнечного масла; ПМ – подсолнечное мало (холодный отжим, 1-й сорт); Л – лецитин.

Анализ данных табл. 3 показывает, что стоимость рационов, р./кг, напрямую связана со стоимостью вводимых компонентов, в частности подсолнечного масла (76,000 р./кг) и лецитина (100,000 р./кг). Стоимость приведена согласно данным отраслевого портала для участников рынка комбикормов и кормовых добавок, а также представителей отраслевых секторов SoyaNews по ЦФО (Белгородская область).

Так, стоимость стартового рациона 1-й опытной группы была выше в сравнении с контрольной на 0,26 р./кг (0,68 %), 2-й опытной – на

0,37 р./кг (0,97 %), 3-й опытной – на 0,53 р./кг (1,39 %) соответственно, поскольку ввод лецитина составил по опытным группам 1,095, 1,530 и 2190 %.

Стоимость рациона «Рост», где ввод лецитина составил в опытных группах 1,644, 2,295, 3,285 %, была выше в сравнении с контролем соответственно на 0,39 р./кг (1,06 %), 0,55 р./кг (1,49 %), 0,78 р./кг (2,12 %).

Финишный рацион был дороже в опытных группах по отношению к контрольной группе – в 1-й опытной на 0,35 р./кг (0,98 %); во 2-й опытной

на 0,48 р./кг (1,35 %); в 3-й опытной на 0,70 р./кг (1,96 %), – поскольку ввод лецитина составил по опытным группам 1,460, 2,040, 2,920 % соответственно.

В табл. 4 представлены данные по экономической эффективности выращивания цыплят-бройлеров за опытный период.

Таблица 4

Экономические показатели выращивания бройлеров
Economic indicators of broiler farming

<i>Исходная информация</i>				
Поголовье при посадке, гол.	40	40	40	40
Поголовье на финише, гол.	39	39	40	40
Живая масса 1 гол. в 38 день, кг	2,304	2,475	2,349	2,409
<i>Доходы</i>				
Получено живой массы, кг.	89,856	96,525	93,960	96,360
Стоимость 1 кг живой массы, р./кг.	130	130	130	130
Доход, тыс. р.	11681,3	12548,3	12214,8	12526,8
<i>Расходы</i>				
Суточный цыпленок (45 руб/гол.), тыс. р.	1800,00	1800,00	1800,00	1800,00
Съедено кормов, СТАРТ, кг	24,676	25,917	25,158	25,169
Стоимость, р./кг	38,17	38,43	38,54	38,7
Съедено кормов, Рост, кг	50,590	61,400	58,675	62,900
Стоимость, р./кг	36,85	37,24	37,4	37,63
Съедено кормов, ФИНИШ, кг	67,005	69,51	65,35	70,455
Стоимость, р./кг	35,63	35,98	36,11	36,33
ИТОГО затраты на корма, р.	5193,51	5783,50	5523,82	5900,60
в том числе затраты на лецитин, р.	–	55,01	72,95	111,72
Вакцинация (1,60 руб. гол), тыс. р.	64,00	64,00	64,00	64,00
Затраты труда, чел.-ч.	13,00	13,00	13,00	13,00
Стоимость часа с отчислениями, р.	260,000	260,000	260,000	260,000
Трудозатраты, р.	3380,00	3380,00	3380,00	3380,00
Коммунальные платежи (24,50 р./гол.), р.	980,000	980,000	980,000	980,000
ИТОГО ЗАТРАТЫ, р.	11417,51	12007,50	11747,82	12124,60
Прибыль (убыток), р.	263,80	540,75	466,98	402,20
Уровень рентабельности, %	2,31	4,50	3,98	3,32
ROI (Return On Investment – возврат инвестиций), %		5,0	2,8	1,2

Анализ данных табл. 4 показывает, что в целом за опытный период в контрольной группе было получено 89,856 кг живой массы, что меньше в сравнении с 1-й опытной группой на 6,669 кг (7,42 %), 2-й опытной группой на 4,104 кг (4,57 %), 3-й опытной группой на 6,504 кг (7,24 %).

При стоимости 1 кг живой массы 130 р., доход от реализации составил в контрольной группе – 11681,3 р., в 1-й опытной группе – 12548,3 р., что выше в сравнении с контролем на 867 р. (7,42 %),

во 2-й опытной группе – 12214,8 р., что выше в сравнении с контролем на 533,5 р. (4,57 %), в 3-й опытной группе – 12526,8 р., что выше в сравнении с контролем на 845,5 р. (7,24 %).

Затраты на корма в контрольной группе составили 513,51 р. В 1-й опытной этот показатель составил 5783,50 руб., что выше в сравнении с контролем 589,99 р. (11,36 %). Во 2-й опытной группе затраты на корма составили 5523,82 р., что выше в сравнении с контролем 330,31 р. (6,36 %). В 3-й опытной группе этот показатель

был 5900,60 р., что выше в сравнении с контролем 707,09 р. (13,6 %).

В целом затраты на выращивание цыплят-бройлеров в контрольной группе составили 11417,51 р., что ниже в сравнении с 1-й, 2-й и 3-й опытными группами соответственно на 589,99 р. (5,17 %); 330,31 р. (2,89 %); 707,09 р. (6,19 %).

Прибыль в 1-й опытной группе составила 540,75 р., что выше в сравнении с контролем (263,80 р.) на 276,95 р. (104,98 %). Во 2-й опытной группе этот показатель составил 466,98 р., что выше в сравнении с контролем на 203,18 р. (77,02 %). Прибыль в 3-й опытной группе составила 402,20 р., что выше в сравнении с контролем (263,80 р.) на 138,40 р. (52,60 %).

Уровень рентабельности в контрольной группе составил 2,31 %. В опытных группах этот показатель был выше в сравнении с контролем соответственно на 2,19, 1,67, 1,01 %.

ROI (Return On Investment – возврат инвестиций) в 1-й опытной группе составил 5 %, во

2-й опытной группе – 2,8 %, в 3-й опытной группе – 1,2 %.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что введение в рационы цыплят-бройлеров жирнокислотно-фосфолипидного комплекса на основе растительного масла способствует:

- повышению живой массы на 1,95–7,42 %;
- снижению конверсии на 0,01–0,02 кг/кг;
- сохранению показателей сохранности на уровне 97,5–100 %;
- увеличению дохода от реализации цыплят на 4,57–7,42 %;
- прибыли на 52,60–104,98 %;
- уровня рентабельности на 1,01–2,19 %;
- возврата инвестиций в опытных группах был на уровне 1,2–5,0 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коцаев И.А. Эффективность скормливания сухого свекловичного жома цыплятам-бройлерам // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2015. – № 3. – С. 38–46.
2. Коцаев И.А., Лавриненко К.В., Рядинская А.А. Влияние органических кислот и их солей на рост петушков-бройлеров кросса «Ross-308» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 (56). – С. 173–180.
3. Эффективность включения подкислителей и бутиратов в рацион сельскохозяйственной птицы / К.В. Лавриненко, А.А. Рядинская, И.А. Коцаев [и др.]. – ООО «Издательские решения», 2022. – 152 с.
4. Буяров В.С., Ляшук А.Р., Буяров А.В. Влияние зоотехнических и экономических факторов на эффективность производства продукции животноводства и птицеводства. – Орел: Орловский гос. аграр. ун-т им. Н.В. Парахина, 2023. – 234 с.
5. Пономаренко Ю.А., Фисинин В.И., Егоров И.А. Комбикорма, корма, кормовые добавки, биологически активные вещества, рационы, качество, безопасность / Российская академия наук. – Минск; М.: Белстан, 2020. – 764 с.
6. Коцаев И.А., Лавриненко К.В. Использование протеолитических ферментов в кормлении цыплят-бройлеров // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: Сб. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф, Курск, 13–15 июля 2022 г. – Курск, 2022. – С. 529–532.
7. Калоев Б.С. Биологически активные вещества и конверсия корма в продукцию // Перспективы развития АПК в современных условиях: мат-лы 10-й междунар. науч.-практ. конф., Владикавказ, 10–11 июня 2021 г., Т. 1. – Владикавказ: Горский гос. аграр. ун-т, 2021. – С. 150–152.
8. Влияние низкопротеиновых рационов с включением пробиотического препарата на показатели продуктивности цыплят-бройлеров / И.А. Коцаев, А.А. Зайцев, К.В. Лавриненко, П.И. Медведева // Инновации в развитии животноводства, современные технологии производства продуктов питания и проблемы экологической, производственной и гигиенической безопасности здоровья: мат-лы междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч., пос. Персиановский, 27 мая 2022 г. Том 1. – пос. Персиановский: ФГБОУ Донской государственный аграрный университет, 2022. – С. 40–45.
9. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» при введении в рационы органических кислот и их солей / И.А. Коцаев, К.В. Лавриненко, А.А. Рядинская [и др.] // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2021. – № 4 (22). – С. 113–124.
10. Наставления по использованию нетрадиционных кормов в рационах птицы / И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова, В.А. Манукян [и др.]; Всерос. науч.-исслед. и технолог. ин-т птицеводства. – 2-е изд., перераб. и доп. – Сергиев Посад: ВНИТИП, 2016. – 59 с.
11. Егоров И., Егорова Т., Криворучко Л. Подсолнечное, льняное и рыжиковое масла в комбикормах для цыплят-бройлеров // Комбикорма. – 2020. – № 10. – С. 44–48. – DOI: 10.25741/2413-287X-2020-10-3-121.

12. Сизова Е.А., Рязанцева К.В. Жиры и эмульгаторы в кормлении цыплят-бройлеров (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – № 57 (4). – С. 664–680.
13. Каиров А.В. Эффективность использования фосфолипида лецитин и антиоксиданта эпофен в рационах цыплят-бройлеров: дис. ... канд. с.-х. наук. – 2020. – 132 с.
14. Калоев Б.С., Ибрагимов М.О. Ферментные препараты и лецитин в кормлении цыплят-бройлеров // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57, № 1. – С. 45–50.
15. Манукян В.А., Айдинян Г.Т. Совместное использование L-карнитина и лецитина в комбикормах для цыплят-бройлеров // Птица и птицепродукты. – 2013. – № 4. – С. 49–51.
16. Скворцова Л.Н., Свистунов А.А., Полежаева О.А. Влияние функциональных кормовых добавок на качественные показатели мяса цыплят-бройлеров // Современные технологии сельскохозяйственного производства и приоритетные направления развития аграрной науки: Мат-лы междунар. науч.-практ. конф.: в 4-х т., пос. Персиановский, 4–7 февраля 2014 г. Т. I. – пос. Персиановский: ФГБОУ ВО Донской государственный аграрный университет, 2014. – С. 201–204.
17. Манукян В., Айдинян Г. Лецитин и L-карнитин в рационах цыплят-бройлеров // Животноводство России. – 2016. – № S1. – С. 37–38.
18. Буяров В.С., Червонова И.В., Буяров А.В. Эффективность современных технологий производства продукции животноводства и птицеводства. – Орёл: Орловский гос. агр. ун-т им. Н.В. Парахина, 2023. – 200 с.

REFERENCES

1. Koshchaev I.A., *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*, 2015, No. 3, pp. 38–46. (In Russ.)
2. Koshchaev I.A., Lavrinenko K.V., Ryadinskaya A.A., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2021, No. 4 (56), pp. 173–180. (In Russ.)
3. Lavrinenko K.V., Ryadinskaya A.A., Koshchaev I.A. [i dr.], *Effektivnost' vklyucheniya podkislitelei i butiratov v ratsion sel'skokhozyaistvennoi ptitsy* (Efficiency of inclusion of acidifiers and butyrates in the diet of agricultural poultry), ООО «Izdatel'skie resheniya», 2022, 152 p.
4. Buyarov V.S., Lyashuk A.R., Buyarov A.V., *Vliyaniye zootekhnicheskikh i ekonomicheskikh faktorov na effektivnost' proizvodstva produktov zhivotnovodstva i ptitsevodstva* (The influence of zootechnical and economic factors on the efficiency of livestock and poultry production), Orel: Orlovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni N.V. Parakhina, 2023, 234 p.
5. Ponomarenko Yu.A., Fisinin V.I., Egorov I.A., *Kombikorma, korma, kormovye dobavki, biologicheski aktivnye veshchestva, ratsiony, kachestvo, bezopasnost'* (Compound feed, feed, feed additives, biologically active substances, rations, quality, safety), Rossiiskaya akademiya nauk, Minsk; Moscow: Belstan, 2020, 764 p.
6. Koshchaev I.A., Lavrinenko K.V., *Problemy i perspektivy nauchno-innovatsionnogo obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa regionov* (Problems and prospects of scientific and innovative support for the agro-industrial complex of the regions), Proceedings of the Conference Title, Kursk: Kurskii federal'nyi agrarnyi nauchnyi tsentr, 2022, pp. 529–532. (In Russ.)
7. Kaloev B.S., *Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh* (Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions), Proceedings of the Conference Title, Vladikavkaz: Gorskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2021, pp. 150–152. (In Russ.)
8. Koshchaev I.A., Zaitsev A.A., Lavrinenko K.V., Medvedeva P.I., *Innovatsii v razvitii zhivotnovodstva, sovremennye tekhnologii proizvodstva produktov pitaniya i problemy ekologicheskoi, proizvodstvennoi i gigienicheskoi bezopasnosti zdorov'ya* (Innovations in the development of animal husbandry, modern technologies for food production and problems of environmental, industrial and hygienic health safety), Proceedings of the Conference Title, pos. Persianskii: Donskoi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2022, pp. 40–45. (In Russ.)
9. Koshchaev I.A., Lavrinenko K.V., Ryadinskaya A.A. [i dr.], *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaistvennoi biologii*, 2021, No. 4 (22), pp. 113–124. (In Russ.)
10. Egorov I.A., Lenkova T.N., Manukyan V.A. [i dr.], *Nastavleniya po ispol'zovaniyu netraditsionnykh kormov v ratsionakh* (Guidelines for the use of non-traditional feeds in poultry diets), Sergiev Posad: VNITIP, 2016, 59 p.
11. Egorov I., Egorova T., Krivoruchko L., *Kombikorma*, 2020, No. 10, pp. 44–48, DOI: 10.25741/2413-287X-2020-10-3-121. (In Russ.)
12. Sizova E.A., Ryazantseva K.V., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2022, No. 57 (4), pp. 664–680. (In Russ.)
13. Kairov A.V., *Effektivnost' ispol'zovaniya fosfolipida letsitin i antioksidanta epofen v ratsionakh tsyplyat-broilerov* (Efficiency of using phospholipid lecithin and antioxidant epofen in diets of broiler chickens), Candidate of Science Dissertation 2020, 132 p.
14. Kaloev B.S., Ibragimov M.O., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, T. 57, No. 1, pp. 45–50. (In Russ.)

15. Manukyan V.A., Aidinyan G.T., *Ptitsa i ptitseprodukty*, 2013, No. 4, pp. 49–51. (In Russ.)
16. Skvortsova L.N., Svistunov A.A., Polezhaeva O.A., *Sovremennye tekhnologii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva i prioritetye napravleniya razvitiya agrarnoi nauki* (Modern technologies of agricultural production and priority directions of development of agricultural science), pos. Persianovskii: Donskoi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2014, pp. 201–204. (In Russ.)
17. Manukyan V., Aidinyan G., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2016, No. S1, pp. 37–38. (In Russ.)
18. Buyarov V.S., Chervonova I.V., Buyarov A.V., *Effektivnost' sovremennykh tekhnologii proizvodstva produktsii zhi-votnovodstva i ptitsevodstva* (Efficiency of modern technologies for the production of livestock and poultry products), Orel: Orlovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni N.V. Parakhina, 2023, 200 p.

Информация об авторах:

К.В. Лавриненко, преподаватель кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции

И.А. Кощаев, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции

Е.С. Сергеева, магистрант кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции

А.А. Рядинская, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции

Н.Б. Ордина, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции

Contribution of the authors:

K.V. Lavrinenko, lecturer of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural products

I.A. Koshchaev, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural products

E.S. Sergeeva, Undergraduate student of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural products

A.A. Ryadinskaya, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural products

N.B. Ordina, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural products

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ДУШИЦЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И САБЕЛЬНИКА БОЛОТНОГО НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ТКАНЕЙ ПЕЧЕНИ МЫШЕЙ ПРИ ОСТРОМ СТРЕССЕ

¹П.Н. Мирошников, ²А.В. Сахаров, ²В.И. Лошенко, ¹К.В. Жучаев, ¹М.Л. Кочнева, ¹Н.Н. Кочнев

¹ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

E-mail: petmir95@mail.ru

Для цитирования: Влияние экстрактов душицы обыкновенной и сабельника болотного на морфофункциональное состояние тканей печени мышей при остром стрессе / П.Н. Мирошников, А.В. Сахаров, В.И. Лошенко, К.В. Жучаев, М.Л. Кочнева, Н.Н. Кочнев // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 239–249. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-239-249.

Ключевые слова: лабораторные мыши, лекарственные растения, фитопрепараты, стресс, гепатоциты, антигенная нагрузка, гидропическая дистрофия.

Реферат. Целью исследования было изучить влияние экстрактов лекарственных растений душицы обыкновенной (ДО) и сабельника болотного (СБ) на морфофункциональное состояние тканей печени мышей на модели острого стресса. Объектом исследования являлись 60 разнополых лабораторных мышей линии CD-1. Всего было сформировано шесть экспериментальных групп, по 10 особей в каждой: 1-я – контрольная группа со стандартным рационом (СР); 2-я – СР + 20 мл/кг живой массы ежедневно экстракта СБ; 3-я – СР + 20 мл/кг экстракта ДО; 4-я – СР + воздействие стресса; 5-я – СР + воздействие стресса + 20 мл/кг экстракта СБ; 6-я – СР + воздействие стресса + 20 мл/кг экстракта ДО. Результаты исследования показали, что действие биологически активных веществ в составе экстрактов СБ и ДО может являться фактором слабой антигенной нагрузки, опосредованно повышающим функциональную активность клеток печени. Специфические морфофизиологические изменения в печени животных с моделью индуцированного стресса дают основание предполагать наличие свободнорадикального механизма повреждения клеток данного органа. В образцах печени животных с моделью стресса и введением в организм экстракта СБ был обнаружен более низкий уровень повреждения гепатоцитов в сравнении с аналогичными образцами животных с моделью стресса и стандартным рационом. Уровень повреждения клеток паренхимы печени у них был ограничен обратимым процессом: гидропической дистрофией гепатоцитов. При сочетании процессов моделирования стресса и применения экстракта ДО действующие вещества экстракта прямо или опосредованно снизили уровень повреждения структурных компонентов клетки. В целом полученные результаты позволяют сделать вывод о наличии у экстрактов СБ и ДО адаптогенных свойств и перспективности их дальнейшего изучения как самостоятельных, так и комплексных фитопрепаратов.

EFFECT OF OREGANO AND MARSH CINQUEFOIL EXTRACTS ON THE MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTIC OF MICE LIVER TISSUES UNDER ACUTE STRESS

P.N. Miroshnikov, A.V. Saharov, V.I. Loshenko, K.V. Zhuchaev, M.L. Kochneva, N.N. Kochnev

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

E-mail: petmir95@mail.ru

Keywords: laboratory mice, medicinal plants, herbal drugs, stress, hepatocytes, antigen load, hydropic dystrophy.

Abstract. The aim of the study was to investigate the effect of extracts of medicinal plants oregano (O) and marsh cinquefoil (MC) on the morphofunctional state of liver tissue in mice using the acute stress model. The object of the study was 60 laboratory mice of different sexes of the CD-1 line. A total of 6 experimental groups were formed, with 10 individuals in each: 1 - control group with a standard diet (SD); 2 - SD + 20 ml / kg live weight daily MC extract; 3 - SD + 20 ml / kg O extract; 4 - SD + stress exposure; 5 - SD + stress exposure + 20 ml / kg MC extract; 6 - SD + stress exposure + 20 ml / kg O extract. The results of the study showed that the action of biologically active substances in the MC and O extracts can be factors of low antigen load, indirectly increasing

the functional activity of liver cells. Specific morphophysiological changes in the liver of animals with the induced stress model give grounds to believe in the presence of a free radical mechanism of damage to the cells of this organ. In the liver samples of animals with the stress model and the introduction of the MC extract into the body, a lower level of damage to hepatocytes was found in comparison with similar samples of animals with the stress model and a standard diet. The level of damage to the liver parenchyma cells in them was limited by a reversible process - hydropic dystrophy of hepatocytes. When combining the processes of stress modeling and the implementation of the O extract, the active substances of the extract directly or indirectly reduced the level of damage to the structural components of the cell. In general, the obtained results allow us to conclude that the MC and O extracts have adaptogenic properties and are promising for further study as independent and complex herbal drugs.

Под термином «стресс» понимают неспецифический комплекс реакций, возникающих на уровне организма в ответ на внешние воздействия, включающих активацию неспецифических защитных систем [1]. С одной стороны, стресс-реакции являются приспособительными эволюционными механизмами, обеспечивающими выживание организма в экстремальных условиях, с другой стороны, острое или хроническое воздействие стресса оказывает деструктивное влияние на функциональные системы организма [2]. Длительное воздействие неблагоприятных факторов внешней среды на организм животных приводит к развитию стресса, усилению катаболических процессов в организме, дезадаптации и повреждению [3].

В условиях стресса в организме животного запускается комплекс механизмов регуляции: повышение активности системы антиоксидантной защиты, интенсификация транспорта веществ, усиленная работа органов выделительной системы [4]. Дополнительная нагрузка на органы, обеспечивающие поддержание гомеостаза, способна привести к различным нарушениям в их работе. Наиболее значимые изменения могут быть обнаружены в печени, так как данный орган участвует в процессах обмена биологически активных веществ, включая гормоны [5]. Превышение уровня свободнорадикальных процессов и депрессия системы антиоксидантной защиты могут привести к нарушению обмена углеводов и липидов в печени, развитию жировой дистрофии гепатоцитов печени и стеатоза [6].

Согласно литературным данным [7, 8], препараты на основе лекарственных растений, относящиеся к группе адаптогенов, способны оказывать позитивное воздействие на животных со стресс-индуцированными нарушениями. В опубликованных исследованиях [9–11] приводятся доказательства восстановления структурных изменений в печени при применении некоторых фитопрепаратов. Эффективность их применения объясняется наличием в составе многих лекарственных растений природных антиоксидан-

тов, обладающих способностью к инаktivации свободнорадикальных процессов [12]. Самыми значительными антиоксидантными свойствами обладают растения с высоким содержанием полифенольных соединений [13].

Согласно ранее проведенному исследованию [14], высоким содержанием полифенольных соединений обладает душица обыкновенная (лат. *Origanum vulgare* L.), травянистое растение из семейства яснотковых (лат. *Lamiaceae*) и сабельник болотный (лат. *Comarum palustre* L.) из семейства розановых (лат. *Rosoideae*), широко применяемые как в народной медицине, так и в составе биологически активных добавок. Проведенное нами исследование [15] позволило выявить значительные антиоксидантные свойства у экстрактов данных растений. Однако несмотря на имеющиеся данные об эффективности экстрактов, в открытых источниках авторами не было обнаружено результатов комплексных исследований по влиянию фитопрепаратов на основе данных растений на морфофункциональную характеристику внутренних органов животных в условиях моделирования острого стресса.

Цель настоящего исследования – изучение влияния экстрактов душицы обыкновенной и сабельника болотного на морфофункциональное состояние тканей печени мышей при остром стрессе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экстракты душицы обыкновенной (ДО) и сабельника болотного (СБ) были изготовлены в физико-химической лаборатории испытательного лабораторного комплекса Новосибирского государственного аграрного университета. Наземные части ДО и корневища СБ были собраны на территории Алтайского края в фазу цветения и предварительно высушены. Экстракты ДО и СБ были изготовлены по собственной запатентованной технологии [16], включающей такие стадии, как измельчение, спиртовая экстракция, вакуум-

ная фильтрация и отгон спирта на ротационном испарителе. Преимущество данной технологии в отсутствии применения высоких температурных режимов, способных разрушить часть биологических активных веществ исходного сырья. Кроме того, она позволяет изготавливать экстракты без содержания спирта, что, ввиду наличия у этанола собственных химических и биологически активных свойств, позволяет получить более релевантные результаты исследования.

Экспериментальное исследование проводилось на базе научно-образовательного центра «Экспериментальная и прикладная биология» Новосибирского государственного педагогического университета (НГПУ). Объектом исследования являлись 60 разнополых лабораторных мышей линии CD-1. Опыты были проведены с соблюдением правил гуманного обращения с животными согласно «Конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей», принятой Советом Европы. Лабораторные животные содержались по пять однополых особей в стандартных клетках в условиях вивария НГПУ с соблюдением зоогигиенических норм: постоянный световой режим (14 ч света и 10 ч темноты), комфортная температура (22–24 °C) и свободный доступ к воде и корму. Животные в опытных группах ежедневно подвергались воздействию острого стресса методом tail handling [17]. Суть метода заключается в том, что в течение 5 мин мышь удерживается за хвост в подвешенном состоянии, время удержания увеличивается до 10 мин во второй половине опыта. Всего было сформировано шесть экспериментальных групп, по десять особей в каждой (по две клетки на группу): 1-я – контрольная группа со стандартным рационом (СР) (специализированный корм для лабораторных животных «ЧАРА»); 2-я – СР + 20 мл/кг живой массы экстракта СБ; 3-я – СР + 20 мл/кг экстракта ДО; 4-я – СР + воздействие стресса; 5-я – СР + воздействие стресса + 20 мл/кг экстракта СБ; 6-я – СР + воздействие стресса + 20 мл/кг экстракта ДО. Исследуемая дозировка была рассчитана по суточному потреблению, экстракты вводились в рацион в течение четырех недель.

Для изучения морфофункционального состояния печени, животных выводили из эксперимента методом цервикальной дислокации. Образцы печени фиксировали в 10%-м растворе нейтрального формалина, затем обезжизивали и просветляли согласно протоколу проводки тканей в изопропи-

ловом спирте и парафине при температуре 54 °C. Исследуемые образцы заливали в парафиновые блоки и укрепляли на деревянных брусках. На ротационном полуавтоматическом микротоме SLEE CUT 5062 (Дания) изготавливали серийные срезы толщиной 6 мкм, монтировали их на предметные стекла смесью белка и глицерина в пропорции 1 : 1. Гистологические срезы образцов печени окрашивали по двум методикам. Изучение общей морфологической картины осуществляли на обзорных препаратах, окрашенных гематоксилином Бёмера и эозином [18]. Распределение коллагена в тканях определяли по Маллори [19]. Гистологические препараты печени всех экспериментальных групп изучали в проходящем свете с помощью микроскопа Axio Imager.M2 с программным обеспечением для анализа изображений AxioVision Z2 M2 (CARL ZEISS, Германия). Съемка изображений осуществлялась CCD-камерой AxioCam HR с программным обеспечением Zen Lite (CARL ZEISS, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Печень мышей контрольной группы имеет характерное для данного органа гистологическое строение. На обзорных препаратах четко идентифицируются перипортальная, центрлобулярная и интермедиарная зоны дольки печени (рис. 1, а, б). Паренхима печени представлена гепатоцитами, которые формируют радиально расположенные балки. Темные гепатоциты перипортальной зоны, эволюционно детерминированные в направлении синтеза специфических белков печени, имеют признаки высокой функциональной активности. Ядро содержит преимущественно эухроматин, а цитоплазма проявляет интенсивное базофильное окрашивание на РНК. Синусоидные капилляры умеренно расширены, в просвете видны крупные клетки Купфера, выполняющие функцию тканевых макрофагов (рис. 1, в).

Светлые гепатоциты центрлобулярной зоны умеренно окрашиваются гематоксилином на нуклеиновые кислоты. Бледное окрашивание цитоплазмы эозином указывает на содержание в клетках специфических белков (см. рис. 1, б). С точки зрения цитофизиологии светлые гепатоциты в дольке печени обеспечивают их участие в процессах детоксикации и защите паренхимы от действия токсических веществ эндогенного и экзогенного происхождения [20].

Мелкие оптически прозрачные вакуоли в цитоплазме гепатоцитов указывают на высокое

содержание в клетке гликогена (см. рис. 1, В). В реакции на коллаген по Маллори умеренная

локализация данного белка выявляется в строме перипортальной зоны дольки печени (рис. 1, Г).

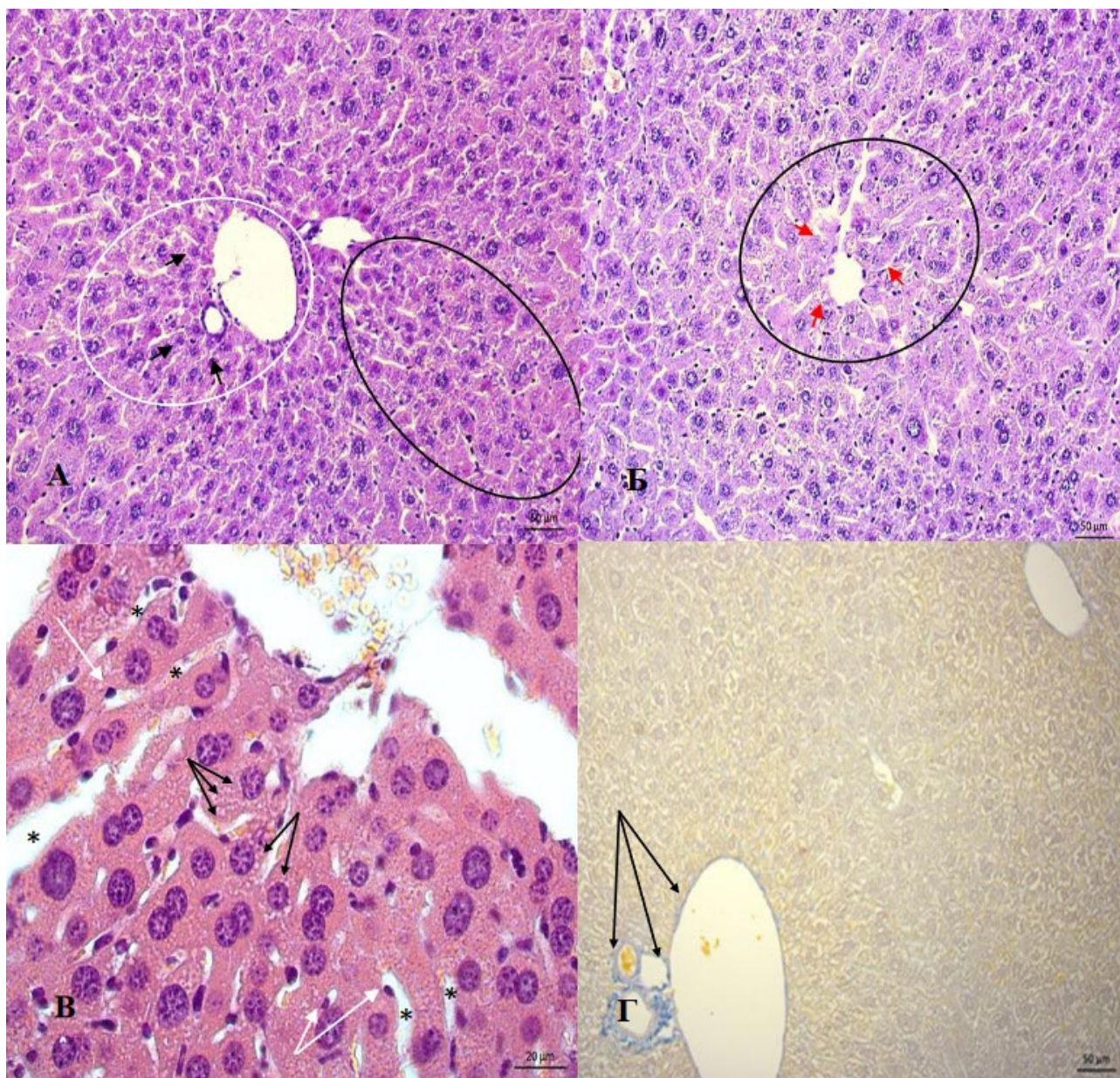


Рис. 1. Образцы печени мышей первой группы (контроль)

Liver samples from mice of the first group (control)

Примечание. а, б, в – окрашивание гематоксилином и эозином; г – по Маллори; а – перипортальная зона дольки печени обозначена белым овалом; интермедиарная зона обозначена темным овалом; темные гепатоциты обозначены черной головкой стрелки; б – центролобулярная зона дольки печени; светлые гепатоциты обозначены красной головкой стрелки. На рис. 1, в черной стрелкой обозначена локализация гликогена в цитоплазме гепатоцитов; белой стрелкой обозначены клетки Купфера; звездочкой обозначены синусоидные капилляры; г – локализация коллагена.

Строение печени мышей, получавших экстракт СБ, в целом сохраняет единый принцип строения с контролем, однако при микроскопическом анализе препаратов печени обнаруживаются отличительные особенности в тканевой организации. На высокий уровень функциональной

активности гепатоцитов указывают преимущественное содержание эухроматина в ядре клетки и интенсивное базофильное окрашивание цитоплазмы (рис. 2, а). Обращает внимание высокий уровень содержания двуядерных гепатоцитов, тканевых макрофагов, расширение кровенос-

ных капилляров и их полнокровие (рис. 2, а, б). При отсутствии явных признаков повреждения клеток печени отмеченные выше характеристики могут указывать на действие биологически активных веществ экстракта как факторов антигенной нагрузки, опосредованно повышающих функциональный резерв клеток печени. При этом умеренное распределение гликогена в цитоплазме гепатоцитов может являться подтверждением вышесказанного. Морфологическая картина образцов печени мышей данной группы дает все основания считать, что гепатоциты находятся в пределах цитофизиологического оптимума (рис. 2, б). Вместе с тем повышение реакции на коллаген в строме органа на периферии кровеносных сосудов дольки печени может косвенно указывать на мощное влияние содержимого экстракта СБ

в используемой дозе на клетки данного органа (рис. 2, в).

Отмеченная морфологическая картина печени мышей дает все основания считать, что рассчитанная доза экстракта СБ вызывает ответную реакцию клеток печени на его введение, а ее цитофизиологические параметры находятся на пределе физиологической нормы. Сходные изменения описаны в исследовании И.З. Исмаилова и соавторов, изучавших влияние сухого экстракта *Padus grayana* (Maxim.) на морфофункциональное состояние внутренних органов крыс [21]. Результаты гистологического исследования печени показали в опытной группе расширение сосудов печени и лимфоидную инфильтрацию по ходу сосуда, на основании чего авторы сделали вывод о наличии иммунотропной активности у исследуемого фитопрепарата.

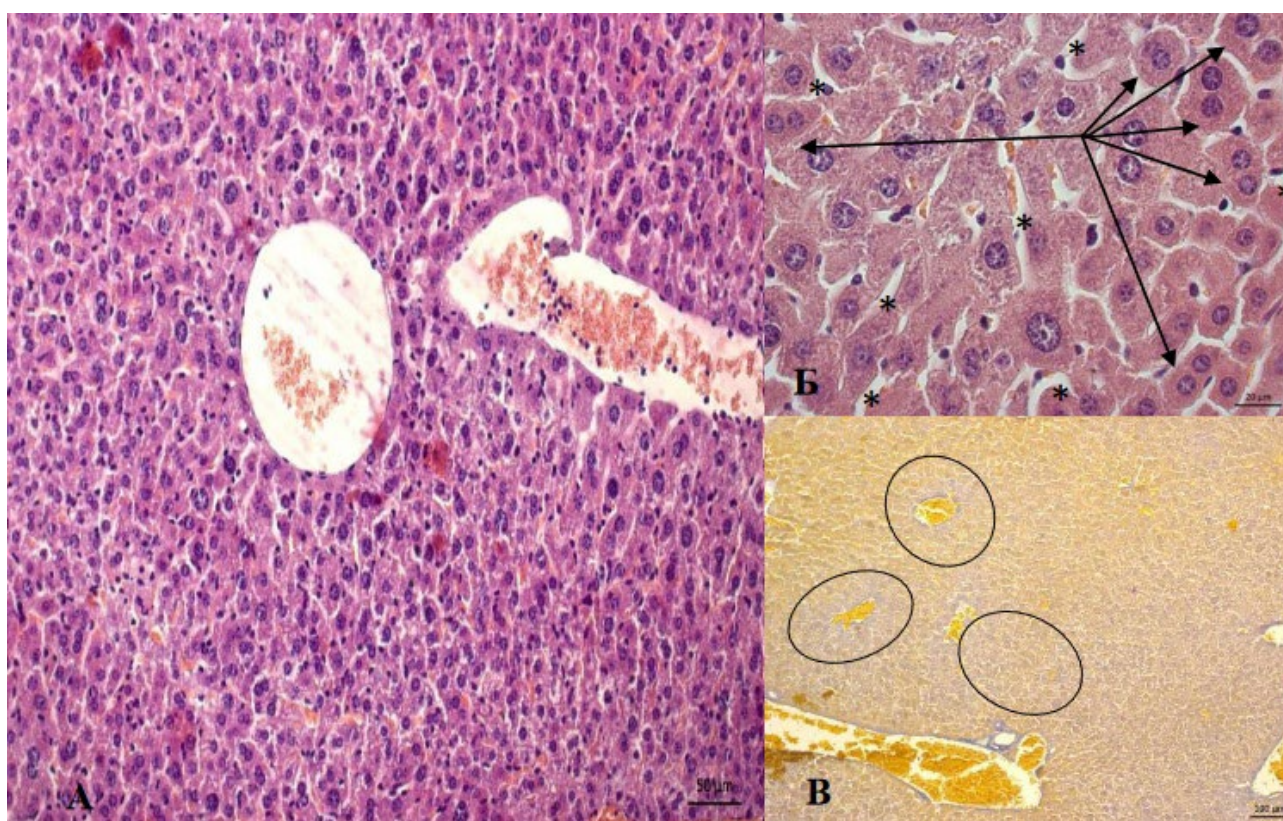


Рис. 2. Образцы печени мышей второй группы (СР + СБ)
Liver samples from mice of the second group (SR + SB)

Примечание. а, б, в – окрашивание гематоксилином и эозином. Стрелками обозначены двуядерные гепатоциты; овалом – усиление реакции на коллаген.

Применение экстракта ДО не позволили обнаружить в печени мышей значимых структурно-функциональных изменений (рис. 3, а). Вместе с тем входящие в состав экстракта биологически активные вещества, вероятно, являются

фактором антигенной нагрузки. На это указывают многочисленные и активные клетки Купфера, представляющие собой тканевые макрофаги, участвующие в реакциях элиминации антигена (рис. 3, б).

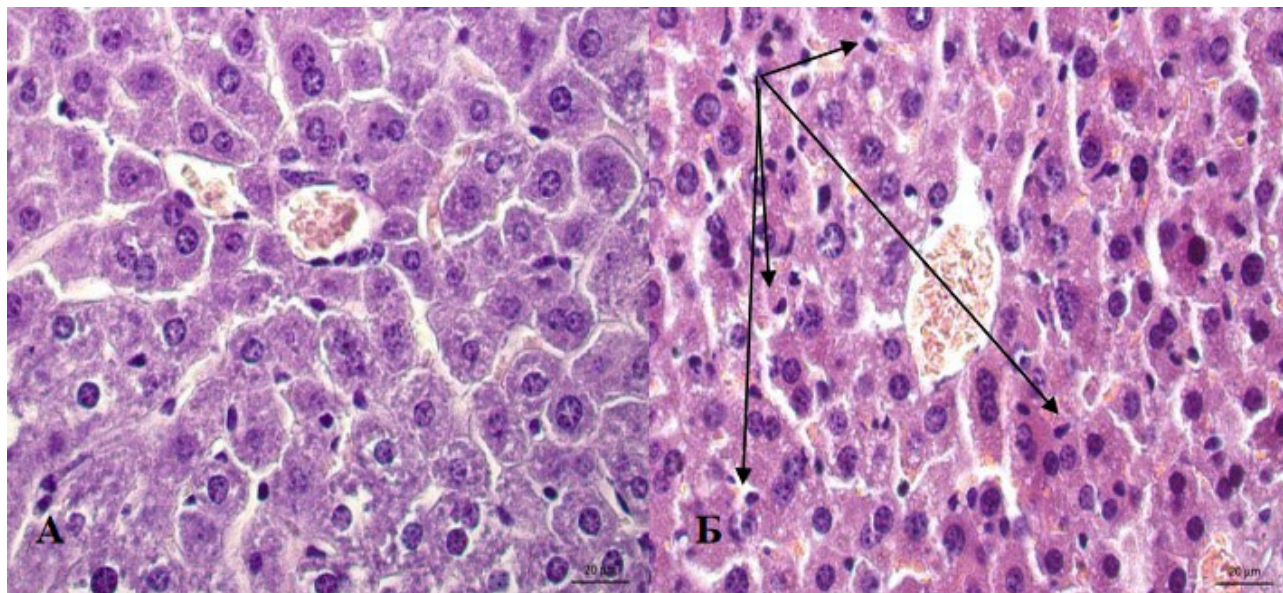


Рис. 3. Образцы печени мышей третьей группы (СР + ДО)
Liver samples from mice of the third group (SR + DO)

Примечание. а, б – окрашивание гематоксилином и эозином. Черными стрелками обозначены клетки Купфера.

В препаратах печени мышей с моделью стресса обращает внимание нарушение тинкториальных свойств паренхимы. При окрашивании срезов гематоксилином и эозином обнаруживается снижение реакции в цитоплазме гепатоцитов всех зон на РНК и белки (рис. 4, а). Типичным признаком является высокий уровень мобилизации гликогена (рис. 4, б).

Гепатоциты интермедиарной зоны имеют признаки нарушения водно-ионного гомеостаза различной степени. При сублетальном повреждении в цитоплазме гепатоцитов отмечается локализация обширных оптически прозрачных участков, характерных для гидропической дистрофии (рис. 4, б, в). При летальном повреждении выявляются клетки как с признаками колликационного некроза, так и апоптоза (см. рис. 4, б, в). В строме печени, как результат повреждения ее структурных элементов, отмечается усиление функциональной активности макрофагов и повышенный уровень реакции на коллаген (рис. 4, в, г).

Признаки снижения функциональной активности гепатоцитов в совокупности с повышенной

мобилизацией гликогена и цитоплазмы клетки можно объяснить необходимостью участия углеводов в обеспечении адаптивных цитофизиологических реакций гепатоцитов при стрессе [22]. Это не противоречит известным представлениям о реализации стресс-реакции на клеточном и тканевом уровнях. Развитие гидропической дистрофии гепатоцитов при стрессе может объясняться свободнорадикальным механизмом повреждения мембранных органелл клетки [23]. Повреждение, а затем гибель клеток и замещение паренхимы печени коллагеном находит свое отражение в усилении реакции на данный белок.

Печень стресс-индуцированных мышей экспериментальной группы с экстрактом СБ на светооптическом уровне имеет схожие характеристики с аналогичными препаратами мышей с моделью стресса и стандартным рационом. Локализация структурно-функциональных нарушений в дольке печени преимущественно ограничена интермедиарной зоной (рис. 5, а). Однако уровень повреждения паренхимы печени в своем большинстве ограничен гидропической дистрофией

гепатоцитов (рис. 5, Б), что в известной мере является обратимым процессом [24].

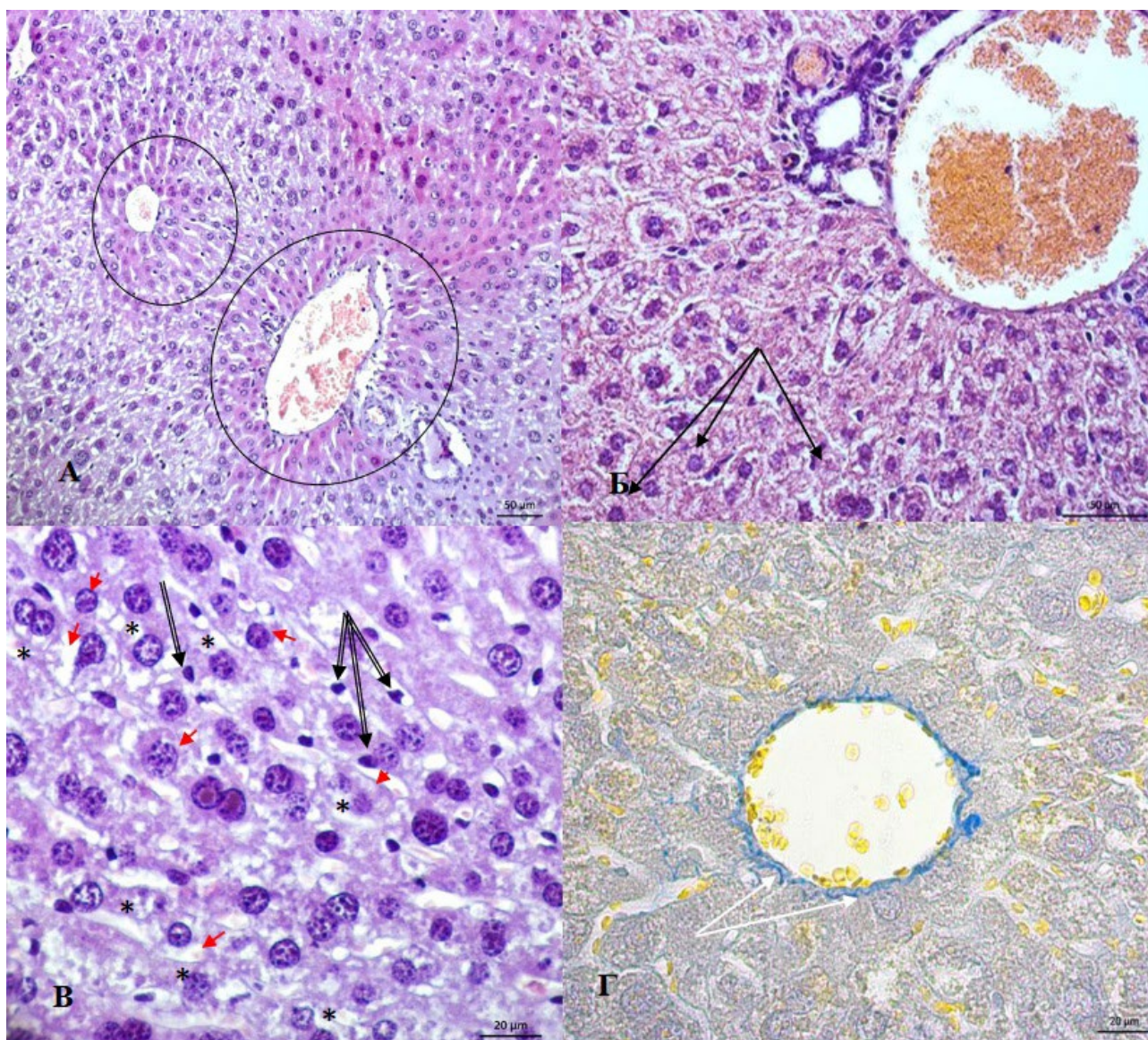


Рис. 4. Образцы печени мышей четвертой группы (СР + стресс)

Liver samples from mice of the fourth group (SR + stress)

Примечание. а, б, в – окрашивание гематоксилином и эозином; г – по Маллори. Овалом обозначены клетки с признаками снижения функциональной активности; черная стрелка – повышенная мобилизация гликогена; красная головка стрелки – гепатоциты с признаками летального повреждения; звездочкой обозначены гепатоциты с признаками гидропической дистрофии; белая стрелка – реакция на коллаген; двойной стрелкой обозначены клетки Купфера.

Снижение уровня повреждения гепатоцитов печени у мышей при сочетании моделирования стресса и введения экстракта СБ приводит к адаптивной цитофизиологической перестройке. Морфологическая картина органа дает все основания считать, что биологически активные вещества данного растения ограничили развитие процесса повреждения клеток. Можно полагать, что одним из механизмов сублетального

повреждения клеток паренхимы печени является свободнорадикальный. Последний приводит к нарушению водно-ионного гомеостаза, что и наблюдается при стрессе.

В научной литературе имеются данные о регенеративном воздействии фитопрепаратов на поврежденные клетки печени. В.И. Шарапов и соавторы изучали влияние экстракта из бересты березы на морфофункциональное состояние пе-

чени крыс при экспериментальном токсическом гепатите [10]. Морфометрический анализ показал, что применение экстракта бересты стимулировало репаративный процесс в паренхиме печени животных с гепатитом. Этот феномен авторы связывали не только с усилением процесса деления гепатоцитов, но и с активизацией внутриклеточных процессов репаративной регенерации. А.А. Торопова и соавторы изучали возможность

восстановления клеток печени экстрактом из растения гипекоума прямого [9]. Установлено, что биологически активные вещества в составе экстракта этого растения ингибировали процессы перекисного окисления липидов, повышали активность эндогенной антиоксидантной системы организма, оптимизировали энергообеспеченность гепатоцитов и ограничивали развитие дистрофических процессов в печени.

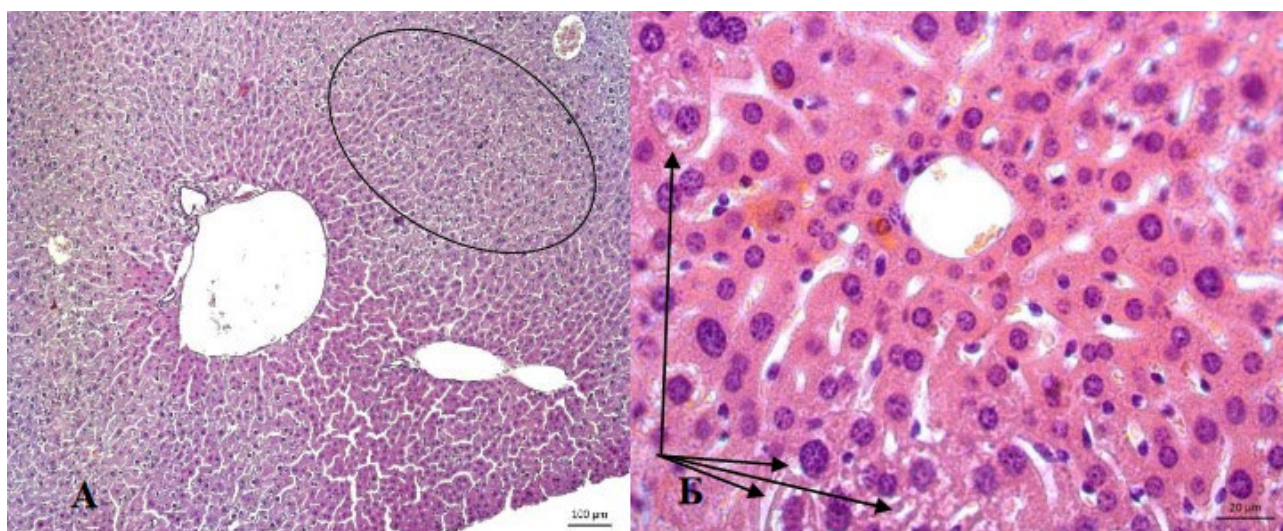


Рис. 5. Образцы печени мышей пятой группы (СР + СБ + стресс)

Liver samples from mice of the fifth group (SR + SB + stress)

Примечание. А, Б – окрашивание гематоксилином и эозином. Овалом обозначена интермедиарная зона дольки печени; стрелками – гепатоциты с признаками гидropической дистрофии.

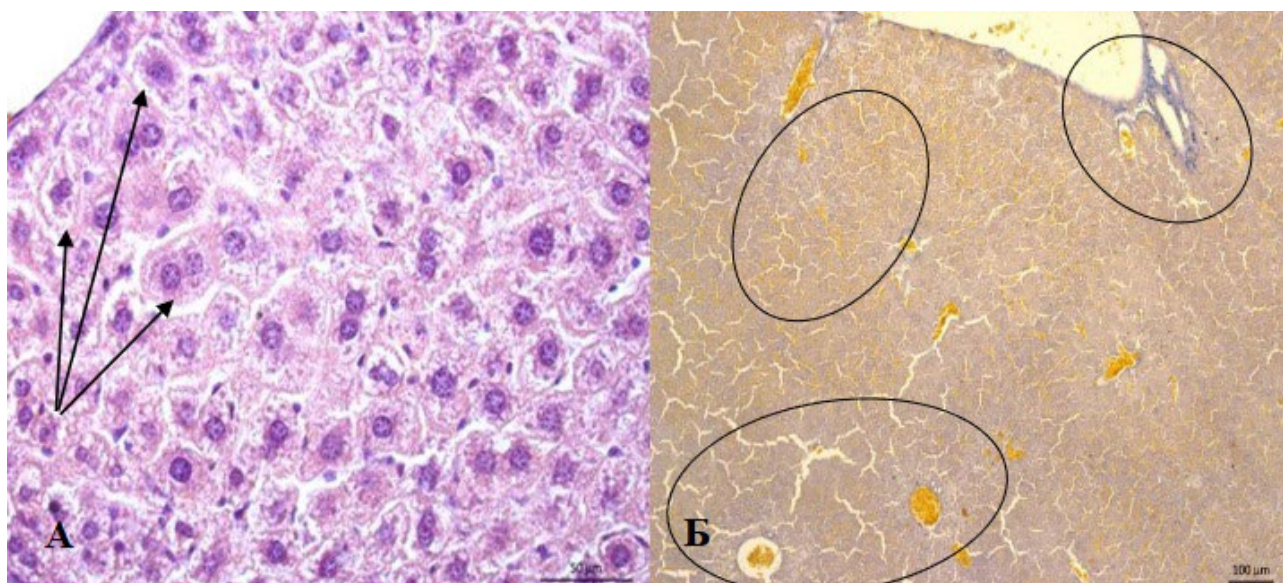


Рис. 6. Образцы печени мышей шестой группы (СР + ДО + стресс)

Liver samples from mice of the sixth group (SR + DO + stress)

Примечание. а – окрашивание гематоксилином и эозином; б – по Маллори. Стрелками обозначены участки нарушения водно-ионного гомеостаза в клетке; овалами обозначена реакция на коллаген.

Применение экстракта ДО в группе мышей с моделью стресса существенно ограничивает уровень структурно-функциональных нарушений, возникающих в печени при стрессе. Прежде всего это касается нарушения водно-ионного гомеостаза в гепатоцитах. На обзорных препаратах заметно, что в отличие от образцов печени стресс-индуцированных мышей со стандартным рационом, локус обводнения цитоплазмы клетки ограничивается преимущественно субмембранным компартментом (рис. 6, а). Данные морфологического анализа позволяют считать, что компоненты экстракта ДО прямо или опосредованно снижают уровень повреждения структурных компонентов мембраны при сочетанном процессе – моделировании стресса и применении экстракта. Такой подход позволяет перевести процесс из летального повреждения гепатоцитов в обратимый: гидропическую дистрофию. Доказательством данного заключения является снижение уровня экспрессии коллагена, которое заметно по тинкториальным характеристикам печени при окрашивании на данный белок по Маллори (рис. 6, б).

ВЫВОДЫ

1. Признаки нарушения водно-ионного гомеостаза в гепатоцитах мышей опытных групп указывают на значительную роль свободнорадикального механизма при моделировании стресса.

2. Введение в рацион животных экстрактов душицы обыкновенной и сабельника болотного в дозировках 20 мг/кг живой массы в сутки снижает уровень сублетальных повреждений в тканях печени при моделировании стресса. Сочетание процессов моделирования стресса и применения экстрактов позволяет получить более низкий уровень повреждения гепатоцитов в сравнении с группой с моделью стресса, уровень повреждения паренхимы печени мышей с включением в рацион экстрактов в своем большинстве ограничен гидропической дистрофией гепатоцитов, что является обратимым процессом.

3. Экстракты сабельника болотного и душицы обыкновенной обладают адаптогенными свойствами, что определяет перспективность их дальнейшего изучения как самостоятельных компонентов, так и в составе комплексных фитопрепаратов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дюжикова Н.А., Даев Е.В. Генотип и стресс-реакция у животных и человека // Экологическая генетика. – 2018. – Т. 16, № 1. – С. 4–26.
2. Нестеров Ю.В., Теплый Д.Л., Алтуфьев Ю.В. Стресс-реактивность разновозрастных беспородных белых крыс на модели острого эмоционально-болевого стресса // Естественные науки. Журнал фундаментальных и прикладных исследований. – 2012. – № 1 (38). – С. 156–159.
3. Возможность метаболической коррекции острого стресса на этапе формирования адаптационного ответа у лабораторных животных / О.В. Ланец, М.П. Семененко, А.А. Абрамов, Е.Н. Рудь // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2021. – Т. 10, № 1. – С. 352–354.
4. Влияние окислительного стресса на элементный статус тканевых компартментов органов регуляции минерального гомеостаза / С.Н. Луканина, А.В. Сахаров, О.И. Просенко [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 241, № 1. – С. 130–137.
5. Брюховец Т.Г., Пуликов А.С., Левкович Л.Г. Реакция функциональной гломерулярной системы на воздействие токсичных веществ // Актуальные проблемы морфологии: сб. науч. тр. – Красноярск, 2003. С. 21–22.
6. Малова И.Ю. Общее учение о дистрофиях: учеб.-метод. пособие для студентов медицинских вузов, ординаторов и врачей; Минобрнауки России, ФГБОУ ВПО Майкоп. гос. технол. ун-т, каф. терапевт. дисциплин. – Майкоп: МГТУ, 2014. – 60 с.
7. Сафонова Г.М., Шилов Ю.И., Перевозчиков А.Б. Протективные эффекты растительных полифенольных соединений на иммунную систему при остром стрессе // Доклады Академии наук. – 2001. – Т. 378, № 5. – С. 697–699.
8. Лукьянченко М.Е., Васильцова И.В., Коваль Ю.И. Антиоксидантная и восстановительная активности почек *Pinus Sylvestris* L. // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ, Новосибирск, 21 октября 2022 г. – Новосибирск, 2022. – С. 31–36.

9. Влияние экстракта *Hypocistis erectum* на морфофункциональное состояние печени крыс при тетрациклиновом гепатите / А.А. Торопова, С.М. Николаев, Я.Г. Разуваева [и др.] // Антибиотики и химиотерапия. – 2014. – Т. 59, № 9–10. – С. 25–28.
10. Влияние экстракта из бересты березы на морфофункциональное состояние печени при экспериментальном токсическом гепатите / В.И. Шарапов, В.В. Лабеевская, О.Р. Грек [и др.] // Сибирский медицинский вестник. – 2019. – № 3. – С. 8–12.
11. Изучение гепатопротекторного действия растительных экстрактов при экспериментальном повреждении печени / О.Н. Потеряева, Г.С. Русских, В.В. Иванова [и др.] // Медицина и образование в Сибири. – 2012. – № 4. – С. 28.
12. Уранова В.В., Ломтева Н.А., Близняк О.В. Обзор антиоксидантной активности флавоноидов растительного сырья рода шлемник (*Scutellaria*) // Естественные науки. – 2021. – № 4 (5). – С. 27–35.
13. *Flavonoids as Potential Anti-Inflammatory Molecules: A Review* / J.M. Al-Khayri, G.R. Sahana, P. Nagella [et al.] // *Molecules*. – 2022, May 2. – № 27 (9). – P. 2901.
14. Оценка противомикробной активности экстрактов душицы обыкновенной и сабельника болотного в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий / П.Н. Мирошников, К.В. Жучаев, Л.А. Осинцева [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 4 (69). – С. 233–240.
15. Мирошников П.Н., Жучаев К.В., Коваль Ю.И. Антиоксидантная активность экстрактов душицы обыкновенной и сабельника болотного, произрастающих в Алтайском крае, в связи с содержанием в них флавоноидов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 3 (72). – С. 213–220.
16. Патент № 2791450 С1 Российская Федерация, МПК А61К 36/00, В01Д 11/02. Способ получения экстрактов из лекарственного сырья: № 2022112703: заявл. 05.05.2022: опубл. 07.03.2023 / П.Н. Мирошников, О.Н. Сороколетов, К.В. Жучаев; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет».
17. *Benefits of tunnel handling persist after repeated restraint, injection and anaesthesia* / L.J. Henderson, B. Dani, E.M.N. Serrano [et al.] // *Sci Rep*. – 2020, Sep. 3. – № 10 (1). – P. 14562.
18. *Гистологическая техника: учеб. пособие для студентов мед. вузов и сузов* / В.В. Семченко [и др.]; М-во здравоохранения и соц. развития Российской Федерации, Омская гос. мед. акад., Омский науч.-исслед. центр СО РАМН [и др.]. – 3-е изд., доп. и перераб. – Омск, 2006. – 289 с.
19. Хонин Г.А., Барашкова С.А., Семченко В.В. Морфологические методы исследования в ветеринарной медицине: учеб. пособие для студ. вузов по специальности 310800 – Ветеринария. – Омск: Омский гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина, 2004. – 196 с.
20. Луценко М.Т. Цитофизиология. – Новосибирск; Благовещенск, 2011. – 216 с.
21. Исмаилов И.З., Зурдинов А.З., Сабирова Т.С. Влияние сухого экстракта *Padus Grayanae* Maxim на морфофункциональное состояние внутренних органов экспериментальных животных // 90 лет – от растения до лекарственного препарата: достижения и перспективы: сб. мат-в юбилейной междунар. науч. конф., Москва, 10–11 июня 2021 г. – М., 2021. – С. 554–562.
22. *Биологическая химия с упражнениями и задачами: учебник* / под ред. чл.-корр. РАМН С.Е. Северина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 624 с.
23. Луканина С.Н., Сахаров А.В., Просенко А.Е. Оценка эффективности использования различных антиоксидантов при индуцированном окислительном стрессе // Биоантиоксидант: тез. докл. IX Междунар. конф. Москва, 29 сентября – 2 октября 2015 г. – М., 2015. – С. 104.
24. Результаты протекторного действия антиоксидантов на печень при экспериментальном гипотиреозе / Л.Д. Эркенова, Г.Д. Джикаев, А.Б. Кубанова [и др.] // Медицинский алфавит. – 2020. – № 10. – С. 46–48.

REFERENCES

1. Dyuzhikova N.A., Daev E.V., *Ekologicheskaya genetika*, 2018, T. 16, No. 1, pp. 4–26. (In Russ.)
2. Nesterov YU.V., Teplyj D.L., Altuf'ev YU.V., *Estestvennye nauki. Zhurnal fundamental'nyh i prikladnyh issledovaniy*, 2012, No. 1 (38), pp. 156–159. (In Russ.)
3. Lanets O.V., Semenenko M.P., Abramov A.A., Rud' E.N., *Sbornik nauchnykh trudov Krasnodarskogo nauchnogo tsentra po zootekhnii i veterinarii*, 2021, T. 10, No. 1, pp. 352–354. (In Russ.)
4. Lukanina S.N., Sakharov A.V., Prosenko O.I. [i dr.], *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman*, 2020, T. 241, No. 1, pp. 130–137. (In Russ.)
5. Bryukhovets T.G., Pulikov A.S., Levkovich L.G., *Aktual'nye problemy morfologii* (Current issues in morphology), Collections of scientific papers, Krasnoyarsk, 2003, pp. 21–22. (In Russ.)
6. Malova I.Yu., *Obshchee uchenie o distrofiyakh* (General teaching on dystrophies), Maykop: MGTU, 2014, 60 p.
7. Safonova G.M., Shilov Yu.I., Perevozchikov A.B., *Doklady Akademii nauk*, 2001, T. 378, No. 5, pp. 697–699. (In Russ.)

8. Luk'yanchenko M.E., Vasil'tsova I.V., Koval' Yu.I., *Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa* (Current issues of the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2022, pp. 31–36. (In Russ.)
9. Toropova A.A., Nikolaev S.M., Razuvaeva Ya.G. [i dr.], *Antibiotiki i khimioterapiya*, 2014, T. 59, No. 9–10, pp. 25–28. (In Russ.)
10. Sharapov V.I., Labetskaya V.V., Grek O.R. [i dr.], *Sibirskiy meditsinskiy vestnik*, 2019, No. 3, pp. 8–12. (In Russ.)
11. Poteryaeva O.N., Russkikh G.S., Ivanova V.V. [i dr.], *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*, 2012, No. 4, pp. 28. (In Russ.)
12. Uranova V.V., Lomteva N.A., Bliznyak O.V., *Estestvennye nauki*, 2021, No. 4 (5), pp. 27–35. (In Russ.)
13. Al-Khayri J.M., Sahana G.R., Nagella P. [et al.], *Flavonoids as Potential Anti-Inflammatory Molecules: A Review*, *Molecules*, 2022, May 2, No. 27 (9), pp. 2901.
14. Miroshnikov P.N., Zhuchaev K.V., Osintseva L.A. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 4 (69), pp. 233–240. (In Russ.)
15. Miroshnikov P.N., Zhuchaev K.V., Koval' Yu.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2024, No. 3 (72), pp. 213–220. (In Russ.)
16. *Patent No. 2791450 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A61K 36/00, B01D 11/02. Sposob polucheniya ekstraktov iz lekarstvennogo syr'ya*: No. 2022112703: zayavl. 05.05.2022: opubl. 07.03.2023, P.N. Miroshnikov, O.N. Sorokoletov, K.V. Zhuchaev; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet». (In Russ.)
17. Henderson L.J., Dani B., Serrano E.M.N. [et al.], *Benefits of tunnel handling persist after repeated restraint, injection and anaesthesia*, *Sci Rep.*, 2020, Sep. 3, No. 10 (1), pp. 14562.
18. Semchenko V.V. [i dr.], *Gistologicheskaya tekhnika* (Histological technique), Omsk, 2006, 289 p.
19. Khonin G.A., Barashkova S.A., Semchenko V.V., *Morfologicheskie metody issledovaniya v veterinarnoy meditsin* (Morphological research methods in veterinary medicine), Omsk: Omskiy gos. agrar. un-t im. P.A. Stolypina, 2004, 196 p.
20. Lutsenko M.T., *Tsitofiziologiya* (Cytophysiology), Novosibirsk; Blagoveshchensk, 2011, 216 p.
21. Ismailov I.Z., Zuridinov A.Z., Sabirova T.S., *90 let – ot rasteniya do lekarstvennogo preparata: dostizheniya i perspektivy* (90 years – from plant to medicine: achievements and prospects), Proceedings of the Conference Title, Moscow, 2021, pp. 554–562. (In Russ.)
22. *Biologicheskaya khimiya s uprazhneniyami i zadachami* (Biological Chemistry with Exercises and Problems), pod red. chl.-korr. RAMN S.E. Severina, Moscow: GEOTAR-Media, 2011, 624 p.
23. Lukanina S.N., Sakharov A.V., Prosenko A.E., *Bioantioksidant* (Bioantioxidant), Proceedings of the Conference Title, Moscow, 2015, pp. 104. (In Russ.)
24. Erkenova L.D., Dzhikaev G.D., Kubanova A.B. [i dr.], *Meditsinskiy alfavit*, 2020, No. 10, pp. 46–48. (In Russ.)

Информация об авторах:

П.Н. Мирошников, заведующий лабораторией
 А.В. Сахаров, доктор биологических наук, профессор
 В.И. Лошенко, кандидат биологических наук, доцент
 К.В. Жучаев, доктор биологических наук, профессор
 М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, профессор
 Н.Н. Кочнев, доктор биологических наук, профессор

Contribution of the authors:

P.N. Miroshnikov, Head of laboratory
 A.V. Saharov, Doctor of Biological Sciences, Professor
 V.I. Loshenko, Candidate of Biological Sciences, Associate professor
 K.V. Zhuchaev, Doctor of Biological Sciences, Professor
 M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences, Professor
 N.N. Kochnev, Doctor of Biological Sciences, Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ АНТИОКСИДАНТНОГО И ФЕРМЕНТАТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ШТАММА *BACILLUS SUBTILIS* НА РОСТ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЫБ

^{1,2}Е.Н. Пономарева, ¹М.Н. Сорокина, ¹В.А. Григорьев, ^{2,3}М.С. Мазанко, ^{2,3}В.А. Чистяков

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия

³ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: kafavb@mail.ru

Для цитирования: Оценка действия пробиотических препаратов антиоксидантного и ферментативного действия на основе штамма *Bacillus subtilis* на рост и физиологическое состояние рыб / Е.Н. Пономарева, М.Н. Сорокина, В.А. Григорьев, М.С. Мазанко, В.А. Чистяков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 250–264. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-250-264.

Ключевые слова: осетровые рыбы, стерлядь, комбикорм для рыб, пробиотики, поведение рыб, терморезистентность, солеустойчивость, физиолого-биохимические показатели крови.

Реферат. Проведенные эксперименты показали, что рыба, выращенная с использованием кормов, содержащих пробиотики с различными механизмами действия — ферментативными и антиоксидантными, показала приросты, коэффициент упитанности, превышающие контрольные значения более чем на 7 % и 5–13 % соответственно при снижении кормовых затрат 6,7 %. Анализ распределения массы среди исследуемых групп рыб выявил, что в экспериментах процент особей с более высокой массой тела оказался выше на 9,65 и 14,75 %, составив 58,16 и 63,26 % соответственно. В тесте «открытое поле» у молоди стерляди из 2-й опытной группы была зафиксирована ориентировочная активность, которая оказалась ниже, чем в первой опытной и контрольной группах, на 3,79 и 1,61 % соответственно, составив 34,8 ед/мин. Однако фоновая двигательная активность в этой группе была наивысшей — 36,78 ед./мин. В 1-й опытной и контрольной группах, напротив, наблюдалось снижение данного показателя. Установлено, что у особей опытных групп наблюдается усиление реакции на первичный раздражитель (вибракустический стимул), за которым следует резкое снижение активности при воздействии второго раздражителя. Это указывает на проявление защитной реакции (затаивания), характерной для осетровых рыб. В контрольной группе реакция на первичный раздражитель также увеличивается, но в меньшей степени, и затем остается практически неизменной. После воздействия третьего раздражителя у особей контрольной группы активность не возвращается к исходному уровню, превышая его на 13,35 %. В то же время у особей опытных групп активность приближается к фоновому уровню. Отношение ориентировочной активности к фоновой активности (уровень активации) у рыб второй экспериментальной группы оказался на 13,9 % ниже, чем у первой опытной и контрольной групп. Это указывает на то, что рыбы из первой экспериментальной и контрольной групп проявляют более высокую активность при попадании в новую среду. В то же время особи из второй экспериментальной группы демонстрируют более сдержанное двигательное поведение. Показатели реактивности у экспериментальных групп при воздействии низкочастотного звука на 1,46–10,54 % выше, при кратковременном световом раздражителе и постоянном воздействии света ниже на 12,09–27,47 % и на 9,72–14,88 % во второй и первой группах соответственно по сравнению с контрольной группой. Рыбы, получавшие корма с экспериментальными пробиотическими добавками, продемонстрировали повышенную устойчивость к высокой температуре и солености. Наивысшую терморезистентность и солеустойчивость показали рыбы из первой опытной группы. Пробиотические препараты направленного действия стимулируют рост и стабилизируют физиологическое состояние рыб в экстремальных условиях.

EVALUATION OF THE EFFECT OF PROBIOTIC PREPARATIONS WITH ANTIOXIDANT AND ENZYMATIC ACTION BASED ON THE BACILLUS SUBTILIS STRAIN ON THE GROWTH AND PHYSIOLOGICAL STATE OF FISH

^{1,2}E.N. Ponomareva, ¹M.N. Sorokina, ¹V.A. Grigoriev, ^{2,3}M.S. Mazanko, ^{2,3}V.A. Chistyakov¹Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (SSC RAS), Rostov-on-Don, Russia²Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia³Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: kafavb@mail.ru

Keywords: Keywords: sturgeon fish, sterlet, fish feed, probiotics, fish behavior, thermoresistance, salt resistance, physiological and biochemical parameters of blood.

Abstract. The conducted experiments showed that fish grown using feed containing probiotics with different mechanisms of action — enzymatic and antioxidant — showed gains and fatness coefficient exceeding the control values by more than 7 % and 5–13 %, respectively, with a decrease in feed costs of 6.7 %. Analysis of weight distribution among the studied fish groups revealed that in the experiments the percentage of individuals with higher body weight was higher by 9.65 and 14.75 %, amounting to 58.16 and 63.26 %, respectively. In the open field test, the juvenile sterlet from the 2nd experimental group recorded orientation activity, which was lower than in the 1st experimental and control groups by 3.79 % and 1.61 %, respectively, amounting to 34.8 units/min. However, the background motor activity in this group was the highest — 36.78 units/min. In the 1st experimental and control groups, on the contrary, a decrease in this indicator was observed. It was found that in individuals of the experimental groups, an increase in the reaction to the primary stimulus (vibroacoustic stimulus) was observed, followed by a sharp decrease in activity when exposed to the second stimulus. This indicates the manifestation of a defensive reaction (freezing), characteristic of sturgeon fish. In the control group, the reaction to the primary stimulus also increases, but to a lesser extent, and then remains almost unchanged. After exposure to the third stimulus, the activity of individuals of the control group does not return to the original level, exceeding it by 13.35 %. At the same time, in individuals of the experimental groups, the activity approaches the background level. The ratio of orienting activity to background activity (activation level) in fish of the second experimental group was 13.9% lower than in the first experimental and control groups. This indicates that fish from the first experimental and control groups exhibit higher activity when entering a new environment. At the same time, individuals from the second experimental group demonstrate more restrained motor behavior. The reactivity indices in the experimental groups under the influence of low-frequency sound are 1.46–10.54 % higher, under short-term light stimulus and constant light exposure they are lower by 12.09–27.47 % and by 9.72–14.88 % in the 2nd and 1st groups, respectively, compared to the control group. Fish fed with feeds with experimental probiotic additives demonstrated increased resistance to high temperature and salinity. The highest heat resistance and salt tolerance were shown by fish from the first experimental group. Probiotic preparations with targeted action stimulate growth and stabilize the physiological state of fish in extreme conditions.

В последние годы в мире идет интенсивный рост аквакультуры, в докладе ФАО «Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2024» отмечено, что в аквакультуре впервые было произведено больше продукции, чем в промышленном мировом рыболовстве. В 2022 г. в мире было произведено 223,2 млн т продукции рыболовства и аквакультуры, продукция мировой аквакультуры достигла 130,9 млн т, продукция мирового рыболовства составила 92,3 млн т [1]. По данным ФАО, объем производства продукции аквакультуры по итогам 2023 г. был на 2,8 % больше показателя 2022 г. [2].

В России планируется почти вдвое нарастить производство аквакультурной продукции. Как следует из Стратегии развития агропромышлен-

ного и рыбохозяйственного комплексов, объемы производства товарной аквакультуры, включая посадочный материал, к 2030 г. должны достичь 618 тыс. т. В 2023 г. произведено 402 тыс. т. (7,5 % от доли рыболовства) [3].

Для развития эффективной и устойчивой аквакультуры нужны новые технологии и процессы. Основным современным трендом является разведение рыбы в рециркуляционных системах (УЗВ), где на основе точных данных ускоряется процесс разведения, что способствуют развитию контролируемой среды обитания рыб и принятию решений на основе полученных данных. Решения в области сбалансированного кормления дополняют основные тенденции в аквакультуре и

регулируют процесс кормления, делая его более эффективным [4].

Интенсификация и индустриальное выращивание часто приводит к ухудшению экологических условий для гидробионтов, вызывает увеличение уровня органического загрязнения, рост условно-патогенных микроорганизмов в водной среде и вызывает проблемы со здоровьем [5].

Использование антибиотиков в кормах приводит к тому, что у гидробионтов появляются антибиотико-устойчивые патогенные бактерии. Альтернативой этому являются в настоящее время разрабатываемые пробиотики для аквакультуры. Одним из методов поддержания и восстановления стабильного физиологического состояния организма рыб, повышения их резистентности является введение в корма пробиотических препаратов [6].

Пробиотики, живые микроорганизмы при поступлении в организм в достаточном количестве приносят пользу здоровью хозяина и поддерживают микробный баланс в кишечнике [7, 8].

Современные корма для аквакультуры достаточно сбалансированы и отвечают всем требованиям на определенном этапе онтогенеза организма рыб. В последние годы интенсивно стали использовать пробиотики в кормах для объектов аквакультуры. Создание новых эффективных пробиотиков, пребиотиков, метабиотиков, фитобиотиков является перспективным направлением обеспечения кормовыми добавками предприятий аквакультуры для повышения продуктивности или лечения разводимых гидробионтов [9].

Последние исследования по разработке новых пробиотических добавок показали, что, используя менее энергоемкие технологические решения, можно получить препараты с высокими титрами пробиотических микроорганизмов. Использование роста микроорганизмов в биопленках – ключевой биотехнологический прием, определяющий возможность отказа от энергоемких и материалоемких элементов технологии, перехода к использованию доступного и дешевого сырья, а также достижения высоких экономических показателей при небольших масштабах производства и высокой технологической гибкости. Первые исследования действия новых пробиотических добавок, выращенных на биопленках, были проведены на радужной форели и показали хорошие результаты. У молоди форели, получавшей корма с пробиотиками, отмечено увеличение роста, выживаемости и массы тела. Использование пробиотика обеспечило нормаль-

ное физиологическое состояние рыбы [10]. Актуальны исследования действия пробиотиков на других объектах аквакультуры.

В данной работе впервые в отечественной практике для создания пробиотических препаратов для аквакультуры целевые штаммы отобраны не только по антагонизму к патогенам, но по способности продуцировать литические ферменты и вторичные метаболиты с антиоксидантной активностью. Таким образом, закладываются фундаментальные основы для создания пробиотиков направленного действия, рассчитанных не только на подавление патогенов, но и на управление адаптационными системами хозяина. Комбинируя препараты различной направленности, можно будет получать полифункциональные продукты, оказывающие системный адаптогенный и стимулирующий эффект [11].

Целью исследования являлось изучение действия пробиотических препаратов антиоксидантного и ферментативного действия на основе штамма *Bacillus subtilis* на рост, поведение и физиологическое состояние молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования была молодь стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) средней начальной массой 5,21–5,65 г, длиной 10,51–11,2 см. Рыб содержали в бассейнах диаметром 1,5 м, глубиной 0,7 м установки замкнутого водоснабжения аквариального комплекса береговой научно-экспедиционной базы «Кагальник» Южного научного центра Российской академии наук (с. Кагальник Ростовской области). В каждый бассейн было посажено по 173 экз. молоди стерляди. В период проведения эксперимента поддерживался оптимальный гидрохимический режим в бассейнах, где выращивались объекты. Температура воды колебалась в пределах 21,5–22,5 °С, рН 7,3–7,5, кислород 7–7,5 мг/л.

Рыбы были разделены на три группы: 1-я опытная (для кормления рыб применяли комбикорм с добавлением пробиотика ферментативного действия), 2-я опытная (для кормления рыб применяли комбикорм с добавлением пробиотика антиоксидантного действия), контрольная (в рационе рыб этой группы использовали комбикорм с промышленным пробиотиком).

Корм для группы «Опыт 1» содержал мультиштаммовый препарат на основе штаммов *Bacillus* sp. МТ14 и *Bacillus* sp. МТ42, обладающих

высокой экзоферментативной активностью (протеолитической и амилалитической), конечное содержание бактерий в корме – $4,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Корм для группы «Опыт 2» содержал мультиштаммовый препарат на основе штаммов *Bacillus* sp. МТ74 и *Bacillus* sp. МТ48, обладающих высокой антиоксидантной активностью, конечное содержание бактерий в корме – $4,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Контрольный корм содержал промышленный пробиотик на основе *Bacillus*, конечное содержание бактерий в корме – $1,0 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

В корм опытным и контрольной (на основе *Bacillus*) группам добавляли 0,1 % пробиотического препарата с высокоэффективными штаммами *Bacillus subtilis*.

Корм с содержанием протеина 54 % и жира 12 % был произведен на лабораторной установке. Количество корма рассчитывали с помощью нормативных методов, принимая во внимание среднюю массу тела рыб, норма кормления в среднем составила 3 %. Контроль за ростом осуществляли раз в 10 дней, взвешивая рыбу индивидуально с последующим расчетом среднесуточного прироста. Условия содержания были одинаковыми для всех экспериментальных групп. Все рыбы выращивались в течение 64 дней. Рост рыб оценивали по показателям прироста, коэффициентам массонакопления и упитанности по Фультону [12]. Выживаемость рассчитывали по данным учета погибшей молоди при ежедневной чистке бассейнов.

Затраты кормов на единицу прироста рассчитывали по формуле:

$$Зк = Ск / (Мк \text{ минус } Мн), \quad (1)$$

где $Зк$ – затраты корма; $Ск$ – количество корма, затраченного на выращивание за период эксперимента, г; $Мн$ и $Мк$ – масса рыбы в начале и конце эксперимента, г.

Для оценки поведенческих реакций рыб применяли метод «открытое поле» [13]. Рыбы по одной помещались в экспериментальную установку с координатной сеткой на дне (размер ячеей 10×10 см, слой воды – 20 см). Двигательную активность определяли по среднему количеству пересечений рыбой линий сетки. В исследовании участвовало по 10 особей из каждой группы. Адаптация молоди к новой среде занимает не более 3 мин (ориентировочная активность $ОА$, ед./мин), после чего двигательная активность стабилизируется. Поэтому среднее количество пересечений координатных линий за период с четвертой по седьмую минуту опыта рассматривалось как фоновая двигательная активность

($ФА$, ед./мин). Через 7 мин после начала эксперимента воздействовали виброакустическим раздражителем, имитирующим низкочастотный звук (удар по стенке емкости) с частотой 20–150 Гц, воспринимаемый боковой линией рыб. Количество пересечений линий сетки оценивалось как $РА1$ (ед./мин). На девятой минуте над установкой включали свет мощностью 250–300 люкс, фиксируя реакцию рыб на кратковременный световой раздражитель ($Р2$, ед./мин). Освещенность измерялась люксметром. Этот раздражитель воздействует на зрительные доли головного мозга. Через 10 мин от начала эксперимента осуществляли воздействие постоянным светом ($Р3$, ед./мин).

Показатели активации двигательной активности и реактивность на раздражители рассчитывали по формулам (2) и (3) соответственно:

$$ПА \% = ОА / ФА \times 100 \%, \quad (2)$$

где $ПА$ % – показатель активации; $ОА$ – ориентировочная двигательная активность, ед./мин; $ФА$ – фоновая двигательная активность, ед./мин.

$$ПР \% = РА / ФА \times 100 \%, \quad (3)$$

где $ПР$ % – показатель реактивности; $РА$ – реактивность, ед./мин; $ФА$ – фоновая двигательная активность, (ед./мин).

Для определения жизнестойкости молоди применяли метод функциональных нагрузок [14], тестируя по показателям терморезистентности (32°C) и солеустойчивости (12 %). Опыты по тестированию молоди проводили в пластиковых емкостях объемом 20 л при аэрации воды с помощью компрессоров. В каждую емкость было посажено 14 шт. молоди. Продолжительность опытов – 36 ч.

При определении терморезистентности емкости наполняли водой и помещали в них молодь для адаптации заранее, далее включали нагреватели и нагревали воду до 32°C , поддерживая ее на заданном уровне. Колебания температуры не превышали $+0,1^\circ\text{C}$. Время выживания отмечали с момента нагрева воды до 32°C . При определении солеустойчивости раствор с заданной соленостью готовили заранее, затем помещали молодь в емкости. Содержание кислорода не падало ниже 7 мг/л. Гибель молоди определяли по остановке движения жаберных крышек.

Оценка физиологических показателей осуществлялась на основе гематологических показателей. Биологический материал (цельная кровь) был получен из хвостовой вены прижизненно. Каждая проба формировалась из крови трех особей. Уровень гемоглобина определялся унифицированным фотометрическим методом

цианметгемоглобина с использованием аппарата «МиниГЕМ–540». Концентрацию β -липопротеидов измеряли по методу Бурштейна, гемоглобин – на гемометре ГФ-3, а скорость оседания эритроцитов (СОЭ) – по методу Т.П. Панченкова [15]. Содержание сывороточного белка определялось биуретовым методом с применением набора реактивов «Ольвекс диагностикум», глюкозы энзиматическим колориметрическим методом с использованием набора реагентов «Глюкоза – ольвекс».

Полученные данные были подвергнуты статистической обработке на предмет достоверности различий (при $p < 0,05$). При нормальном распределении данных использовался параметрический критерий Стьюдента, при ненормальном – непараметрический критерий Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные эксперименты по выращиванию молоди стерляди на кормах, в состав которых входили пробиотики разного направления действия ферментативный и антиоксидантный, выявили их эффективность. Все значения параметров роста и использования корма, а также выживаемости показаны в табл. 1. В целом введение испытываемых пробиотиков улучшает показатели роста стерляди. Рыба, выращенная с их использованием, продемонстрировала абсолютный и относительный приросты на 7,77–8,09 % и 8,33 % выше контроля соответственно. Коэффициент упитанности рыб в опытных группах был выше на 5–13 %. Выживаемость рыб во всех группах была высокой: 96–99 %. Применение пробиотиков улучшило использования корма молодью стерляди в опытных группах, получавших корм с пробиотиками, по сравнению с контрольной группой. Кормовые затраты были ниже в опытных группах на 6,7 %.

Таблица 1

Показатели роста и выживаемости стерляди
Growth and survival rates of sterlet

Показатель	Группа		
	1-я опытная	2-я опытная	Контрольная
Масса начальная, г	5,4±0,11	5,21±0,10	5,65±0,33
Масса конечная, г	22,18±0,78	22,04±0,71	21,22±0,81
Абсолютный прирост, г	16,78	16,83	15,57
Среднесуточный прирост,	0,26	0,26	0,24
Среднесуточная скорость роста, %	2,2	2,3	2,1
Коэф. массонакопления, ед.	0,05	0,05	0,05
Коэф. упитанности	0,40±0,01	0,43±0,03	0,38±0,02
Кормовые затраты, ед.	1,4	1,4	1,5
Выживаемость, %	99,42	96,53	96,53

Примечание. $M \pm m$, M – среднее арифметическое; m – ошибка среднего арифметического.

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии изучаемых штаммов микроорганизмов на рыбоводно-биологические показатели. Возможно, длительное использование пробиотиков привело бы к более заметным различиям между исследуемыми группами.

Анализ массы стерляди показал, что молодь контрольной группы имела вес в диапазоне от 2 до 40,54 г, в первой опытной группе – от 4,6 до 44,75 г, а во второй опытной группе – от 4,29 до 36,72 г (рис. 1). Были исследованы наиболее круп-

ные особи в контрольной и экспериментальных группах. Процент молоди с массой более 20 г в первой и второй опытных группах превысил контрольные показатели на 9,65 и 14,75 %, составив 58,16 и 63,26 % соответственно (рис. 2).

В тесте «Открытое поле» у молоди стерляди из 2-й опытной группы было зафиксировано, что ориентировочная активность оказалась ниже, чем в 1-й опытной и контрольной группах, на 3,79 и 1,61 % соответственно, составив 34,8 ед./мин (см. рис. 2). Рыбы из 2-й группы продемонстриро-

вали наивысшие показатели фоновой двигательной активности — 36,78 ед./мин. В 1-й опытной и контрольной группах наоборот произошло

снижение данного показателя на 7,85 и 7,89 % в сравнении с ориентировочной активностью до 33,33 и 32,56 ед./мин соответственно.

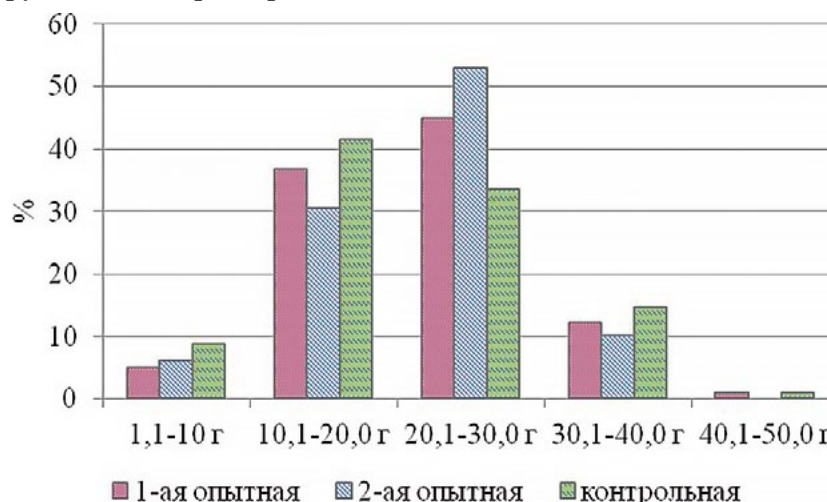


Рис. 1. Распределение молоди стерляди по массе тела в конце эксперимента
Distribution of juvenile sterlet by body weight at the end of the experiment

При воздействии низкочастотного раздражителя двигательная активность увеличилась по сравнению с фоновым уровнем во всех группах, однако реакция на неспецифический виброакустический раздражитель была наиболее выраженной (на 25,55 %) в группе «Опыт 2». В сравнении с первой опытной и контрольной группами реакция на этот раздражитель оказалась выше в 1,2 раза. Реакция на кратковременный световой раздражитель в опытных группах была менее интенсивной по сравнению с первым

воздействием. Активность молоди снизилась на 23,48–30,22 %, что свидетельствует о том, что рыба реагирует затаиванием, в то время как в контрольной группе снижение активности было менее значительным – всего на 7,2 %. На длительное воздействие светом особи из группы «Опыт» показали увеличение активности на 2,83–13,13 %. В контрольной группе двигательная активность при этом раздражителе практически не изменилась и составила 37,6 ед./мин.

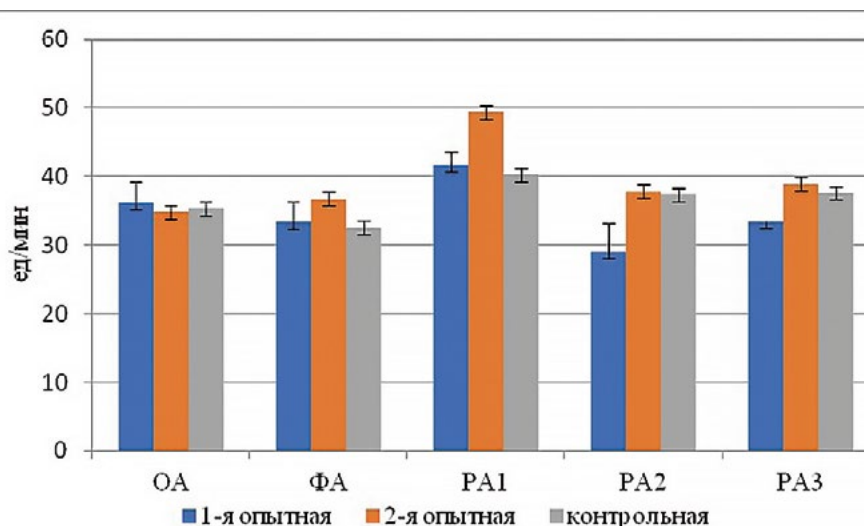


Рис. 2. Изменение поведенческих реакций молоди стерляди в тесте «Открытое поле»
Changes in behavioral responses of juvenile sterlet in the open field test

Примечание. ОА – ориентировочная активность; ФА – фоновая активность; РА1 – реактивность на низкочастотный раздражитель; РА2 – реактивность на кратковременный световой раздражитель; РА3 – реактивность на постоянный световой раздражитель.

В ходе эксперимента было установлено, что у особей опытных групп наблюдается усиление реакции на первичный раздражитель (виброакустический стимул), сопровождающееся последующим резким снижением активности при воздействии второго раздражителя. Это свидетельствует о проявлении защитной реакции (затаивания), свойственной представителям осетровых рыб. В контрольной группе реакция на первичный раздражитель также возрастает, но менее значительно, и в дальнейшем остается практически неизменной. После воздействия третьего раздражителя у особей контрольной группы активность не возвращается к исходному уровню, превышая его на 13,35 %. В то же время у особей опытных групп активность приближается к фоновому уровню.

Дальнейший анализ полученных абсолютных характеристик показал, что отношение ориентировочной активности к фоновой активности (уровень активации) у рыб второй экспериментальной группы оказался на 13,9 % ниже, чем у первой опытной и

контрольной групп (табл. 2). Это связано с тем, что рыбы из первой экспериментальной и контрольной групп проявили более высокую активность при попадании в новую среду. В то же время представители второй опытной группы сначала демонстрировали более сдержанное двигательное поведение, а затем увеличили свою активность, что указывает на их большую реактивность.

Исследование выявило, что при воздействии низкочастотным звуком показатель реактивности у экспериментальных групп был выше на 1,46–10,54 % по сравнению с контролем. В то же время воздействие первичными световыми стимулами сопровождалось снижением этого показателя по сравнению с контрольной группой на 10,53–23,92 %, а вторичными – на 9,72–14,88 % во 2-й и 1-й группах соответственно. Данные результаты свидетельствуют о стабилизации состояния молоди и ее возвращении к базовому (фоновому) уровню двигательной активности.

Таблица 2

Относительные показатели двигательной активности молоди стерляди

Показатель	Группа		
	1-я опытная	2-я опытная	Контрольная
Активация, %	108,52	94,62	108,60
Реактивность после воздействия низкочастотным звуком, %	125,23	134,31	123,77
Реактивность после воздействия кратковременной вспышкой света, %	87,39	102,77	114,86
Реактивность после воздействия постоянным светом, %	100,6	105,76	115,48

Рыба, будучи пойкилотермным холоднокровным животным, особенно чувствительна к температуре воды, которая является одним из ключевых абиотических факторов, влияющих на рост, метаболизм, иммунитет и выживаемость. Каждый вид рыб имеет свой оптимальный температурный диапазон, в котором они демонстрируют наилучшие показатели роста и продуктивности. Температура, превышающая физиологические пределы для конкретного вида, вызывает стрессовую реакцию, что может негативно сказаться на иммунной функции рыб. Негативные последствия субоптимальной температуры привлекли внимание исследователей, которые ищут эффективные методы защиты рыб, выращиваемых в условиях изменяющейся окружающей среды. Одной из стратегий, способной улучшить иммунитет рыб, является использование пробиотиков.

Принцип функциональных нагрузок дает возможность оценить, насколько молодь способна

выживать в условиях воздействия экстремальных физических и химических раздражителей. Это позволяет определить степень жизнестойкости, а точнее – физиологическую полноценность или сформированность молоди [14].

В ходе экспериментов по терморезистентности при повышении температуры воды с 22 до 30 °С, которое происходило в течение трех часов, отмечено увеличение двигательной активности молоди и усиление дыхания. В последующие три часа, при повышении температуры до 32 °С, эти реакции становятся более выраженными. Наблюдается постепенное нарушение координации движений, снижение двигательной активности и угнетение дыхания. В конечной стадии у погибающей молоди отмечается потеря равновесия, резкие конвульсивные движения и прерывистое дыхание.

Терморезистентность молоди 1-й опытной группы оказалась в среднем равна 16,57 ч, что выше

2-й опытной группы и контрольной в 1,4–1,6 раза (рис. 3).

При помещении молоди в солевой раствор наблюдалось незначительное повышения двигательной активности с последующей постепенной ее нормализацией. Первая гибель рыб отмечена

через 22–24 ч. При тестировании по отношению к солёности менее устойчивой была молодь стерляди в контроле: максимальный период выживания ее до момента гибели составил 23,64 ч, что достоверно ниже ($P \leq 0,01$) опытных групп на 7,0–10,8 % (см. рис. 3).

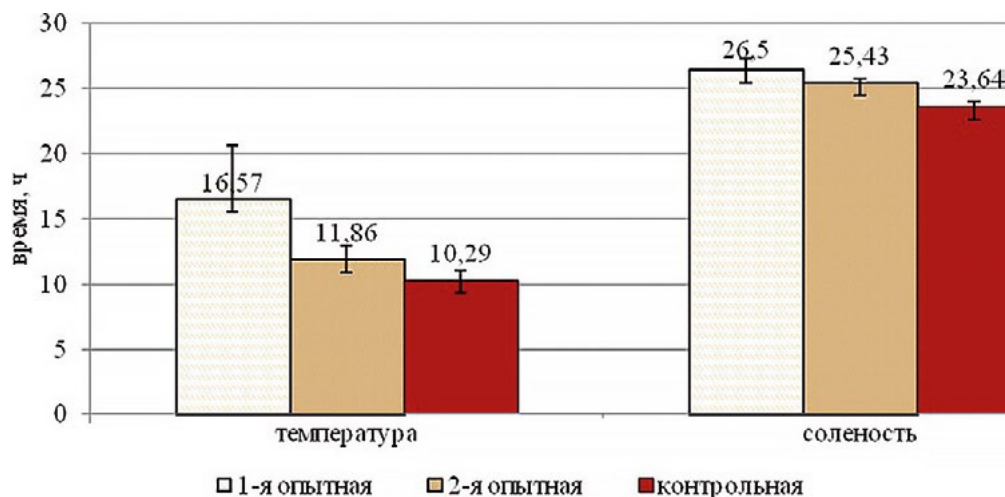


Рис. 3. Среднее время выживания молоди стерляди при температурном и солевом шоке
Average survival time of juvenile sterlet under temperature and salt shock

Для более полной характеристики уровня терморезистентности и солёности определяли не только время выживания, но и процент выживания молоди в течение эксперимента.

Гибель первых особей в 2-й опытной и контрольной группе была зафиксирована спустя 6 ч после начала тестирования на термоустойчивость (рис. 4). У рыб отмечали потерю рефлекса равновесия, резкие конвульсивные движения, прерывистое дыхание. Во второй опытной группе гибель

началась через 8 ч, при этом выживаемость на тот момент составила 85,7 %. Через 13 ч от начала выдерживания в контрольной группе погибло 100 % особей, во 2-й опытной группе молодь полностью погибла через 17 ч.

При этом необходимо отметить, что молодь 1-й опытной группы оказалась чрезвычайно выносливой и выживаемость ее составила 50 %, т. е. по истечении 1,5 сут рыбы оставались живы и активно двигались, адаптировавшись к температуре 32 °С.

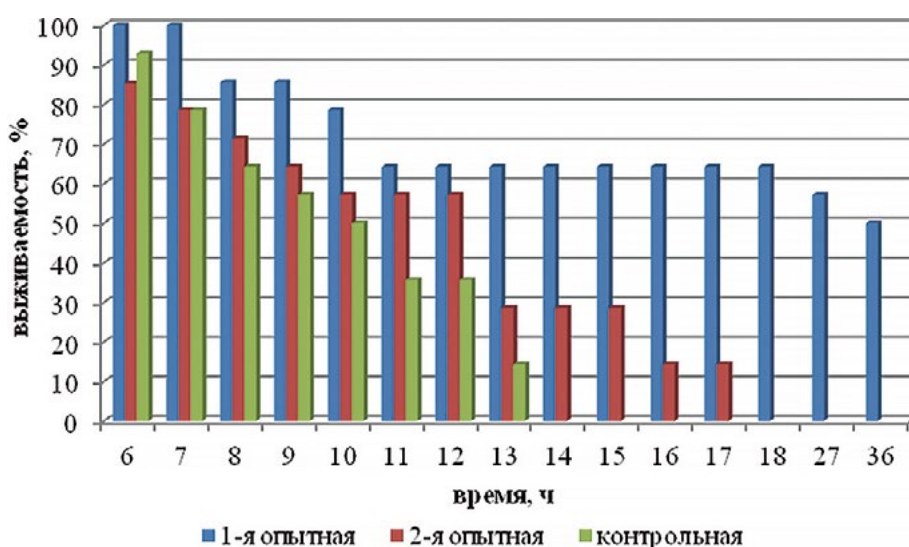


Рис. 4. Показатели терморезистентности молоди стерляди
Thermal resistance indices of young sterlet

Жизнестойкость молоди при экстремальной солевой нагрузке оказалась наиболее высокой в 1-й опытной группе (рис. 5). Несмотря на то, что гибель рыбы началась раньше на 2 ч по сравне-

нию со 2-й опытной группой, общая продолжительность жизни 7,1 % молоди при солёности была больше на 6 ч. В контрольной группе 100 % молоди погибло в течение 22–24 ч.

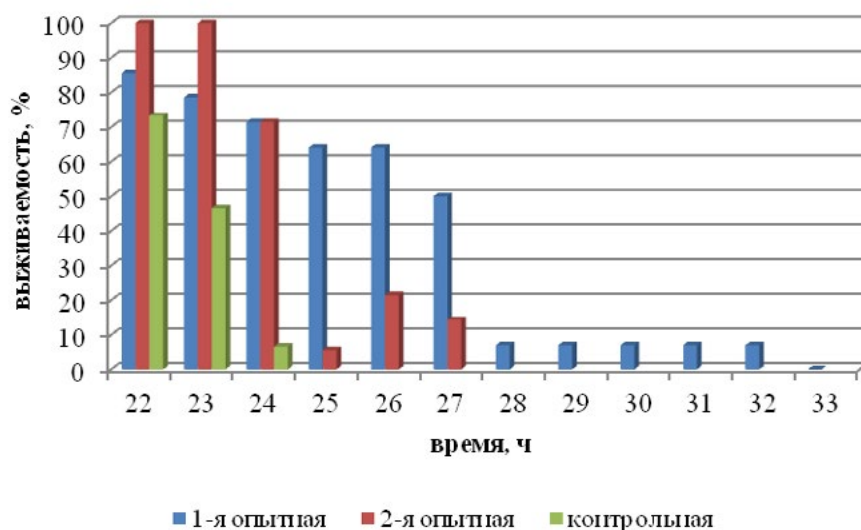


Рис. 5. Показатели солеустойчивости молоди стерляди
Salt tolerance indicators of young sterlet

В ходе оценки качества выращенной молоди было установлено, что рыбы, получавшие корма с экспериментальными пробиотическими добавками, проявляли большую устойчивость к повышенной температуре и солёности.

Предыдущие исследования продемонстрировали, что в условиях высоких температур и неблагоприятной окружающей среды пробиотики способны модулировать состав кишечной микрофлоры, увеличивать активность пищеварительных ферментов, производить антагонистические соединения против патогенных микроорганизмов, снижать уровень стресса [16–21].

Добавление пробиотиков в корм или воду для выращивания может оказать положительное влияние на хозяев, способствуя улучшению роста, иммунной функции и реакции на стресс за счет оптимизации микробиотического баланса [22–25]. Например, иммуностимулирующие пробиотики, такие как *Aspergillus oryzae*, снижали негативное воздействие солёности [26] и гипоксии [27] путем уменьшения уровня глюкозы в крови, кортизола, малонового диальдегида, аланинтрансаминазы и аспартаттрансаминазы, а также увеличения активности антиоксидантов, сывороточных белков, активности лизоцима и иммуноглобулина у нильской тилляпии. Пробиотики улучшили неспецифический иммунитет и устойчивость к тепловому стрессу у японской камбалы [28], а

также увеличили рост и устойчивость к стрессу у морского леща [29]. Кроме того, после применения пробиотиков у *O. niloticus* были обнаружены заметные улучшения в биохимии крови, иммунитете, росте и устойчивости к стрессу [30–31].

Анализ гематологических показателей позволяет оценить реакцию организма на определенные виды стрессовых воздействий и выявить патологические изменения, вызванные неблагоприятными факторами среды. Исследования установили статистически значимое ($P \leq 0,05$) снижение уровня гемоглобина у контрольной группы на 11,8–14,3 % по сравнению с экспериментальными группами. Более высокий уровень гемоглобина может способствовать усилению обмена веществ и повышению адаптационных возможностей к выживанию в неблагоприятных условиях [33, 34].

Следует отметить, что у молоди стерляди уровень гемоглобина оказался ниже физиологической нормы для осетровых рыб из естественных водоемов (50,0–80,0 г/л) [35]. При этом, как показали ранее проведенные исследования, выращивание осетровых в условиях замкнутых водных систем (УЗВ) сопровождается более низким уровнем гемоглобина по сравнению с естественной средой обитания и условиями тепловодного хозяйства. Также у молоди отмечается сниженная концентрация гемоглобина в крови (от 24 до 47 г/л) и об-

щего белка в сыворотке крови (от 8,0 до 20,0 г/л) по сравнению с рыбами более старшего возраста. С увеличением возраста и массы тела увеличивается содержание гемоглобина и сывороточных белков в крови, что обусловлено нормализацией обменных процессов в организме [36].

Средний уровень концентрации сывороточного белка у рыб в контрольной группе оказался выше, чем в опытных на 11,4–16,9 %. В контрольной группе этот показатель находился в пределах нижней границы нормы, составляя 20–25 г/л [37]. Как уже упоминалось, более низкое содержание белка в сыворотке крови может быть связано с возрастными особенностями стерляди. У рыб, получавших комбикорм с пробиотическими добавками, снижение уровня белка, вероятно, объясняется тем, что белок расходуется на более интенсивный рост. В ранее проведенном исследовании, посвященном влиянию пробиотика «Субтилис» на рыбоводно-биологические и гематологические показатели стерляди, также было отмечено снижение концентрации общего белка в сыворотке крови у младших возрастных групп рыб, что связано с увеличением их роста [38].

У стерляди опытных групп отмечено снижение содержания глюкозы в сыворотке крови до 1,14 и 1,15 ммоль/л, в то время как в контрольной группе оно было больше на 28 % (табл. 3). Нормальный диапазон значений данного показателя

у осетровых составляет от 2,0 до 4,0 ммоль/л [38]. Однако у осетровых наблюдаются более выраженные колебания уровня глюкозы, которые варьируют от 1 до 11 ммоль/л [39].

Уровень глюкозы в крови представляет собой важный показатель гомеостаза у водных организмов. Увеличение концентрации глюкозы в крови указывает на активный распад гликогена в печени или на недостаточное потребление глюкозы тканями, в то время как снижение уровня глюкозы свидетельствует об истощении запасов гликогена в печени или о высоком потреблении глюкозы клетками организма. Изменения в уровне глюкозы в крови позволяют оценить скорость ее аэробного окисления в тканях во время мышечной активности и степень мобилизации гликогена из печени [37].

Скорость оседания эритроцитов находилось в норме, которая для осетровых составляет 1–6 мм/ч. Можно отметить более высокое значение СОЭ у рыб из 1-й опытной группы, превышающее таковое у самок контрольной и 2-й опытной групп на 3,9–9,6 %, что может свидетельствовать о небольшом стрессовом состоянии этих рыб [40]. Значение β -липопротеидов было наиболее высоким у рыб контрольной группы 6,65 мг/л, что выше 1-й и 2-й опытной групп на 16,2 и 37,4 % соответственно.

Таблица 3

Физиолого-биохимические показатели крови молоди стерляди
Physiological and biochemical parameters of blood of young sterlet

Показатель	Группа		
	1-я опытная	2-я опытная	контрольная
Гемоглобин, г/л	42,0 $\pm$ 1,35*	40,8 $\pm$ 1,88*	36,0 $\pm$ 2,83
Скорость оседания эритроцитов, мм/ч	1,78 $\pm$ 0,19	1,61 $\pm$ 0,23	1,71 $\pm$ 0,21
Глюкоза, ммоль/л	1,14 $\pm$ 0,16	1,15 $\pm$ 0,07*	1,6 $\pm$ 0,20
Общий белок, г/л	17,9 $\pm$ 2,17	16,79 $\pm$ 1,11	20,2 $\pm$ 1,43
β -липопротеиды, г/л	5,57 $\pm$ 1,71	4,16 $\pm$ 0,54	6,65 $\pm$ 0,80

Примечание. 1. * – Различия достоверны с контрольной группой при $P \leq 0,05$.

2. $M \pm m$, M – среднее арифметическое; m – ошибка среднего арифметического.

В результате оценки эффективности введения в состав рецептуры продукционного осетрового комбикорма пробиотических добавок было установлено увеличение продуктивности выращивания стерляди в промышленных условиях.

Следует отметить, что препарат с повышенной ферментативной активностью обладал большим протекторным действием при помещении

рыб в экстремальные условия. Этот эффект был несколько неожиданным, так как в основе патогенеза как минимум теплового стресса лежат процессы свободно-радикального окисления.

Полученные биологические и физиологические показатели позволяют рекомендовать пробиотические добавки нового поколения в составе комбикормов для выращивания осетровых в ин-

дустриальных условиях, так как они увеличивали показатели роста, выживаемости, снижение кормовых затрат, способствовали стабилизации физиологического состояния у выращиваемых рыб.

ВЫВОДЫ

1. Введение пробиотиков нового поколения антиоксидантного и ферментативного действия в корма для молоди стерляди оказало положительное действие на рост рыб, в опытных группах абсолютный и относительный прирост массы был выше на 7,7 % при достаточно высоком коэффициенте упитанности и высокой выживаемости 96–99 %.

2. Анализ распределения массы в исследуемых группах рыб показал, что в опытах процент рыб с более высокой массой тела был выше на 9,65 и 14,75 %, составив 58,16 и 63,26 % соответственно.

3. Молодь стерляди, выращенная на комбикорме с пробиотиками ферментативного действия, показывает более адекватное поведение в ориентировочной ситуации и выраженные реакции на сенсорные раздражители. В незнакомой обстановке

молодь стерляди, получавшая комбикорм с антиоксидантной пробиотической добавкой, демонстрирует замедленную ориентировочную реакцию (реакция затаивания). В дальнейшем у нее наблюдается незначительное возбуждение, увеличение фоновой активности и значительное повышение двигательной активности в ответ на раздражители.

4. Реактивность на внешние раздражители у рыб из опытных групп на первый раздражитель (низкочастотный звук) была выше на 1,46–10,54 %, а при воздействии световых стимулов (кратковременная вспышка – на 12,09–27,44 %, постоянный свет – на 9,72–14,88 %) она снижалась по сравнению с контролем, достигая уровня фоновой активности, в то время как в контрольной группе реакция оставалась на прежнем уровне.

5. В ходе оценки качества выращенной молоди было установлено, что рыбы, получавшие корма с экспериментальными пробиотическими добавками, проявляли большую устойчивость к повышенной температуре и солености. Рыбы 1-й опытной группы проявили самую высокую терморезистентность и солеустойчивость.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-76-30006.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. – P. 264. – DOI: 10.4060/cd0683en.
2. FAO. 2023. International markets for fisheries and aquaculture products – Fourth issue 2023, with January–June 2023 statistics. GLOBEFISH Highlights, No. 4–2023. – P. 73 Rome. – DOI: 10.4060/cc9176en.
3. Коллегия. Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2023 году и задачи на 2024 год. Материалы к заседанию. 2024. URL: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf> (дата обращения: 10.06.2024)
4. Recent trends in aquaculture technologies / P. Ruby, B. Ahilan, A. Cheryl, S. Selvaraj // Aqua Trop. – 2022. – Vol. 37, No. 1–4. – P. 29–36. – DOI: 10.32381/JAT.2022.37.1-4.2.
5. Преимущества использования пробиотиков на основе молочнокислых бактерий в аквакультуре / А.В. Чижаева, Е.А. Олейникова, А.А. Амангелды, А.Ж. Алыбаева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 9. – С. 12–16.
6. Putri A.K., Permatasari I.M.N., Anjaini J. Application of probiotics in aquaculture jfas // J. Food. Agri. Sci. Lowl. Coast. Area – 2024. – Vol. 1 (2). – P. 24–36. – URL: <https://jfas.upnjatim.ac.id/index.php/jfas/index> (дата обращения 11.06.2024).
7. Jorgen S. Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Report of a joint FAO/WHO expert consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. FAO/WHO. Archived from the original 2012. – URL: <https://www.fao.org/4/y6398e/y6398e.pdf> (дата обращения: 10.06.2024).
8. Функ И.А., Огт Е.Ф. Подбор пробиотических микроорганизмов в состав нового биопрепарата для сельскохозяйственных животных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 3 (68). – С. 302–308. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-302-308.
9. Complex Bioactive Supplements for Aquaculture—Evolutionary Development of Probiotic Concepts / N.A. Ushakova, V.G. Pravdin, L.Z. Kravtsova. [et al.] // Probiotics and Antimicrobial Proteins, 2021. – Vol. 13 (6). – P. 1696–1708. – DOI: 10.1007/s12602-021-09835-y.

10. *Probiotic* Bacillus amyloliquefaciens B-1895 / E.N. Ponomareva, M.N. Sorokina, V.A. Grigoriev [et al.] // Improved Growth of Juvenile Trout. Food Science of Animal Resources. – 2024. – Vol. 44 (4). – P. 805–816. – DOI: 10.5851/kosfa.2023.e75.
11. Миралимова Ш.М., Чистяков В.А., Пепоян А.З. Полифункциональные пробиотики в аквакультуре // Информационный бюллетень РЦНИ. – 2022. – № 2. – С. 59–66. – URL: https://www.rfbr.ru/view_book/3360/ (дата обращения 10.06.2024).
12. Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. – М.: ВНИРО, 2006. – 360 с.
13. Никоноров С.И., Витвицкая Л.В. Эколого-генетические проблемы искусственного воспроизводства осетровых и лососевых рыб. – М.: Наука, 1993. – 254 с.
14. Лукьяненко В.И., Касимов Р.Ю., Кокоза А.А. Возрастно-весовой стандарт заводской молоди каспийских осетровых: экспериментальное обоснование. – Волгоград: ИБВВ АН СССР, 1984. – 229 с.
15. Методы исследования в профпатологии (биохимические). – М.: Медицина, 1988. – 206 с.
16. Effects of probiotic supplementation of a plant-based protein diet on intestinal microbial diversity, digestive enzyme activity, intestinal structure, and immunity in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) / W.J. Jang, J.M. Lee, M.T. Hasan [et al.] // Fish. Shellfish Immunol. – 2019. – Vol. 92. – P. 719–727 – DOI: 10.1016/j.fsi.2019.06.056.
17. Probiotic yeast enhances growth performance of rohu (*Labeo rohita*) through upgrading hematology, and intestinal microbiota and morphology / N. Jahan, S.M.M. Islam, M.F. Rohani [et al.] // Aquaculture. – 2021. – Vol. 545. – Art. 737243 – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737243.
18. Effects of immunostimulants, prebiotics, probiotics, symbiotics, and potentially immunoreactive feed additives on olive flounder (*Paralichthys olivaceus*): a review / M.T. Hasan, W.J. Jang, J.M. Lee [et al.] // Rev. Fish. Sci. Aquac. – 2019. – Vol. 27. – P. 417–437 – DOI: 10.1080/23308249.2019.1622510.
19. Dietary administration of probiotic Lactobacillus rhamnosus modulates the neurological toxicities of perfluorobutanesulfonate in zebrafish / M. Liu, S. Song, C. Hu [et al.] // Environ. Pollut. – 2020. – Vol. 265. – Art. 114832. – DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114832.
20. The effects of dietary clinoptilolite and chitosan nanoparticles on growth, body composition, haemato-biochemical parameters, immune responses, and antioxidative status of Nile tilapia exposed to imidacloprid / N.E.M. Ismael, S.A.A. Abd El-hameed, A.M. Salama [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2021. – Vol. 28. – P. 29535–29550 – DOI: 10.1007/s11356-021-12693-4.
21. Kewcharoen W., Srisapoom P. Probiotic effects of Bacillus spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to Vibrio parahaemolyticus (AHPND strains) // Fish. Shellfish Immunol. – 2019. – Vol. 94. – P. 175–189. – DOI: 10.1016/j.fsi.2019.09.013.
22. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids / D.L. Merrifield, A. Dimitroglou, A. Foey [et al.] // Aquaculture. – 2010. – Vol. 302. – P. 1–18. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.02.007.
23. Multi-species probiotics improve growth, intestinal microbiota and morphology of Indian major carp mrigal *Cirrhinus cirrhosus* / M.K. Hossain, M.M. Hossain, Z.T. Mim [et al.] // Saudi J. Biol. Sci. – 2022. – Vol. 29. – Art. 103399. – DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.103399.
24. Multi-species probiotics enhance growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through upgrading gut, liver and muscle health / M.K. Hossain, S.M.M. Islam, S.M. Rafiquzzaman [et al.] // Aquac. Res. – 2022. – Vol. 53. – P. 5710–5719. – DOI: 10.1111/are.16052.
25. Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish / M.F. Rohani, S.M. Islam, M.K. Hossain [et al.] // Fish. Shellfish Immunol. – 2022. – Vol. 120. – P. 569–589. – DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.037.
26. Dietary Aspergillus oryzae Modulates Serum Biochemical Indices, Immune Responses, Oxidative Stress, and Transcription of HSP70 and Cytokine Genes in Nile Tilapia Exposed to Salinity Stress / M. Shukry, M.F. Abd El-Kader, B.M. Hendam [et al.] // Animals. – 2021/ – Vol. 11. – P. 1621. – DOI: 10.3390/ani11061621.
27. Dawood M.A.O., Abo-Al-Ela H.G., Hasan M.T. Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: probiotics, prebiotics and symbiotics scenarios // Fish. Shellfish Immunol. – 2020. – Vol. 97. – P. 268–282. – DOI: 10.1016/j.fsi.2019.12.054.
28. Growth, stress tolerance and non-specific immune response of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* to probiotics in a closed recirculating system / J.Y. Jo, M.J. Jeon, S.C. Bai, W.J. Lee // Nippon Suisan Gakkaishi (Jpn. Ed.). – 2012. – Vol. 78. – P. 660. – DOI: 10.2331/suisan.78.660.
29. Dietary administration of probiotic Pdp11 promotes growth and improves stress tolerance to high stocking density in gilthead seabream *Sparus auratus* / J.L. Varela, I. Ruiz-Jarabo, L. Vargas-Chacoff [et al.] // Aquaculture. – 2010. – Vol. 309. – P. 265–271. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.029.
30. Islam S.M.M., Rohani M.F., Shahjahan M. Probiotic yeast enhances growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through morphological modifications of intestine // Aquac. Rep. – 2021. – Vol. 21. – Art. 100800. – DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100800.

31. *Sutthi N., Thaimuangphol W.* Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth performances, body composition and blood chemistry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) under different salinity conditions // *Iran. J. Fish. Sci.* – 2020. – Vol. 19. – P. 1428–1446. – DOI: 10.22092/ijfs.2019.119254.
32. *Probiotics* relieve growth retardation and stress by upgrading immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during high temperature events / Md K Hossain, A. Naziat, Md Atikullah [et al.] // *Animal Feed Science and Technology.* – 2024. – Vol. 316. – P. 116054. – DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116054.
33. Пронина Г.И., Артеменков Д.В., Петрушин А.Б. Сравнительная характеристика сомов разных видов по гематологическим и биохимическим показателям // *Труды ВНИРО.* – 2017. – Т. 165. – С. 111–117.
34. Влияние компонентов биологически активной добавки для функциональных комплексов кормления на показатели крови рыб / Т.М. Шленкина, Е.М. Романова, В.В. Романов, Л.А. Шадыева // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2021. – № 4 (56). – С. 124–129. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-124-129.
35. Опыт выращивания гибрида «русский осетр × ленский осетр» (*Acipenser queldenstqdtii brandt et ratzeburg*, 1833 × *Acipenser baerii*, brandt 1869) в установке замкнутого водоснабжения / О.А. Левина, И.П. Степанова, Г.Ф. Металлов, М.Н. Сорокина // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания.* – 2015. – № 3 (7). – С. 17–25.
36. Оценка физиологического состояния осетра при выращивании в условиях индустриальных хозяйств / А.А. Иванов, П.П. Головина, Н.Н. Романова, О.В. Корабельникова // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии.* – 2008. – № 4. – С. 81–85.
37. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Референсные значения физиолого-иммунологических показателей гидробионтов разных видов // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство.* – 2015. – № 4. – С. 103–108.
38. Сементина Е.В., Серпунин Г.Г. Влияние пробиотика «Субтилис» на гематологические показатели разновозрастной стерляди, выращиваемой в установке с замкнутым водоснабжением // *Инновации в науке и образовании* – 2010: тр. VIII Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию образования университета. В 3-х ч., Калининград, 19–21 октября 2010 г. Ч. 1. – Калининград, 2010. – С. 118–121.
39. Гематологические параметры молоди стерляди на фоне совместного использования культуры *Bacillus subtilis* и наночастиц сплава Cu-Zn / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова [и др.] // *Животноводство и кормопроизводство.* – 2018. – Т. 101, № 3. – С. 100–109.
40. Некоторые аспекты управления репродукционной функцией у самок осетровых рыб / Е.Н. Пономарева, П.П. Гераскин, М.Н. Сорокина [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2023. – № 1 (66). – С. 157–170. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-157-170.

REFERENCES

1. FAO. 2024., *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*, Rome, pp. 264, DOI: 10.4060/cd0683en.
2. FAO. 2023., *International markets for fisheries and aquaculture products – Fourth issue 2023*, with January–June 2023 statistics, GLOBEFISH Highlights, No. 4–2023, pp. 73, Rome, DOI: 10.4060/cc9176en.
3. *Kollegiya. Itogi deyatel'nosti Federal'nogo agentstva po rybolovstvu v 2023 godu i zadachi na 2024 god. Materialy k zasedaniyu. 2024* (Collegium. Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2023 and tasks for 2024. Materials for the meeting. 2024), available at: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf> (data obrashcheniya: June 10, 2024). (In Russ.)
4. Ruby P., Ahilan B., Cheryl A., Selvaraj S., Recent trends in aquaculture technologies, *Aqua Trop.*, 2022, Vol. 37, No. (1–4), pp. 29–36, DOI: 10.32381/JAT.2022.37.1-4.2.
5. Chizhaeva A.V., Oleinikova E.A., Amangeldy A.A., Alybaeva A.Zh., *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2021, No. 9, pp. 12–16. (In Russ.)
6. Putri A.K., Permatasari M.N., Anjaini J., Application of probiotics in aquaculture jfas, *J. Food. Agri. Sci. Lowl. Coast. Area*, 2024, Vol. 1(2), pp. 24–36, URL: <https://jfas.upnjatim.ac.id/index.php/jfas/index> (дата обращения: 11.06.2024).
7. Jorgen S., Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria, *Report of a joint FAO/WHO expert consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. FAO/WHO. Archived from the original 2012*, URL: <https://www.fao.org/4/y6398e/y6398e.pdf> (дата обращения: 10.06.2024).
8. Funk I. A., Ott E. F., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 3 (68), pp. 302–308, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-302-308. (In Russ.)

9. Ushakova N.A., Pravdin V.G., Kravtsova L.Z. [et al.], Complex Bioactive Supplements for Aquaculture-Evolutionary Development of Probiotic Concepts, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2021, Vol. 13 (6), pp. 1696–1708, DOI: 10.1007/s12602-021-09835-y.
10. Ponomareva E.N., Sorokina M.N., Grigoriev V.A. [et al.], Probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* B-1895, Improved Growth of Juvenile Trout. *Food Science of Animal Resources*, 2024, Vol. 44 (4), pp. 805–816, DOI: 10.5851/kosfa.2023.e75.
11. Miralimova Sh.M., Chistyakov V.A., Pepoyan A.Z., *Informatsionnyi byulleten' RTsNI*, 2022, No. 2, pp. 59–66, URL: https://www.rfbr.ru/view_book/3360/ (дата обращения: 10.06.2024). (In Russ.)
12. Shcherbina M.A., Gamygin E.A., *Kormlenie ryb v presnovodnoi akvakul'ture* (Fish feeding in freshwater aquaculture), Moscow: VNIRO, 2006, 360 p.
13. Nikonorov S.I., Vitvitskaya L.V., *Ekologo-geneticheskie problemy iskusstvennogo vosпроизводства osetrovyykh i lososyevyykh ryb* (Ecological and genetic problems of artificial reproduction of sturgeon and salmon fish), Moscow: Nauka, 1993, 254 p.
14. Luk'yanenko V.I., Kasimov R.Yu., Kokoza A.A., *Vozrastno-vesovoi standart zavodstkoj molodi kaspiiskikh oetrovykh: eksperimental'noe obosnovanie* (Age and weight standard of the breeder juveniles of the Caspian Sea otters: experimental substantiation), Volgograd: IBVV AN SSSR, 1984, 229 p.
15. *Metody issledovaniya v profpatologii (Biokhimicheskie)* (Research methods in occupational pathology (Biochemical)), Moscow: Meditsina, 1988, 206 p.
16. Jang W.J., Lee J.M., Hasan M.T. [et al.], Effects of probiotic supplementation of a plant-based protein diet on intestinal microbial diversity, digestive enzyme activity, intestinal structure, and immunity in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), *Fish. Shellfish Immunol.*, 2019, Vol. 92, pp. 719–727, DOI: 10.1016/j.fsi.2019.06.056.
17. Jahan N., Islam S.M.M., Rohani M.F., Hossain M.T., Shahjahan M., Probiotic yeast enhances growth performance of rohu (*Labeo rohita*) through upgrading hematology, and intestinal microbiota and morphology, *Aquaculture*, 2021, Vol. 545, Art. 737243, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737243.
18. Hasan M.T., Jang W.J., Lee J.M. [et al.], Effects of immunostimulants, prebiotics, probiotics, symbiotics, and potentially immunoreactive feed additives on olive flounder (*Paralichthys olivaceus*): a review, *Rev. Fish. Sci. Aquac.*, 2019, Vol. 27, pp. 417–437, DOI: 10.1080/23308249.2019.1622510.
19. Liu M., Song S., Hu C., Tang L. [et al.], Dietary administration of probiotic *Lactobacillus rhamnosus* modulates the neurological toxicities of perfluorobutanesulfonate in zebrafish, *Environ. Pollut.*, 2020, Vol. 265, Art. 114832, DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114832.
20. Ismael N.E.M., Abd El-hameed S.A.A., Salama A.M., Naiel M.A.E., Abdel-Latif H.M.R., The effects of dietary clinoptilolite and chitosan nanoparticles on growth, body composition, haemato-biochemical parameters, immune responses, and antioxidative status of Nile tilapia exposed to imidacloprid, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2021, Vol. 28, pp. 29535–29550, DOI: 10.1007/s11356-021-12693-4.
21. Kewcharoen W., Srisapoom P., Probiotic effects of *Bacillus* spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND strains), *Fish. Shellfish Immunol.*, 2019, Vol. 94, pp. 175–189, DOI: 10.1016/j.fsi.2019.09.013.
22. Merrifield D.L., Dimitroglou A., Foey A. [et al.], The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids, *Aquaculture*, 2010, Vol. 302, pp. 1–18, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.02.007.
23. Hossain M.K., Hossain M.M., Mim Z.T. [et al.], Multi-species probiotics improve growth, intestinal microbiota and morphology of Indian major carp mrigal *Cirrhinus cirrhosus*, *Saudi J. Biol. Sci.*, 2022, Vol. 29, Art. 103399, DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.103399.
24. Hossain M.K., Islam S.M.M., Rafiquzzaman S.M. [et al.], Multi-species probiotics enhance growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through upgrading gut, liver and muscle health, *Aquac. Res.*, 2022, Vol. 53, p. 5710–5719, DOI: 10.1111/are.16052.
25. Rohani M.F., Islam S.M., Hossain M.K. [et al.], Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish, *Fish. Shellfish Immunol.*, 2022, Vol. 120, pp. 569–589, DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.037.
26. Shukry M., Abd El-Kader M.F., Hendam B.M. [et al.], Dietary *Aspergillus oryzae* Modulates Serum Biochemical Indices, Immune Responses, Oxidative Stress, and Transcription of HSP70 and Cytokine Genes in Nile Tilapia Exposed to Salinity Stress, *Animals*, 2021, Vol. 11, pp. 1621, DOI: 10.3390/ani11061621.
27. Dawood M.A.O., Abo-Al-Ela H.G., Hasan M.T., Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: probiotics, prebiotics and symbiotics scenarios, *Fish. Shellfish Immunol.*, 2020, Vol. 97, pp. 268–282, DOI: 10.1016/j.fsi.2019.12.054.
28. Jo J.Y., Jeon M.J., Bai S.C., Lee W.J., Growth, stress tolerance and non-specific immune response of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* to probiotics in a closed recirculating system, *Nippon Suisan Gakkaishi (Jpn. Ed.)*, 2012, Vol. 78, pp. 660, DOI: 10.2331/suisan.78.660.

29. Varela J.L., Ruiz-Jarabo I., Vargas-Chacoff L. [et al.], Dietary administration of probiotic Pdp11 promotes growth and improves stress tolerance to high stocking density in gilthead seabream *Sparus auratus*, *Aquaculture*, 2010, Vol. 309, pp. 265–271, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.029.
30. Islam S.M.M., Rohani M.F., Shahjahan M., Probiotic yeast enhances growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through morphological modifications of intestine, *Aquac. Rep.*, 2021, Vol. 21., Art. 100800, DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100800.
31. Sutthi N., Thaimuangphol W., Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth performances, body composition and blood chemistry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) under different salinity conditions, *Iran. J. Fish. Sci.*, 2020, Vol. 19, pp. 1428–1446, DOI: 10.22092/ijfs.2019.119254.
32. Hossain Md.K., Naziat A., Atikullah Md. [et al.], Probiotics relieve growth retardation and stress by upgrading immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during high temperature events, *Animal Feed Science and Technology*, 2024, Vol. 316, pp. 116054, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116054.
33. Pronina G.I., Artemenkov D.V., Petrushin A.B., *Trudy VNIRO*, 2017, Vol. 165, pp. 111–117. (In Russ.)
34. Shlenkina T.M., Romanova E.M., Romanov V.V., Shadyeva L.A., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2021, No. 4 (56), pp. 124–129, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-124-129. (In Russ.)
35. Levina O.A., Stepanova I.P., Metallov G.F., Sorokina M.N., *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2015, No. 3 (7), pp. 17–25. (In Russ.)
36. Ivanov A.A., Golovina P.P., Romanova N.N., Korabel'nikova O.V., *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2008, No. 4, pp. 81–85. (In Russ.)
37. Pronina G.I., Koryagina N.Yu., *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaistvo*, 2015, No. 4, pp. 103–108. (In Russ.)
38. Sementina E.V., Serpunin G.G., *Innovatsii v nauke i obrazovanii – 2010*, (Innovations in Science and Education – 2010), Proceedings of the VIII International Scientific Conference dedicated to the 80th anniversary of the University. In 3 parts, Kaliningrad, October 19–21, 2010. Vol. 1, Kaliningrad, 2010, pp. 118–121. (In Russ.)
39. Miroshnikova E.P., Arinzhanov A.E., Kilyakova Yu.V., Miroshnikova M.S., Malenkina K.A., Miroshnikov I.S., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2018, Vol. 101, No. 3, pp. 100–109. (In Russ.)
40. Ponomareva E.N., Geraskin P.P., Sorokina M.N., Grigor'ev V.A., Kovalyova A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No.1 (66), pp. 157–170. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-157-170. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.Н. Пономарева, доктор биологических наук, профессор
М.Н. Сорокина, кандидат биологических наук, доцент
В.А. Григорьев, кандидат биологических наук
М.С. Мазанко, кандидат биологических наук
В.А. Чистяков, доктор биологических наук

Contribution of the authors:

E.N. Ponomareva, Doctor of biological sciences, professor
M.N. Sorokina, Candidate of biological sciences, docent
V.A. Grigoriev, Candidate of biological sciences
M. S. Mazanko, Candidate of biological sciences
V.A. CHistyakov, Doctor of biological sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЭФФЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЪЕКЦИОННОГО ЛЕВОКАРНИТИНА НА ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ И НА СОСТОЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ КРЫС

Л.И. Сабирзянова, С.П. Ковалев

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: l-sabirzyanova@list.ru

Для цитирования: Сабирзянова Л.И., Ковалев С.П. Эффекты применения инъекционного левокарнитина на весовые коэффициенты и на состояние внутренних органов крыс // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 265–271. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-265-271.

Ключевые слова: L-карнитин, патологоанатомическое вскрытие, лабораторные животные, внутримышечное введение, субхроническая токсичность.

Реферат. L-карнитин – незаменимая аминокислота (строительный блок белка), необходимая для метаболизма жиров и энергии, а также питательное вещество, способствующее нормальной работе сердца и скелетных мышц. Экспериментальные и клинические результаты указывают на целесообразность применения препаратов L-карнитина в ветеринарной практике. На территории Российской Федерации нет зарегистрированной формы левокарнитина в инъекциях для применения у животных разных видов. Цель нашего исследования установить влияние инъекционного L-карнитина на внутренние органы лабораторных животных. При изучении субхронической токсичности животные были распределены на три группы по десять голов в каждой. Препарат вводили внутримышечно ежедневно в течение 42 дней, первой группе – в дозе 0,08 мг/кг, второй группе 0,04 мг/кг, третья группа была контрольной. Забой 50 % крыс с целью отбора биологического материала проводили на следующий день после окончания введения препарата (43-й день эксперимента), у оставшихся животных – через 10 дней после прекращения инъекции (53-й день). Патологоанатомическое исследование трупов непродуктивных животных было произведено согласно ГОСТ Р 57547–2017. Для обработки данных был использован статистический критерий Манна–Уитни. При патологоанатомическом исследовании (вскрытие) трупов лабораторных животных на 43-й и 53-й день эксперимента патологоанатомическая картина не изменилась, однако были выявлены единичные изменения в сердце и печени у крыс опытных групп. Отсутствие статистически значимых изменений со стороны весовых коэффициентов может свидетельствовать об устойчивости данного показателя при применении левокарнитина в изучаемых дозировках и сроках введения.

EFFECTS OF INJECTING LEVOCARNITINE ON WEIGHT COEFFICIENTS AND PATHOLOGICAL PICTURE OF RATS

L.I. Sabirzyanova, S.P. Kovalev

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

E-mail: l-sabirzyanova@list.ru

Keywords: L-carnitine, autopsy, laboratory animals, intramuscular administration, subchronic toxicity.

Abstract. L-carnitine is an essential amino acid (a building block of protein) required for fat and energy metabolism, and a nutrient that promotes normal functioning of the heart and skeletal muscles. Experimental and clinical results indicate the feasibility of using L-carnitine preparations in veterinary practice. There is no registered form of Levocarnitine injectables for use in animals of different species in the Russian Federation. The aim of our study was to establish the effect of injectable L-carnitine on the internal organs of laboratory animals. When studying subchronic toxicity, the animals were divided into 3 groups of 10 animals each. The drug was administered intramuscularly daily for 42 days, to the first group at a dose of 0.08 mg / kg, to the second group 0.04 mg / kg, the third group was a control. Slaughter of 50% of the rats for the purpose of collecting biological material was carried out the next day after the end of the drug administration (43rd day of the experiment), in the remaining animals - 10 days after the end of the injection (53rd day). Pathological examination of the corpses

of unproductive animals was carried out in accordance with GOST R 57547-2017. The Mann-Whitney statistical criterion was used to process the data. During the pathological examination (autopsy) of the corpses of laboratory animals on days 43 and 53 of the experiment, the pathological picture did not change, but isolated changes were found in the heart and liver of rats in the experimental groups. The absence of statistically significant changes in the weight coefficients may indicate the stability of this indicator when using levocarnitine in the studied dosages and administration times.

Л-карнитин – незаменимая аминокислота (строительный блок белка), необходимая для метаболизма жиров и энергии, а также питательное вещество, способствующее нормальной работе сердца и скелетных мышц. Данная аминокислота способствует транспортировке жирных кислот из цитозоля (внутриклеточной жидкости клетки) в митохондрии (энергетическую фабрику клетки). Это позволяет клетке использовать жир для производства энергии, что особенно полезно для работы мозга и сердца, а также для движения мышц [1, 2]. Исследования показали, что Л-карнитин улучшает функцию клеток миокарда (клеток, которые заставляют сердце сокращаться) и действует как антиоксидант. Он удаляет свободные радикалы, которые могут повредить клетки и ДНК. Л-карнитин, как правило, безопасен для применения, однако есть ряд заболеваний, когда Л-карнитин требуется применять с осторожностью [3, 4]. Что касается ветеринарии, то нет документально подтвержденных случаев побочных эффектов от Л-карнитина.

Обзор многочисленных опубликованных исследований подтверждает возможность применения Л-карнитина в качестве профилактического и терапевтического средства в ветеринарной практике [5, 6]. Совокупный объем фактических данных, указывающих на благоприятное влияние применения Л-карнитина для лечения и профилактики различных патологий, включает в себя широкий спектр результатов: карнитин принимает участие в осуществлении многих функций в организме, таких как катаболизм липидов, производство энергии, кардиопротекторные, гастропротекторные, антиапоптотические и нейропротекторные свойства [7, 8]. Карнитин благотворно влияет на продуктивность животных, повышая устойчивость к заболеваниям обмена веществ, предотвращает ряд заболеваний, укрепляет иммунную систему и играет важную роль в метаболических и физиологических процессах [9, 10].

На сегодняшний день на территории Российской Федерации нет зарегистрированной инъекционной лекарственной формы левокарнитина для ветеринарного применения. Исходя из вышесказанного, целью нашей работы была оценка

влияния инъекционной формы Л-карнитина на внутренние органы лабораторных животных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках выполнения научно-исследовательской работы по теме «Изучение токсикологических свойств кормовой добавки «Protigen» была проведена оценка влияния инъекционной формы Л-карнитина на состояние внутренних органов крыс. Исследования токсичности были проведены на 30 аутбредных крысах на базе кафедры фармакологии и токсикологии Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины. Эксперимент по изучению влияния применения инъекционного левокарнитина был проведен на крысах ♀ весом 190–210 г, закупленных в Федеральном государственном унитарном предприятии «Питомник лабораторных животных «РАППОЛОВО».

При изучении влияния Л-карнитина на внутренние органы животные были распределены на три группы по десять голов в каждой.

Первая экспериментальная группа ($n = 10$) ежедневно в течение 42 дней получала препарат внутримышечно в дозе 0,08 мг/кг (1/5 от 2000 мг/кг). Вторая экспериментальная группа ($n = 10$) получала лекарственный препарат внутримышечно в дозе 0,04 мг/кг (1/10 от 2000 мг/кг). Крысам контрольной группы ($n = 10$) вводили внутримышечно натрия хлорид 0,9 % в дозе 1/5 от 2000 мг/кг. Дозы определялись на основании результатов опыта по острой токсичности: 1/5 и 1/10 от максимальной переносимой дозы.

Забой 50 % крыс с целью отбора биологического материала проводили на следующий день после окончания введения препарата (43-й день эксперимента), у оставшихся животных – через 10 дней после прекращения инъекции (53-й день).

Патологоанатомическое исследование трупов непродуктивных животных было произведено согласно ГОСТ Р 57547–2017 [11]. Процесс некропии включает следующие ключевые этапы: труп лабораторного животного помещался на спину и фиксировался в специальном лотке, затем шерсть на шее, груди и брюшной стенке

обрабатывалась антисептическим раствором. Кожа в нижней части живота надрезалась, выполнялся продольный разрез по белой линии живота с сохранением целостности брюшной стенки. Кожу в области брюшной стенки отсекали тупыми ножницами, создавая два вертикальных разреза кожи от середины к конечностям, которые затем фиксировались иглками. Молочные железы удалялись путем иссечения кожного участка в паховой области, а поверхностные лимфатические узлы извлекались. Брюшную полость вскрывали разрезом мышечной стенки от паха вдоль средней линии, а грудную – двумя косыми разрезами по бокам от грудины. Сердце извлекалось путем перерезания связывающих сосудов, легкие, трахея и пищевод – через область шеи. Грудную часть аорты вырезали, селезенку извлекли из левого подреберья, желудок очищали от содержимого, тонкую и толстую кишки извлекали короткими фрагментами, печень – путем разрезания связующих связок, а почки – после отделения от окружающих тканей. Исходя из литературных данных, левокарнитин оказывает влияние на сердечно-сосудистую систему, печень и почки, поэтому при длительном применении левокарнитина в первую очередь оценивали данные органы [10].

С целью определения весовых коэффициентов органов крыс, животных лишали корма на

ночь перед нероскопией, оставляя свободный доступ к воде. Массу тела определяли непосредственно перед некропсией. Рассчитывали процентное отношение массы органа к массе тела, определенной непосредственно перед некропсией [12].

Все манипуляции с животными проводились согласно правилам асептики и антисептики [13–15]. Для обработки данных был использован статистический критерий Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Патологоанатомическое исследование (вскрытие) трупов лабораторных животных осуществляли с соблюдением всех процедурных этапов. Внутримышечное введение левокарнитина в течение 42 дней не привело к статистически значимым изменениям весовых коэффициентов внутренних органов крыс опытных групп относительно контрольной, отсутствие влияния препарата на данный показатель сохранялось и через 10 дней после прекращения применения препарата (табл. 1, 2). Авторы при исследовании влияния L-карнитина на потерю веса и состав тела крыс также не выявили эффектов применения изучаемого вещества на весовые показатели [16].

Таблица 1

Сравнение коэффициентов внутренних органов опытной группы 1 с контрольной группой на 43-й день и 53-й день
Comparison of the coefficients of internal organs of the experimental group 1 with the control group on the 43rd day and 53rd day

Орган	Группа 1 (0,08 мг/кг), 43-й день		Группа 1 (0,08 мг/кг), 53-й день		Контрольная группа (0,08 мг/кг), 53-й день		Контрольная группа (0,08 мг/кг), 53-й день		Р (43-й день)	Р (53-й день)
	М ± SEM	Сv,%	М ± SEM	Сv,%	М ± SEM	Сv,%	М ± SEM	Сv,%		
Легкие	3,3 ± 0,2	16,8	3,5 ± 0,1	8,6	3,6 ± 0,2	15,1	3,3 ± 0,1	5,2	0,6761	0,4633
Печень	14,0 ± 0,7	11,6	15,3 ± 0,7	10,2	15,6 ± 0,6	9,0	14,7 ± 0,6	9,6	0,1437	0,5309
Почки_L	1,2 ± 0,1	11,8	31,4 ± 30,1	214,5	1,2 ± 0,1	9,1	1,4 ± 0,1	9,5	0,4621	0,6761
Почки_R	1,2 ± 0,0	7,3	1,3 ± 0,1	9,1	1,3 ± 0,0	6,9	1,3 ± 0,1	9,2	0,6752	0,8341
Селезёнка	1,0 ± 0,1	18,8	1,2 ± 0,1	13,2	1,2 ± 0,1	17,2	1,2 ± 0,1	9,6	0,0593	0,7533
Сердце	1,3 ± 0,0	6,0	1,3 ± 0,1	10,2	1,5 ± 0,1	10,9	1,3 ± 0,0	4,3	0,1732	0,9166

Таблица 2

Сравнение коэффициентов внутренних органов опытной группы 2 с контрольной группой на 43-й день и 53-й день
Comparison of the coefficients of internal organs of the experimental group 2 with the control group on the 43rd day and 53rd day

Орган	Группа 2 (0,04 мг/кг), 43-й день		Группа 2 (0,04 мг/кг), 53-й день		Контрольная группа (0,04 мг/кг), 43-й день		Контрольная группа (0,04 г/кг), 53-й день		Р (43-й день)	Р (53-й день)
	М ± SEM	Сv,%	М ± SEM	Сv,%	М ± SEM	Сv,%	М ± SEM	Сv,%		
Легкие	3,6 ± 0,5	28,3	3,5 ± 0,2	10,2	3,6 ± 0,2	15,1	3,3 ± 0,1	5,2	0,5309	0,9166
Печень	14,9 ± 1,0	15,5	15,3 ± 0,5	7,4	15,6 ± 0,6	9,0	14,7 ± 0,6	9,6	0,4034	0,3457
Почки_L	1,4 ± 0,1	14,1	1,3 ± 0,1	9,6	1,2 ± 0,1	9,1	1,4 ± 0,1	9,5	0,4621	0,5284
Почки_R	1,3 ± 0,1	13,3	1,3 ± 0,1	10,1	1,3 ± 0,0	6,9	1,3 ± 0,1	9,2	0,6752	0,6761
Селезёнка	1,1 ± 0,1	17,6	1,2 ± 0,1	12,4	1,2 ± 0,1	17,2	1,2 ± 0,1	9,6	0,1679	0,8345
Сердце	1,3 ± 0,0	6,6	1,3 ± 0,0	7,0	1,5 ± 0,1	10,9	1,3 ± 0,0	4,3	0,0947	0,6004

При проведении осмотра на 43-й день приема L-карнитина во время вскрытия в опытной группе 1 у 10 % животных была обнаружена ссадина со струпом у основания хвоста, повреждение кожных покровов не обнаружено. Изменения в месте инъекции было у 20 % крыс из опытной группы 1. У 10 % крыс очаговое кровоизлияние в области большой ягодичной мышцы левой тазовой конечности, у 10 % крыс помимо вышеописанного было еще кровоизлияние в дерме в той же области. Сердце у 10 % крыс из опытной группы 1 имело овальную форму, было упругим, миокард темно-красного цвета. Камеры заполнены небольшим количеством частично свернувшейся крови. Эндокард гладкий, блестящий, без наложений. У 10 % крысы из опытной группы 1 сердце шаровидной формы, упругое, миокард темно-красного цвета. Камеры заполнены небольшим количеством частично свернувшейся крови. Эндокард гладкий, блестящий, без наложений. У 10 % крысы опытной группы 1 был обнаружен геморрагический энтерит в участках тощей и подвздошной кишки. У 10 % крыс опытной группы 1 было обнаружено сильное вздутие ободочной кишки. Величина и форма печени были правильными, без патологических изменений, параметры, характерные для данного вида животных; капсула печени была тонкой, прозрачной; ткань печени имела однородную окраску без кровоизлияний, коричневатый цвет и умеренно плотную консистенцию; у 10 % животных в опытной группе 1 печень имела темно-красный цвет, была упругой консистенции. Серозная оболочка гладкая, блестящая. Края немного притуплены. Без особенностей.

Местнораздражающего действия препарата L-карнитин не выявлено.

На 53-й день исследования было проведено контрольное взвешивание опытных животных с последующей декапитацией для выявления возможных изменений со стороны внутренних органов.

Изменения были у 10 % крыс в опытной группе 1: сердце овальной формы, упругое, миокард темно-красного цвета. Камеры заполнены небольшим количеством частично свернувшейся крови. Эндокард гладкий, блестящий, без наложений. У 10 % крыс в опытной группе 1 сердце шаровидной формы, упругое, миокард темно-красного цвета. Камеры заполнены небольшим количеством частично свернувшейся крови. Эндокард гладкий, блестящий, без наложений. Печень у 10 % крыс в опытной группе 1 была темно-красного цвета, упругой консистенции. Серозная оболочка гладкая, блестящая. Края немного притуплены. Без особенностей.

При вскрытии контрольной группы у 20 % крыс форма сердца была шаровидной, консистенция упругая, миокард бордового цвета. Камеры заполнены небольшим количеством частично свернувшейся крови. Эндокард гладкий, блестящий, без наложений. У 10 % крыс в контрольной группе 1 сердце овальной формы, упругое, миокард темно-красного цвета. Камеры заполнены небольшим количеством частично свернувшейся крови. Эндокард гладкий, блестящий, без наложений. Печень у 20 % крыс в контрольной группе 1 была темно-красного цвета, упругой консистенции. Серозная оболочка гладкая, блестящая. Края немного притуплены. Без особенностей.

Изменения в месте инъекции у крыс, вероятнее всего, связаны с многократным введением препарата в мышцы. Печень у крыс имеет ярко окрашенную коричневую или красновато-коричневую окраску, но может принимать темно-красный оттенок в различных ситуациях. Это может быть обусловлено физиологическими особенностями определенных подвидов крыс, стрессовыми реакциями на неблагоприятные условия окружающей среды, генетическими факторами или метаболическими расстройствами. Однако появление темно-красного оттенка печени не всегда указывает на патологию. Для точной оценки состояния здоровья необходимо провести комплексный осмотр и лабораторные исследования, учитывая цвет печени в контексте всего спектра параметров здоровья животного. Форма сердца у крыс разнообразна, но преимущественно округло-коническая. Она может быть разной, в том числе шаровидной или овальной из-за нескольких факторов, включая генетические особенности, возраст, пол, диету и питание, стресс и условия окружающей среды, генетические модификации, хронические заболевания, физическую активность, гормональные факторы, экспериментальные модели и другие параметры, влияющие на развитие и функцию сердечно-сосудистой системы. Эти факторы могут способствовать различиям в форме сердца между отдельными животными и даже внутри одной популяции, что требует дальнейшего изучения для полной оценки их влияния на морфологию и функцию сердца. У здоровых крыс миокард обычно имеет темно-красный или бордовый цвет. Цвет миокарда может варьироваться в зависимости от возраста и состояния здоровья животного.

В области доклинических исследований используемые животные в своей популяции не являются абсолютно здоровыми. Часть патологии желудочно-кишечного тракта, в том числе геморрагический энтерит и сильное вздутие ободочной кишки, выявленные в ходе научно-исследовательской работы, не относятся к эффектам

исследуемого препарата, а являются следствием проводимых манипуляций или условий содержания. Таким образом, исследователи должны всесторонне рассматривать и анализировать полученные результаты, чтобы достоверно выявить все эффекты тестируемых веществ и учитывать наличие фоновой патологии. Также крайне важно постоянно контролировать здоровье животных, вести учет контрольных данных, в том числе по фоновой патологии колоний лабораторных животных, проводить ретроспективную оценку этих показателей.

Эндогенный синтез карнитина животных, очевидно, был адекватным для обеспечения эффективного бета-окисления жирных кислот во время катаболической фазы. Отсутствие статистически значимых изменений со стороны весовых коэффициентов может свидетельствовать об устойчивости данного показателя при применении левокарнитина в изучаемых дозировках и сроках введения. Однако при более длительном использовании препарата в больших дозировках возможен иной эффект, что вызывает необходимость дальнейших исследований с некоторой корректировкой сроков введения и увеличением разовой дозы.

ВЫВОДЫ

1. При патологоанатомическом исследовании (вскрытие) трупов лабораторных животных на 43-й и на 53-й день исследования патологоанатомическая картина не изменилась, однако были выявлены единичные изменения.

2. Используемая здесь крысиная модель не показала влияния добавок L-карнитина на коэффициент внутренних органов.

3. Полученные результаты обосновывают необходимость дальнейших исследований влияния L-карнитина в инъекционной форме при более длительном использовании и изменении дозировки препарата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *L-Carnitine metabolism, protein turnover and energy expenditure in supplemented and exercised Labrador Retrievers* / J.L. Varney, J.W. Fowler, T.C. McLaughry [et al.] // *J Anim Physiol Anim Nutr.* – 2020. – Vol. 104. – P. 1540–1550. – DOI: 10.1111/jpn.13391.
2. *Иванова Г.В.* Процессы пищеварения и обмена веществ у крупного рогатого скота при скормливании добавок с L-карнитином: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Дубровицы, 2012. – 131 с.
3. *Клименьева Ю.И.* Эффективность использования различных уровней защищенного L-карнитина в рационах высокопродуктивных коров: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Дубровицы, 2017. – 22 с.

4. Ismail A.G., El-Nasharty M.A., El-Far A.H. Effect of ginger and L-carnitine on the reproductive performance of male rats // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. – 2012. – Vol. 6 (4). – P. 1199–1205. – DOI: 10.5281/zenodo.1057985.
5. Yalçın S., Ergün A., Özsoy B. The Effects of dietary supplementation of L-carnitine and Humic substances on performance, egg traits and blood parameters in laying hens // *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*. – 2006. – Vol. 19 (10). – P. 1478–1483. – DOI: 10.5713 / ajas.2006.1478.
6. *The Effect of L-Carnitine Supplementation on Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical* / H. Yarizadh, S. Shab-Bidar, B. Zamani [et al.] // *Trials J Am Coll Nutr*. – 2020 Jul. – Vol. 39 (5). – P. 457–468. – DOI: 10.1080/07315724.2019.1661804.
7. *Effect of L-Carnitine Supplementation on Liver Enzymes: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials* / M. Askarpour, K. Djafarian, E. Ghaedi [et al.] // *Arch Med Res*. – 2020 Jan. – Vol. 51 (1). – P. 82–94.
8. *Effects of Dietary L-carnitine Supplementation on Growth Performance, Organ Weight, Biochemical Parameters and Ascites Susceptibility in Broilers Reared Under Low-temperature Environment* / Y.W. Wang, D. Ning, Y.Z. Peng, Y.M. Guo // *Asian-Australas J Anim Sci*. – 2013. – Vol. 26 (2). – P. 233–240.
9. *The adverse effects of long-term l-carnitine supplementation on liver and kidney function in rats* / L. Liu, D-M. Zhang, M-X. Wang [et al.] // *Ham exp: toxicol*. – 2015 Nov. – Vol. 34 (11). – P. 1148–1161. – DOI: 10.1177/0960327115571767.
10. *L-карнитин: применение в животноводстве (обзор литературы)* / Л.И. Сабирзянова, А.М. Лунегов, Г.В. Коновалова, В.В. Токарь // *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. – 2023. – № 1 (57). – С. 25–31.
11. *ГОСТ Р 57547-2017. Патологоанатомическое вскрытие. Технический регламент*. – М.: Стандартинформ, 2017. – 24 с.
12. *Справочник. Физиологические, биохимические и биометрические показатели нормы экспериментальных животных* / Т.В. Абрашова, Я.А. Гущин, М.А. Ковалева [и др.]. – СПб., 2013. – 116 с.
13. *Закон РФ от 14 мая 1993 г. N 4979-1 О ветеринарии*.
14. *Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях* ETS N 123, (Страсбург, 18 марта 1986 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 14.09.2024).
15. *РД-АПК 3.10.07.02–09 Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений*. – М.: Мин-во сельского хозяйства РФ, 2009. – 28 с.
16. Brandsch S., Eder K. Влияние L-карнитина на потерю веса и состав тела крыс, получавших гипокалорийную диету // *Ann Nutr Metab*. – 2002. – Vol. 46 (5). – P. 205–210. – DOI: 10.1159/000065408. – PMID: 12378044.

REFERENCES

1. Varney J.L., Fowler J.W., McClaughry T.C. [et al.], L-Carnitine metabolism, protein turnover and energy expenditure in supplemented and exercised Labrador Retrievers, *J. Anim Physiol Anim Nutr.*, 2020, Vol. 104, pp. 1540–1550, DOI: 10.1111/jpn.13391.
2. Ivanova G.V., *Digestive and metabolic processes in cattle fed with L-carnitine supplements* (Digestion and metabolic processes in cattle fed with L-carnitine supplements), Abstract of Cand. Sci. (Biol.), Dubrovitsy, 2012, 131 p.
3. Klimentieva Yu.I., *Efficiency of using different levels of protected L-carnitine in diets of high producing cows* (Efficiency of using different levels of protected L-carnitine in diets of highly productive cows), Abstract of Cand. Sci. (Agricultural), Dubrovitsy, 2017, 22 p.
4. Ismail A.G., El-Nasharty M.A., El-Far A.H., Effect of ginger and L-carnitine on the reproductive performance of male rats, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2012, Vol. 6 (4), pp. 1199–1205, DOI: 10.5281/zenodo.1057985.
5. Yalçın S., Ergün A., Özsoy V., The Effects of dietary supplementation of L-carnitine and Humic substances on performance, egg traits and blood parameters in laying hens, *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 2006, Vol. 19 (10), pp. 1478–1483, DOI: 10.5713/ajas.2006.1478.
6. Yarizadh H., Shab-Bidar S., Zamani B. [et al.], The Effect of L-Carnitine Supplementation on Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical, *Trials J Am Coll Nutr.*, 2020 Jul., Vol. 39 (5), pp. 457–468, DOI: 10.1080/07315724.2019.1661804.
7. Askarpour M., Djafarian K., Ghaedi E. [et al.], Effect of L-Carnitine Supplementation on Liver Enzymes: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials, *Arch Med Res.*, 2020, pp. 82–94.
8. Wang Y.W., Ning D., Peng Y.Z., Guo Y.M., Effects of Dietary L-carnitine Supplementation on Growth Performance, Organ Weight, Biochemical Parameters and Ascites Susceptibility in Broilers Reared Under Low-temperature Environment, *Asian-Australas J Anim Sci.*, 2013, Vol. 26 (2), pp. 233–240.
9. Liu L., Zhang D-M., Wang M-X. [et al.], The adverse effects of long-term l-carnitine supplementation on liver and kidney function in rats, *Ham exp: toxicol*, 2015 Nov., Vol. 34 (11), pp. 1148–1161, DOI: 10.1177/0960327115571767.

10. Sabirzyanova L.I., Lunegov A.M., Konovalova G.V., Tokar V.V., *Aktual'nye voprosy veterinarnoy biologii*, 2023, No. 1 (57), pp. 25–31. (In Russ.)
11. GOST R 57547-2017. *Patologoanatomicheskoe vskrytie. Tekhnicheskiy reglament* (Pathological autopsy. Technical regulations), Moscow: Standartinform, 2017, 24 p. (In Russ.)
12. Abrashova T.V., Gushchin Ya.A., Kovaleva M.A. [i dr.], *Spravochnik. Fiziologicheskie, biokhimicheskie i biometricheskie pokazateli normy eksperimental'nykh zhivotnykh* (Handbook. Physiological, biochemical and biometric parameters of experimental animals), SPb., 2013, 116 p. (In Russ.)
13. *Zakon RF ot 14 maya 1993 g. N 4979-1 O veterinarii* (Law of the Russian Federation of May 14, 1993 N 4979-I On Veterinary Medicine). (In Russ.)
14. *Evropeyskaya konventsia o zashchite pozvonochnykh zhivotnykh, ispol'zuemykh dlya eksperimentov ili v inykh nauchnykh tselyakh ETS N 123* (European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes ETS N 123), Strasbourg, March 18, 1986, URL: <https://docs.cntd.ru/> (In Russ.)
15. RD-APK 3.10.07.02-09, *Metodicheskie rekomendatsii po sodержaniyu labortornykh zhivotnykh v vivariyakh nauchno-issledovatel'skikh institutov i uchebnykh zavedeniy* (Methodical recommendations for the maintenance of laboratory animals in vivariums of research institutes and educational institutions), Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2009, 28 p. (In Russ.)
16. Brandsch C, Eder K., *Ann Nutr Metab*, 2002, Vol. 46 (5), pp. 205–10, DOI: 10.1159/000065408, PMID: 12378044. (In Russ.)

Информация об авторах:

Л.И. Сабирзянова, кандидат ветеринарных наук, ассистент
С.П. Ковалев, доктор ветеринарных наук, профессор

Contribution of the authors:

L.I. Sabirzyanova, PhD in Veterinary Sciences, Assistant
S.P. Kovalev, Doctor of Veterinary Sciences, Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПА БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОСФОРА В ПЕЧЕНИ ПОТОМКОВ

М.В. Стрижкова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, О.А. Зайко, А.И. Желтиков, М.Л. Кочнева

ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: mvstrizhkova@yandex.ru

Для цитирования: Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков / М.В. Стрижкова, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, О.А. Зайко, А.И. Желтиков, М.Л. Кочнева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 272–279. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-272-279.

Ключевые слова: фосфор, голштинская порода, генотип быков-производителей, печень.

Реферат. Российские и зарубежные ученые продолжают систематизировать знания о накоплении макро- и микроэлементов в организме животных, так как их изучение остается актуальной темой для многих исследований. Также изучаются вопросы о наследственной детерминации уровня макро- и микроэлементов в органах и тканях животных. В настоящее время в статьях российских и зарубежных авторов содержатся отдельные разрозненные сведения о макро- и микроэлементном статусе сельскохозяйственных животных и рыб разных видов. В нашей статье описаны данные о содержании фосфора в печени потомства, полученного от быков-производителей голштинской породы. Исследования проводились в Кузбассе. Исследуемые животные находились в одинаковых условиях содержания и кормления. Группы формировались по принципу аналогов. Для подопытных животных были созданы одинаковые условия кормления и содержания. В зоне их разведения было определено содержание макро- и микроэлементов в почве, воде и кормах. Уровень тяжелых металлов находился в пределах допустимых концентраций. Содержание фосфора в печени определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе ICP AES IRIS. Уровень фосфора в потомстве сыновей разных быков голштинской породы был в пределах 2964–3417 мг/кг. В печени потомков некоторых быков содержание фосфора было в 1,15 раза выше, чем у других. Показатель силы влияния ($r_{\text{в}}$) отцов на содержание фосфора в печени сыновей составил 0,49 ($P < 0,05$). Это свидетельствует о влиянии генотипа отцов на содержание фосфора в печени потомков. Уровень фенотипической изменчивости концентрации фосфора в печени потомков разных быков был в пределах 5,6–11,6 %. Полученные средние значения уровня фосфора можно принять за физиологическую норму для животных голштинской породы в условиях Западной Сибири. Изучение уровня фосфора и других элементов в органах и тканях расширяет представление о химическом статусе животных и является характеристикой интерьера.

THE EFFECT OF THE GENOTYPE OF HOLSTEIN BULLS ON THE PHOSPHORUS CONTENT IN THE LIVER OF DESCENDANTS

M.V. Strizhkova, T.V. Konovalova, O.S. Korotkevich, B.L. Petukhov, O.A. Zaiko, A.I. Zheltikov, M.L. Kochneva
Novosibirsk state agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: mvstrizhkova@yandex.ru

Keywords: phosphorus, Holstein breed, genotype of breeding bulls, liver.

Abstract. Russian and foreign scientists continue to systematize knowledge about the accumulation of macro- and microelements in the body of animals, as their study remains an urgent topic for many studies. Questions about the hereditary determination of the level of macro- and microelements in animal organs and tissues are also being studied. Currently, articles by Russian and foreign authors contain separate, disparate information about the macro- and microelement status of farm animals and fish of different species. Our article describes data on the phosphorus content in the liver of offspring obtained from producing bulls of the Holstein breed. The research was conducted in Kuzbass. The studied animals were in the same conditions of maintenance and feeding. The groups were formed according to the principle of analogues. The same feeding and maintenance conditions were created for the experimental animals. In the animal breeding area, the content of macro- and microelements in soil, water and feed was determined, the level of heavy metals was within acceptable concentrations. The phosphorus

content in the liver was determined by atomic emission spectrometry on the ICP AES IRIS device. The phosphorus level in the offspring of the sons of different Holstein bulls was in the range of 2964–3417 mg/kg. In the liver of the descendants of some bulls, the phosphorus content was 1.15 times higher than in others. The index of the strength of the influence (RW) of fathers on the phosphorus content in the liver of sons was 0,49 ($p < 0.05$). This indicates the influence of the genotype of fathers on the phosphorus content in the liver of descendants. The level of phenotypic variability of phosphorus concentration in the liver of offspring of different bulls was in the range of 5.6–11.6 %. The obtained average values of phosphorus levels can be taken as the physiological norm for animals of the Holstein breed in Western Siberia. The study of the level of phosphorus and other elements in organs and tissues expands the understanding of the chemical status of animals and is a characteristic of the interior.

В организме животных содержится около 50 различных макро- и микроэлементов. Макроэлементы – такие как кальций, фосфор, магний, калий, натрий, они требуются организму в больших количествах, и микроэлементы, такие как железо, кобальт, медь, йод, марганец, цинк и селен, являются незаменимыми, поскольку они необходимы в небольших количествах.

Среди макроэлементов фосфор является одним из наиболее распространенных в организме человека и животных, где он находится в виде минеральных и органических соединений [1]. Обмен фосфора в организме тесно связан с обменом кальция. Фосфор играет важную роль во многих биохимических реакциях, таких как энергетический обмен [2]. Он принимает активное участие во многих процессах, которые происходят в организме животных, например: в синтезе макроэргических соединений (АТФ), в обмене аминокислот, нуклеиновых кислот, углеводов и жиров [3, 4]. Органические соединения фосфора принимают участие в процессах хранения генетической информации [5, 6], регуляции активности генов. Соединения фосфора также участвуют в ферментативных процессах, чтобы обеспечить действие витаминов, проведение нервных импульсов, мышечных сокращений [5, 6]. С участием данного макроэлемента поддерживается рН-баланс организма и деятельность центральной нервной системы. Количество фосфора и кальция должно быть сбалансировано, чтобы они могли выполнять свои функции. Оптимальное соотношение кальция и фосфора в организме животных 2 : 1 [4–6].

Уровень неорганического фосфора в сыворотке крови животных – это один из показателей оценки полноценности кормления животных, а также уровня окислительно-восстановительных процессов, которые происходят в организме [5, 6]. Среди различных питательных веществ, содержащихся в печени жвачных животных, минералы имеют фундаментальное значение, поскольку они участвуют во многих жизненно важных функциях организма животных и человека.

Печень принимает активное участие в процессах пищеварения, кроветворения, поддержания обмена веществ в организме животных [6].

В настоящее время важным является комплексная оценка интерьера животных [7–8] для характеристики фенотипа и генофонда пород сельскохозяйственных животных [9–11]. Наряду с этим наименее раскрыта элементология сельскохозяйственных животных [11–13].

В связи с этим изучение, систематизация данных по содержанию макро- и микроэлементов в органах и тканях животных представляет несомненный интерес [12–14]. Как известно, элементный состав органов и тканей организма характеризуется значительной вариабельностью [15–17].

Так, в работах [17, 18] установлены закономерности в содержании и изменчивости свинца, кадмия, меди, цинка, железа в органах и тканях крупного рогатого скота герефордской породы и выявлены их связи между собой, а также с интерьерными показателями.

Установление корреляций между содержанием макро- и микроэлементов в различных органах и тканях животных, выявление наследственной детерминации содержания макро- и микроэлементов в их органах и тканях [17] позволит эффективнее осуществлять отбор и подбор племенных животных с целью получения представителей с физиологически оптимальной концентрацией химических элементов.

Известно, что уровень химических элементов может зависеть от генотипа производителей, генофонда семейств, линий, породы, экологических условий и других факторов. В связи с этим расширяется круг исследований в области элементологии сельскохозяйственных животных. Уровень химических элементов, как и признаки продуктивности, устойчивости к болезням, должны в комплексе включаться в селекционно-генетические программы.

Вместе с тем следует отметить, что исследований по макро- и микроэлементному составу печени у различных видов и пород сельскохозяйственных животных

зайственных животных недостаточно, а работ о генетической детерминации этого признака практически нет [18–20].

Цель исследований: определить влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание фосфора в печени потомков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данном исследовании было изучено содержание неорганического фосфора в печени потомков четырех быков-производителей голштинской породы. Исследование проводили в одном из племенных хозяйств Кузбасса. Сформировали четыре группы бычков, которые до убоя в 12–14-месячном возрасте находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Концентрацию фосфора в печени определяли в аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе ICP AES IRIS. В месте разведения голштинского скота проводился комплексный мониторинг элементного состава воды, почвы, растений, органов и тканей животных [21, 22].

В почвах сельскохозяйственных различных районов Сибири уровень валового содержания микроэлементов находится в пределах агрохимических и биогеохимических норм [22, 23]. В некоторых животноводческих продуктах животных исследовали

содержание радионуклидов, значение которых не превышало существующие нормы для Западной Сибири [23].

Для оценки нормальности распределения данных использовали критерий Шапиро–Уилка (W). Статистические параметры определяли по методике Нозо и др. [24]. Оценили плотность распределения вероятностей уровня фосфора у потомков быков-производителей. Генетическую изменчивость вычисляли с использованием однофакторного дисперсионного комплекса с разной численностью вариантов в группах четырех производителей. Определяли коэффициент внутриклассовой корреляции отцовских полусибсов. Дендрограмму сходства потомков четырех отцов по уровню фосфора в печени построили с применением Манхэттенской метрики. Метод Уорда использовали для минимизации внутрикластерных дисперсий [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В современной биоэлементологии мало изученным вопросом остается объяснение наследственной обусловленности уровня биоэлементов в органах и тканях животных. Поэтому мы определили роль генетической компоненты в уровне фосфора в печени потомков некоторых быков голштинской породы. В табл. 1 приведены данные о концентрации фосфора в печени сыновей четырех отцов.

Таблица 1

Уровень фосфора в печени сыновей быков голштинской породы, мг/кг
Phosphorus level in the liver of the sons of Holstein bulls, mg/ kg

Номер отца	n	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me
10	6	3417±113	3400
212	9	3189±111	3200
318	11	2964±100	3000
131	8	3388±67	3450

Содержание фосфора в группах потомков разных быков было в пределах 2964–3417 мг/кг. Референтные значения для этого макроэлемента составили 3102–3344 мг/кг. У сыновей быка № 10 концентрация фосфора в печени была в 1,15 раза выше, чем у потомков отца № 318 ($p < 0,05$). Соотношение уровня фосфора в печени потомков быков-производителей было 1 : 1,08 : 1,14 : 1,15.

По данным зарубежных авторов, в ткани печени буйволов было обнаружено высокое содержание фосфора (12 140 мг/кг), что в несколько раз больше, чем в наших исследованиях [25].

По данным других исследователей, содержание фосфора в длинной мышце у бычков-кастратов мясной породы нелоре равно 7356±85 мг/г [26], что более чем в два раза выше, чем в наших исследованиях на печени.

Внутриклассовый коэффициент корреляции полусибсов по отцам показал, что генетическое разнообразие по концентрации фосфора в печени животных составляет 0,49 ($P < 0,05$). Эти данные свидетельствуют о том, что генотип произво-

дителей влияет на уровень фосфора в печени потомков.

Важным вопросом в исследовании является изучение изменчивости содержания фосфора в печени сыновей разных производителей (табл. 2).

Таблица 2

Изменчивость концентрации фосфора в печени потомков быков голштинской породы
Variability of phosphorus concentration in the liver of descendants of Holstein bulls

Номер отца	Q ₁	Q ₃	IQR	SD	C _v	Lim
10	3275	3617	341,7	278,7	8,2	3000–3800
212	2900	3467	566,7	333,3	10,5	2700–3700
318	2633	3250	616,7	332,5	11,2	2500–3500
131	3300	3500	200	188,5	5,6	3000–3600

Примечание. Q₁ – 1-й квартиль; Q₃ – 3-й квартиль; IQR – интерквартильный размах; SD – стандартное отклонение; C_v – коэффициент вариации; Lim – крайние значения варианта.

Как видно из представленных материалов, изменчивость концентрации фосфора находилась на достаточно низком уровне. Коэффициенты вариации были в пределах 5,6–11,2 %, что является относительно низкими для концентраций химических элементов. Колебания соотношений

крайних вариантов были незначительны и находились в пределах 1 : 1,2–1 : 1,4.

На рис. 1 приведена плотность распределения вероятностей концентрации фосфора в потомстве быков-производителей.

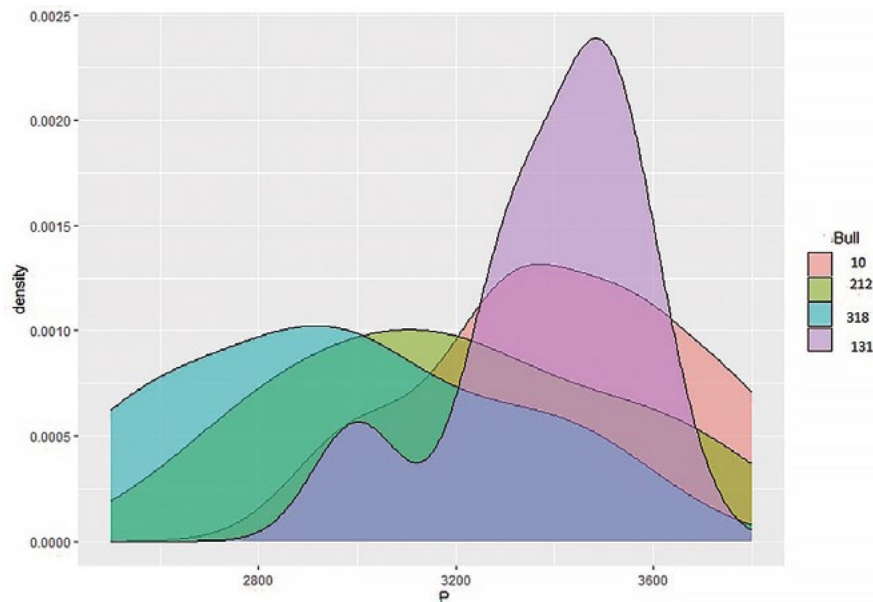


Рис. 1. Плотность распределения вероятностей концентрации фосфора в потомстве племенных быков
Density function of phosphorus distribution in the offspring of for breeding bulls

Особенно видны различия в распределении плотности вероятностей уровня фосфора потомков производителей № 10 и 318. На рис. 2

представлена дендрограмма сходства потомков разных быков по содержанию фосфора в печени.

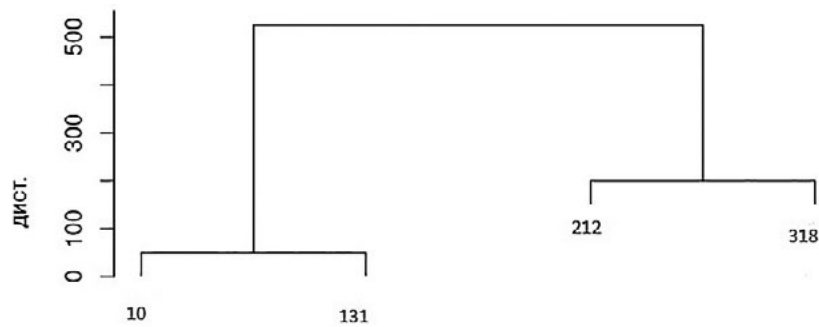


Рис. 2. Дендрограмма сходства содержания фосфора в печени потомков разных быков-производителей
Dendrogram of similarity of phosphorus content in the liver of sons of different breeding-bulls

Видны два кластера производителей, различающихся по уровню накопления аккумуляции фосфора в печени их потомков. У сыновей быков № 10 и 131 отмечен более высокий уровень

фосфора в печени, чем у потомков отцов № 212 и 318. Межквартильный размах уровня фосфора у бычков отца № 318 был в 2–3 раза выше, чем у сыновей отца № 10 и 131 (рис. 3).

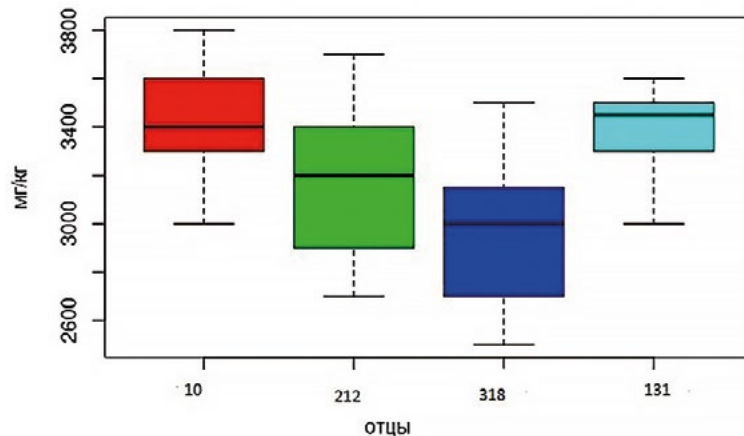


Рис. 3. Графическая диаграмма диапазона содержания фосфора в печени сыновей разных племенных быков
Box plot diagram of the range of phosphorus in the liver of sons of different stud-bull

Мало изученной является генетическая обусловленность содержания макро- и микроэлементов в органах и тканях разных пород крупного рогатого скота и различных видов сельскохозяйственных животных. Так, у скота породы нелоре коэффициент наследуемости h^2 содержания фосфора в длиннейшей мышце спины составил 0,29 [27]. Авторы предполагают, что концентрация этого элемента связана с геном-кандидатом SH3BP4, локализованным на хромосоме 3. Они считают, что генетическая изменчивость этого признака обусловлена аддитивным действием генов. Однако у скота породы ангус в той же длиннейшей мышце спины не обнаружено связи уровня фосфора с генами-кандидатами [27]. Генетическая вариация концентрации фосфора была очень низкой (0,02). Предполагают, что SNP, связанные с уровнем фосфора в длиннейшей мышце спины, находятся на хромосомах 5, 9 и 17. Но вариация, обусловленная SNP, была соответ-

ственно 0,13, 0,12, и 0,11, тогда как для уровня железа, например, она составляет 4,76. Содержание фосфора в мышечной ткани 7356 ± 85 мг/кг.

Следовательно, у пород нелоре и ангус наблюдалась разная генетическая детерминация уровня фосфора в одной и той же мышце. В одной породе уровень фосфора связан с локусом на хромосоме 3, а в другой – на хромосомах 5, 9 и 17. Обнаружена и разная генетическая изменчивость в двух популяциях скота [27].

Следует полагать, что уровень одного и того же элемента в различных органах и тканях и в разных органах может быть обусловлен разными генетическими системами. Это, видимо, зависит от биохимических и физиологических процессов, протекающих в различных органах.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено влияние генотипа быков голштинской породы на содержание фосфора в печени потомства. Доля влияния генов отцов на

изменчивость уровня фосфора в печени животных голштинской породы составила 0,49 ($p < 0,05$).

Исследования, связанные с установлением генетической детерминации устойчивости или восприимчивости к накоплению макро- и микроэлементов в органах и тканях животных разных видов, их связь с биохимическими, молекулярно-генетическими, цитогенетическими и другими показателями, продолжаются.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что генотип быков голштинской породы влияет на содержание фосфора в печени потомков. Потомство некоторых отцов

имело содержание фосфора в печени в 1,15 раза выше, чем у других.

2. Сила влияния генотипа производителей на уровень фосфора в печени сыновей равна 0,49 ($p < 0,05$). Фенотипическая изменчивость концентрации содержания фосфора в печени животных была относительно низкой и находилась в пределах 5,6–11,2 %.

3. Изучение уровня фосфора и других элементов в органах и тканях расширяет представление о химическом статусе животных, что дополняет оценку интерьера животных. Полученные данные можно использовать в качестве физиологической нормы содержания фосфора в печени у здоровых животных, разводимых на территории Кузбасса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Correlation of phosphorus level with macro-and microelements in the bristles of Landrace pigs*, BIO Web of Conferences, O. Zaiko, A. Nazarenko, M. Strizhkova, A. Zheltikov, T. Konovalova // BIO Web of Conferences, 2021. – 36, 0631.
2. *Гормональный и метаболический статус бычков голштинской породы в эколого-климатических условиях Кемеровской области* /Л.В. Осадчук, О.И. Себежко, Н.Г. Шишин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 2 (43). – С. 52–61.
3. *Способ получения высокопродуктивных производителей сельскохозяйственных животных* / Петухов В.Л., Эрнст Л.К., Желтиков А.И. [и др.] 2011 / Патент на изобретение RU 2414124 C2, 20.03.2011. Заявка № 2009122691/10 от 15.06.2009.
4. *Нарожных К.Н., Стрижкова М.В., Коновалова Т.В.* Межпородные различия по уровню макро- и микроэлементов в мышечной ткани крупного рогатого скота Западной Сибири //Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (часть 10). – С. 2158–2163.
5. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2018. – 131 с.
6. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, [и др.]. – Новосибирск, 1997. – 284 с.
7. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations on West Siberia* / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov, N.S. Yudin // 10th World Congress of Genetics Applied to livestock Production, Vancouver, Canada, 2014. – DOI: 10.13140/2.1.1987.0084.
8. *The impact of the Romanov stud rams genotype on the accumulation of zink in the wool* / Liu Mingzhun, R.T. Saurbaeva, Lee Venrong [et al.]. – 2019. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-91-97.
9. *Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkova G.N.* Accumulation of heavy metals in the muscles of zander from Novosibirsk water basin // E.3. Web of conferences. Proceedings of the 16 h International Conference on Heavy Metals in the Environment electronic edition, 2013. – С. 110007.
10. *Способ определения концентрации свинца в легких крупного рогатого скота* / Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Нарожных К.Н., Петухов В.Л. [и др.]. 2016 Патент на изобретение RU 2602915 C1, 20.11.2016. Заявка № 2015130994/15 от 24.07.2015.
11. *The content of heavy metals in feeds of the Tyva Republic* / R.B. Chysyma, V.L. Petukhov, E.E. Kuzmina, E.Y. Barinov [et al.] // 20030 Journal Physique IV; France 107 XII International Conference on Heavy Metals in the Environment. – P. 297–299. – DOI: 10.1051 / jp4::20030300.
12. *Chysyma R.B., Bakhtina R.D., Petukhov V.L.* Heavy metal concentration in water and soil of different ecological areas of Tyva Republic // Journal Physique IV; 107 p XII International Conference on Heavy Metals in the environment. – 2003. – P. 301–302. – DOI: 10.1051/ jp4 20030301.
13. *Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia* / O.I. Sebezko, V.L. Petukhov, V.A. Sokolov, O. Korotkevich // Indian Journal of Ecology. – 2017. – Т. 44, № 3. – P. 662–666.
14. *Influence of antropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva* / O.I. Sebezko, V.L. Petukhov, R.B. Chysyma, E.E. Kuzmina // . – 2017. – Т. 9, № 9. – P. 1530–1535.
15. *Patrashkov S.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L.* Content of heavy metals in the hair // Journal De Physique, IV: JP. editors: Boutron C., Ferrari C., 2003. – P. 1025–1027.

16. Genetic similarity of Siberian pig breeds in allele frequencies of serum protein allotype systems / E.V. Kamaldinov, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich [et al.] // *Indian Veterinary Journal*. – 2018. – Т. 95, № 2. – P. 47–49.
17. Нарожных К.Н. Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2019. – 163 с.
18. Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков геерфордской породы / К.Н. Нарожных, Ю. Ефанова, О. Короткевич, В. Петухов // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2013. – № 1. – С. 24–25.
19. Effect of copper on biological and productive parameters of laying hens / V.L. Petukhov, I.A. Afonina, E.S. Klept-syna [et al.] // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and chemical sciences*. – 2016. – Vol. 7, № 5. – P. 1093–1100.
20. Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with arc excitation sources / A.R. Tsygankova, A.V. Kuptsov, A.I. Saprykin [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, № 5. – P. 601–605.
21. Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyaev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Vol. 44, № 2. – P. 217–220.
22. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J. Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia // *Indian Journal of Ecology*. – 2018. – Vol. 45, № 4. – P. 866–871.
23. Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермерских полей Барнаульского Приобья / А.И. Сысо, М.А. Лебедева, С.А. Худяев [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2017. – № 3 (44). – С. 54–61.
24. Болч Б., Хуань К.Д. Многомерные статистические методы для экономики. – М., 1979. – 317 с.
25. Rodrigues L.S. Mineral Content of Liver of Buffaloes (*Bubalus bubalis*) Reared in Different Ecosystems in the Eastern Amazon / L.S. Rodrigues, J.A. Rodrigues da Silva [et al.] // *Animals*. – 2023. – 13, 1157. – P. 1–13. – DOI: 10.3390/ani13071157.
26. Detection of quantitative trait loci for mineral content Nelore longissimus dorsi muscle / P.C. Tizioto, J.E. Decker [et al.] // *Genetics Selection Evolution*. – 2015. – Т. 47 (15). – P. 1–9. – DOI: 10.1186/s 12711-014-0083-3.
27. Genome – wide association study of concentrations of iron and other minerals in longissimus muscle of Angus cattle / R.G. Tair Mateescu, D.J. Garrik [et al.] // *Journal of animal Science*. – 2013. – Т. 91. – P. 3593–3600. – DOI: 10.2527/jas.2012-6079.

REFERENCES

1. Zaiko O., Nazarenko A., Strizhkova M., Zheltikov A., Konovalova T., Correlation of phosphorus level with macro- and microelements in the bristles of Landrace pigs, *BIO Web of Conferences*, 2021, 36, 0631.
2. Osadchuk L.V., Sebezshko O.I., Shishin N.G. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 2 (43), pp. 52–61. (In Russ.)
3. Sposob polucheniya vysokoproduktivnykh proizvoditelej sel'skokhozyajstvennykh zhivotnykh (Method for obtaining highly productive producers of agricultural animals), Petukhov V.L., Ehrnst L.K., Zheltikov A.I. [i dr.], 2011, Patent na izobretenie RU 2414124 C2, 20.03.2011, Zayavka № 2009122691/10 ot 15.06.2009.
4. Narozhnykh K.N., Strizhkova M.V., Konovalova T.V., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, № 2 (10), pp. 2158–2163. (In Russ.)
5. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyaciya makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroj porody* (Content, variability and correlation of macroelements in organs and tissues of black-and-white cattle), Candidate of Science Dissertation, Novosibirsk, 2018, 131 p.
6. Panov B.L., Petukhov V.L., Ehrnst L.K. [i dr.], *Problemy selekcii sel'skokhozyajstvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk, 1997, 284 p.
7. Korotkevich O., Lyukhanov M.P., Petukhov V.L., Yudin N.S., Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations on West Siberia, *10th World Congress of Genetics Applied to livestock Production*, Vancouver, Canada, 2014, DOI: 10.13140/2.1.1987.0084.
8. Mingzhun Liu, Saurbaeva R.T., Venrong Lee [et al.], The impact of the Romanov stud rams genotype on the accumulation of zinc in the wool, 2019, DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-91-97.
9. Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkova G.N., Accumulation of heavy metals in the muscles of zander from Novosibirsk water basin, *E.3. Web of conferences. Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment electronic edition*, 2013, pp. 110007.
10. Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L. i dr., *Sposob opredeleniya koncentracii svinca v legkikh krupnogo rogatogo skota* (Method for Determining Lead Concentration in Lungs of Cattle), 2016, Patent na izobretenie RU 2602915 C1, 20.11.2016, Zayavka № 2015130994/15 ot 24.07.2015.
11. Chysyma R.B., Petukhov V.L., Kuzmina E.E. [et al.], The content of heavy metals in feeds of the Tyva Republic, *20030 Journal Physique IV; France 107 XII International Conference on Heavy Metals in the Environment*, pp. 297–299, DOI: 10.1051 / jp4::20030300.
12. Chysyma R.B., Bakhtina R.D., Petukhov V.L., Heavy metal concentration in water and soil of different ecological areas of Tyva Republic, *Journal Physique IV; 107 p XII International Conference on Heavy Metals in the environment*, 2003, pp. 301–302, DOI: 10.1051/ jp4 20030301.

13. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Sokolov V.A., Korotkevich O., Comparative assessment of radioactive strontium and cesium contents in the feedstuffs and dairy products of western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2017, T. 44, No. 3, pp. 662–666.
14. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B., Kuzmina E.E., Influence of antropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, T. 9, No. 9, pp. 1530–1535.
15. Patrashkov S.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Content of heavy metals in the hair, *Journal De Physique*, IV: JP. editors: Boutron C., Ferrari C., 2003, pp. 1025–1027.
16. Kamaldinov E.V., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. [et al.], Genetic similarity of Siberian pig breeds in allele frequencies of serum protein allotype systems, *Indian Veterinary Journal*, 2018, T. 95, No. 2, pp. 47–49.
17. Narozhnykh K.N., *Izmenchivost', korrelyacii i uroven' tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh gereforskogo skota v usloviyakh Zapadnoj Sibiri* (Variability, correlations and levels of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in Western Siberia), Candidate of Science Dissertation, Novosibirsk, 2019, 163 p.
18. Narozhnykh K.N., Efanova Y.U., Korotkevich O., Petukhov V., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2013, No. 1, pp. 24–25. (In Russ.)
19. Petukhov V.L., Afonina I.A., Kleptsyna E.S. [et al.], Effect of copper on biological and productive parameters of laying hens, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and chemical sciences*, 2016, Vol. 7, No. 5, pp. 1093–1100.
20. Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I. [et al.], Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with arc excitation sources, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 5, pp. 601–605.
21. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I. [et al.], Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 44, No. 2, pp. 217–220.
22. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J., Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2018, Vol. 45, No. 4, pp. 866–871.
23. Syso A.I., Lebedeva M.A., Khudyaev S.A. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2017, No. 3 (44), pp. 54–61. (In Russ.)
24. Bolch B., Khuan' K.D., *Mnogomernye statisticheskie metody dlya ehkonomiki* (Multivariate Statistical Methods for Economics), Moscow, 1979, 317 p.
25. Rodrigues L.S., Rodrigues da Silva J.A. [et al.], Mineral Content of Liver of Buffaloes (*Bubalus bubalis*) Reared in Different Ecosystems in the Eastern Amazon, *Animals*, 2023, 13, 1157, pp. 1–13, DOI: 10.3390/ani13071157.
26. Tizioto P.C., Decker J.E. [et al.], Detection of quantitative trait loci for mineral content Nelore longissimus dorsi muscle, *Genetics Selection Evolution*, 2015, T. 47 (15), pp. 1–9, DOI: 10.1186/s 12711-014-0083-3.
27. Tair Mateescu R.G., Garrik D.J. [et al.], Genome – wide association study of concentrations of iron and other minerals in longissimus muscle of Angus cattle, *Journal of animal Science*, 2013, T. 91, pp. 3593–3600, DOI: 10.2527/jas.2012-6079.

Информация об авторах:

М.В. Стрижкова, кандидат биологических наук
 Т.В. Коновалова, старший преподаватель
 О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор
 В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор
 О.А. Зайко, кандидат биологических наук
 А.И. Желтиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
 М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

M.V. Strizhkova, PhD in Biological Sciences
 T.V. Konovalova, senior lecturer
 O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor
 B.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor
 O.A. Zaiko, PhD in Biological Sciences
 A.I. Zheltikov, Doctor of Agricultural Sciences
 M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МЕЛКИМИ МЛЕКОПИТАЮЩИМИ НОРИЛО-ПЯСИНСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Р.Б. Чысыма, А.В. Прокудин, О.К. Сергеева

НИИ сельского хозяйства и экологии Арктики – филиал ФГБУ Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН», Норильск, Россия

E-mail: norilskniiks@mail.ru

Для цитирования: Р.Б. Чысыма, А.В. Прокудин, О.К. Сергеева. Накопление тяжелых металлов мелкими млекопитающими норило-пясинской экосистемы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 280–289. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-280-289.

Ключевые слова: Норило-Пясинская экосистема, мелкие млекопитающие, аккумуляция, печень, почки, тяжелые металлы, Норильский промышленный район, полуостров Таймыр.

Реферат. Изучены особенности накопления тяжелых металлов в паренхиматозных органах мелких млекопитающих Норило-пясинской экосистемы, испытывающей антропогенное воздействие предприятий Норильского горно-металлургического комплекса. Материал химического анализа – пробы печени и почек мелких млекопитающих, отловленных на участках, условно выделенных в три зоны в зависимости расположения от источников загрязнения: импактная, буферная и фоновая. В результате исследования выявили в печени животных импактных и буферных территорий значительные отклонения от фоновых значений свинца, кадмия и меди, за исключением цинка: где аккумуляция данного элемента значительно меньше. Так, в сравнении с фоновой зоной концентрация свинца и кадмия в 3,4–2,8 и 2,7–2,5 раза выше ($P < 0,01$), меди в 1,3 раза ($P < 0,05$). Наиболее выраженные отклонения от фоновых значений зафиксированы в почках животных, где концентрации тяжелых металлов на загрязненных территориях превышали фоновые значения: по Pb в 8,4–10,2 раза, Cd – 6,6–6,4; Cu – 1,3–1,25; Zn – в 2,3 раза. Достоверно высокое накопление тяжелых металлов в почках животных по сравнению с печенью указывает на ведущую роль почек как естественного фильтра организма. В целом максимальные значения тяжелых металлов в основных паренхиматозных органах животных можно объяснить близостью расположения обследованных местообитаний к источникам загрязнения. Переносимые воздушными массами выбросы предприятий ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» распределяются и накапливаются в виде поллютантов на территории полуострова Таймыр.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SMALL MAMMALS OF THE NORILO-PYASINSKY ECOSYSTEM

R.B. Chysyma, A.V. Prokudin, O.K. Sergeeva

Research Institute of Agriculture and Ecology of the Arctic – branch of the Federal State Budgetary Institution “Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Norilsk, Russia

E-mail: norilskniiks@mail.ru

Keywords: Norilsk-Pyasinsk ecosystem, small mammals, accumulation, liver, kidneys, heavy metals, Norilsk industrial region, Taimyr Peninsula.

Abstract. The features of the accumulation of heavy metals in the parenchymal organs of small mammals of the Norilo-Pyasinsk ecosystem, which is experiencing anthropogenic impact from the enterprises of the Norilsk mining and metallurgical complex, have been studied. The material of the chemical analysis is samples of the liver and kidneys of small mammals captured in areas conventionally divided into three zones, depending on the location of the sources of pollution: impact, buffer and background. As a result, the study revealed significant deviations from the background values of lead, cadmium and copper in the liver of animals in impact and buffer territories, with the exception of zinc, where the accumulation of this element is much less. Thus, in comparison with the background zone, the concentration of lead and cadmium was higher by 3.4–2.8 and 2.7–2.5 times ($P < 0.01$), copper, by 1.3 times ($P < 0.01$). The most pronounced deviations from the background values were recorded in the kidneys of animals, where the concentrations of heavy metals in contaminated areas exceeded the background values: for Pb by 8.4–10.2 times, Cd by 6.6–6.4 times, Cu by 1.3–1.25 times and Zn by 2.3 times. The significantly high accumulation of heavy metals in the kidneys of animals, compared to the liver, indicates the

leading role of the kidneys as an organ filter in the body. In general, the maximum values of heavy metals in the main parenchymal organs of animals can be explained by the proximity of the location of the surveyed habitats to sources of pollution. Emissions carried by air masses from the enterprises of the Polar Division of PJSC MMC Norilsk Nickel are distributed and accumulated in the form of pollutants on the territory of the Taimyr Peninsula.

В настоящее время в районах интенсивного промышленного производства существует высокий уровень накопления загрязняющих веществ, в среду обитания человека и объектов животного мира поступают особо токсичные вещества – ксенобиотики, появляется опасность возникновения техногенных катастроф [1–2]. В южной части Таймырского полуострова располагается Норильский промышленный район, относящийся к одним из самых больших в мире промышленных комплексов горной добычи и производства цветных металлов. Предприятия комплекса ежегодно осуществляют выбросы в атмосферу диоксида серы, фенолов и частиц тяжелых металлов. Масштабы настолько велики, что Норильск уже много лет числится в списке самых загрязненных городов планеты [3].

Норильский промышленный район с его мощной металлургией и комплексом горнодобывающих, строительных и энергетических предприятий, представляет собой очаг концентрированного техногенного воздействия, влияющего на все компоненты биосферы (воздушный и водный бассейны, почвенные горизонты, растительный и животный мир). Здесь высокая концентрация различных отравляющих веществ техногенной и естественной природы, накапливаемых там годами [4].

Проблема техногенного загрязнения территории Норильского промышленного района и не снижающееся негативное воздействие на экосистему определяет необходимость проведения исследований по динамике поступления и аккумуляции различных химических веществ в живых организмах.

К особо опасным загрязнителям природной среды относятся тяжелые металлы из-за их способности накапливаться в организме и постепенно перемещаться по пищевой цепочке до более высоких концентраций [5–8]. Несмотря на то, что большинство тяжелых металлов являются естественными компонентами окружающей среды, их биохимическое равновесие изменено в связи с антропогенной деятельностью, что оказывает негативное воздействие на среду обитания живых систем [9–12].

Концентрации тяжелых металлов в органах и тканях мелких наземных млекопитающих являются индикаторами загрязнения окружающей

среды. Из всех видов животных мелкие наземные млекопитающие – одна из наиболее доступных и изученных групп живых организмов [13]. Они имеют широкое распространение по земному шару, характеризуются короткой продолжительностью жизненного цикла, высокой скоростью воспроизводства, быстро реагируют и достаточно подтверждают накопление токсичных элементов [14]. Поэтому этих животных традиционно используют в качестве модельных объектов в экологических исследованиях, посвященных мониторингу наземных экосистем, подвергшихся антропогенному воздействию [15–18].

В условиях полуострова Таймыр, с его спецификой функционирования промышленных предприятий и комплексов, в разное время проводились исследования по выявлению содержания тяжелых металлов и специфике их аккумуляции в почве и кормовых растениях в 4-километровой зоне ГМК «Норильский никель» и районах Аваамской тундры в южной части полуострова [19–20]. Имеются данные состояния животного населения и оценка загрязнения тканей наземных позвоночных в зоне выбросов Норильского промышленного района [21].

Исследования накоплений тяжелых металлов в организме мелких млекопитающих в условиях Норильского промышленного района нами проведены впервые.

Цель работы – определить содержание тяжелых металлов (свинец, кадмий, медь, цинк) в печени и почках и изучить особенности аккумуляции этих металлов в органах мелких наземных млекопитающих, обитающих в различных биотипах Норило-Пясинской экосистемы в настоящий период.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения содержания химических элементов в печени и почках мелких наземных млекопитающих использовались материалы отловов в период 2020–2022 гг. на трех локальных участках, территориально относящихся к Норило-Пясинской экосистеме (рис. 1) и расположенных на разном удалении от промышленных объектов Норильского горно-металлургического комплекса.



У отловленных животных производился забор внутренних органов (печень, почки). Анализы содержания тяжелых металлов в печени и почках проводили по ГОСТ Р 51301–99 «Продукты пищевые и продовольственное сырье», ГОСТ 33824–2016 «Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка) [27–28]. Нами проведен анализ среднего содержания ксенобиотиков (свинец и кадмий) и биогенных элементов (медь и цинк) в печени и почках мелких наземных млекопитающих, обитающих на различном расстоянии от металлургических и горнодобывающих предприятий Норильского промышленного района.

Химические анализы выполнены на базе химико-технологической лаборатории научно-исследовательского института сельского хозяйства и экологии Арктики ФКНЦ СО РАН (Норильск). Важно отметить, что нормативные показатели тяжелых металлов в органах мелких млекопитающих в доступной литературе отсутствуют, сравнительный анализ проведен в отношении показателей мелких млекопитающих условно благополучной территории (фоновая зона).

Статистическая обработка полученных данных проведена в программе Microsoft Excel с использованием пакета «Анализ данных». Достоверность различий определяли с использованием критерия достоверности Стьюдента, сравнивая каждую зону с фоновой отдельно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У клинически здоровых животных химические элементы в организме играют важную

роль в осуществлении обменных процессов и в протекании различных физиолого-биохимических реакций, таких как иммунобиологическая активность и др. [29].

К наиболее токсичным химическим элементам относят свинец и кадмий. Превышение содержания этих элементов в живом организме приводит к их накоплению во внутренних органах, что оказывает негативное воздействие на весь организм. Медь и цинк относятся к числу эссенциальных элементов, превышение их концентрации в организме приводит к различным патологическим состояниям [30].

Свинец и кадмий являются отходами различных отраслей промышленности, токсическое воздействие которых представляет опасность для здоровья человека и животных [31–32].

Печень традиционно используется в качестве анализируемого субстрата, так как она является органом-депо для многих химических реакций [14]. В табл. 1 представлено содержание тяжелых металлов в печени мелких млекопитающих.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в печени мелких млекопитающих, мг/кг
Heavy metal content in the liver of small mammals, mg/kg

Показатель	1 – импактная зона, <i>n</i> =27	2 – буферная зона, <i>n</i> =27	3 – фоновая зона, <i>n</i> =27
Pb	0,91±0,15	0,77±0,27	0,27±0,09
Cd	0,69±0,095	0,64±0,160	0,26±0,091
Cu	2,68±0,79	2,74±0,86	2,06±0,66
Zn	24,15±7,55	24,00±8,00	20,62±7,02

Уровень свинца в печени варьирует в значительных пределах у мелких млекопитающих различных зон Норило-Пясинской экосистемы. Наибольшая концентрация свинца выявлена в местообитаниях животных импактных и буферных участков, где его концентрация возрастает в 3,4 и 2,8 раза, или на 237 и 185 % ($P < 0,01$), по сравнению с фоновым показателем (0,27±0,09 мг/кг). Концентрация кадмия в печени имела сходную тенденцию, где максимум его концентрации в импактной и буферной территориях превышала в 2,7 и 2,5 раза таковую в фоновой зоне ($P < 0,01$).

Содержание меди в печени животных импактной и буферной зон на 1,3 раза, или в 30–33 % больше, чем на фоновой территории (2,06±0,66 мг/кг). Концентрация цинка в печени животных в импактной и буферной территориях

составляли 24,15±7,55 и 24,00±8,00 мг/кг, что больше в 1,2 раза, или на 16 и 17 %, по сравнению с животными фоновой участка. Основным источником цинкового загрязнения территорий является выброс в атмосферу этого металла тяжелой промышленностью при высокотемпературных технологических процессах [33].

Проведенный химический анализ содержания свинца в почках животных показал, что распределение этого элемента значительно варьирует, причем в импактной и буферной зоне его содержание в 8,4–10,2 раза превышало соответствующее значение для фоновой участка ($P < 0,01$). Концентрация кадмия в печени животных импактной и буферной зон была больше в 6,6–6,4 раза, чем у животных фоновой зоны ($P < 0,01$) (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почках мелких млекопитающих, мг/кг
Heavy metal content in kidneys of small mammals, mg/kg

Показатель	1 – импактная зона, <i>n</i> =27	2 – буферная зона, <i>n</i> =27	3 – фоновая зона, <i>n</i> =27
Pb	8,27±2,1	10,05±3,16	0,98±0,31
Cd	1,91±0,42	1,86±0,57	0,29±0,10
Cu	8,81±2,52	8,25±2,73	6,60±2,28
Zn	101±29,50	102,00±33,50	43,43±14,71

При анализе содержания меди отмечается превышение его концентрации в почках у животных импактной и буферной зоны, где концентрация этого элемента составляла 8,81±2,52 и 8,25±2,73 мг/кг, что на 33 и 25 %, или в 1,3 и 1,25 раза, больше по сравнению с фоновыми показателями. В почках у животных импактной и буферной зон концентрация цинка составляла 101±29,50 и 102,00±33,50 мг/кг, у животных из фоновой зоны значение этого показателя было ниже на 132–134 % ($P < 0,01$).

Таким образом, у мелких млекопитающих и насекомых, обитающих в импактных и буферных территориях Норило-Пясинской экосистемы, в печени и почках отмечается максимальный уровень свинца, кадмия, меди и цинка в сравнении с животными, обитающими в фоновой территории. Высокие уровни тяжелых металлов в важнейших органах детоксикации организма животных можно объяснить следствием близости импактной и буферной зон к источнику загрязнения. Переносимые воздушными массами производственные выбросы предприятий ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» вносят значительный вклад в распределение и накопление поллютантов на территории Норило-Пясинской экосистемы полуострова Таймыр.

Данные, полученные нами о содержании свинца в почках мелких млекопитающих импактной и буферной зон, сочетаются с показателями уровня данного элемента, полученными Б.К. Калдыбаевым [34] на мышевидных грызунах в подверженных антропогенным нагрузкам техногенных зонах Приисыккуля. Автор указывал, что содержание свинца в почках наблюдалось в количестве 9,45 мг/кг.

Результаты, которые мы установили по накоплению кадмия в печени мышевидных гры-

зунов в импактной зоне, ниже, чем результаты Е.Л. Воробейчик и др., полученные на мелких млекопитающих Висимского заповедника (в своих исследованиях авторы приводят значение кадмия в печени –1,5 мг/кг). В почках установленное содержание этого элемента сочетается с данными вышеуказанных авторов [35].

Данные литературы по содержанию меди в печени (2,88–2,95 мг/кг) в целом согласуются с нашими результатами, а в почках концентрация данного элемента ниже (4,60–5,54 мг/кг) по сравнению с полученными нами результатами. По уровню цинка в печени (37,6–44,16) и в почках (71,03–103,32 мг/кг) наши данные расходятся с показателями, полученными Т.С. Улиговой, Ф.В. Хежевой на техногенно загрязненных территориях Центрального Кавказа [36].

Как известно, существует ярко выраженная индивидуальная вариабельность накопления отдельных химических элементов в организме животных [37]. При этом аккумуляция химических элементов значительно отличается в зависимости от вида паренхиматозного органа, о чем свидетельствуют результаты сравнительного анализа накоплений тяжелых металлов в печени и почках мелких наземных млекопитающих.

Распределение тяжелых металлов в печени и почках животных в загрязненных и фоновых территориях представлено на рис. 2–3. Высокие концентрации химических элементов в почках, по сравнению с печенью, были отмечены по всем химическим элементам. В почках установлена максимальная концентрация свинца, где уровень в 2,8–2,9 раза выше ($P < 0,01$), чем в печени. За ним следует кадмий, его концентрация в почках животных в 9,1 и 13,1 раза ($P < 0,01$) больше относительно печени (см. рис. 2).

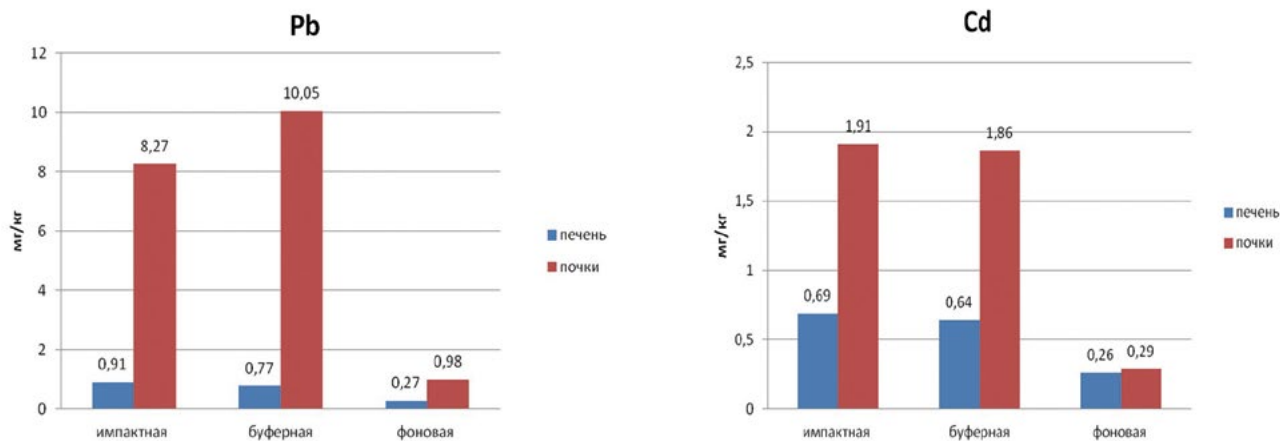


Рис. 2. Концентрация свинца и кадмия в печени и почках млекопитающих в импактной, буферной и фоновой зонах

Lead and cadmium concentrations in mammalian liver and kidneys in the impact, buffer and background zones

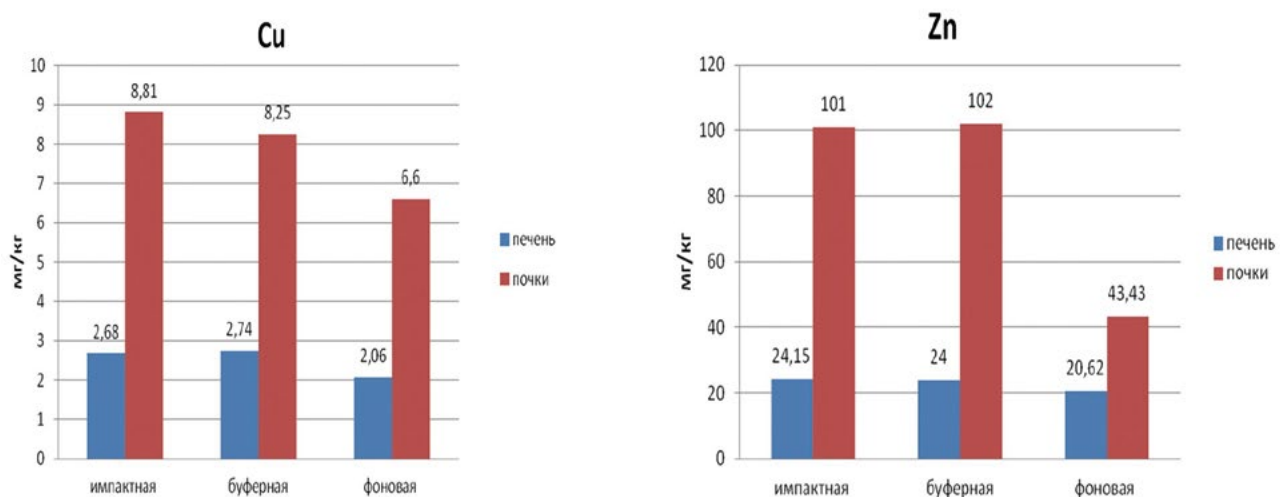


Рис. 3. Концентрация меди и свинца в печени и почках мелких млекопитающих в импактной, буферной и фоновой зонах

Copper and lead concentrations in liver and kidneys of small mammals in the impact, buffer and background zones

Сходные различия отмечались для меди и цинка, где концентрация меди в почках была выше в 3,3 и 10,3 раза ($P < 0,01$), цинка в 4,2 и 2,1 раза ($P < 0,01-0,05$) по сравнению с печенью (см. рис. 3).

Токсичные элементы (Pb, Cd) и эссенциальные металлы (Cu, Zn) максимально депонировались в почках мелких млекопитающих. Почки как орган – мишень для тяжелых металлов, они участвуют в фильтрации, реабсорбции и накоплении двухвалентных ионов, чрезмерное их накопление приводит к хроническому повреждению почек [38]. Таким образом, в почках выявлены превышения содержания свинца, кадмия, меди и цинка по сравнению с печенью ($P < 0,01$;

$P < 0,05$), что указывает на ведущую роль почек как естественного фильтра в живых организмах.

ВЫВОДЫ

1. Районы Норило-Пясинской экосистемы, находящиеся на разном удалении от границ Норильского промышленного района, характеризуются неоднородностью накопления тяжелых металлов. У мелких млекопитающих, обитающих в биотипах импактной и буферной зон, по сравнению с животными фоновой зоны наблюдалось повышение концентрации свинца в 3,4 и 2,8 раза, кадмия – 2,7 и 2,5 раза, меди и цинка в 1,3 и 1,2 раза.

2. Установлены различия в аккумуляции тяжелых металлов в печени и почках мелких млекопитающих. Во всех трех зонах в наиболее высоких концентрациях тяжелые металлы аккумуляровались в почках, что может объясняться как результат высокой чувствительностью клеток этого органа к токсическому воздействию тяжелых металлов.

3. Полученные данные могут использоваться как ориентировочные показатели содержания тяжелых металлов в печени и почках мелких млекопитающих и насекомоядных в условиях Норило-Пясинской экосистемы при проведении мониторинга состояния окружающей среды и объектов животного мира полуострова Таймыр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харина Г.В., Анахов С.В. Экологическая безопасность человека в техносфере. – Екатеринбург, 2023, 186 с.
2. Изучение элементного статуса населения различных промышленных районов как индикатора экологического загрязнения / А.Е. Побилат, А.А. Киричук, О.В. Баранова [и др.] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 6. – С. 1–10. – DOI: 10.51419/202136619.
3. Природные условия и географическое положение Норильского промышленного узла. URL: <https://fb.ru/article/258629/prirodnyie-usloviya-i-geograficheskoe-polojenie-norilskogo-promyshlennogo-uzla>.
4. Нестеренко П.В., Зубалевич В.О. Экономическая и экологическая катастрофа в Норильске // Проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сб. ст. XXIII Междунар. науч.-практ. конф. Города России. – Пенза, 2021. – С. 143–146.
5. Heavy metals concentration in the sediment of the aquatic environment caused by the leachate discharge from a landfill / L. Sulistyowati, N. Nurhasanah, E. Riani [et al.] // Global Journal of Environmental Science and Management. – 2023. – Vol. 9, N 2. – P. 323–336.
6. Biotransfer of heavy metals along the soil-plant-edible insect-human food chain in Africa / S. Mwelwa, D. Chungu, F. Tailoka [et al.] // Science of The Total Environment. – 2023. – Vol. 881. – P. 163150. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163150.
7. The accumulation of heavy metals in feeder insects and their impact on animal production / E. Malematja, T.G. Manyelo, N.A. Sebola [et al.] // Science of the Total Environment. – 2023. – Vol. 885 – P. 163716.
8. Poopak H., Raeeszadeh M., Salimi B. Accumulation of heavy metals in meat and their relationship with water and food intake of aquatic animals in Kermanshah, western Iran // International Journal of Environmental Health Research. – 2024. – Vol. 34. – N 3. – P. 1453–1465.
9. Goswami R., Neog N. Heavy metal pollution in the environment: impact on air quality and human health implications // Heavy metal toxicity: Environmental concerns, remediation and opportunities. – Singapore: Springer Nature Singapore. – 2023. – P. 75–103.
10. Source, toxicity and carcinogenic health risk assessment of heavy metals / N.S. Budi, M.J. Catalan Oplencia, A. Afra [et al.] // Reviews on Environmental Health. – 2024. – Vol. 39, N 1. – P. 77–90.
11. Heavy metal contamination in water: consequences on human health and environment / A. Sharma, A.S. Grewal, D. Sharma [et al.] // Metals in water. – Elsevier, 2023. – P. 39–52.
12. Heavy Metals in the Ecosystem; Sources and Their Effects / A. Maftouh, O. El Fatni, A. Ben Moussa [et al.] // Heavy Metal Remediation: Sustainable Nexus Approach. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – P. 27–44.
13. Мухачева С.В., Бердюгин К.И., Давыдова Ю.А. Опыт использования мелких млекопитающих для экспертной оценки состояния природных экосистем // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 3. – С. 65–68.
14. Степанова М.В., Остапенко В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на накопления тяжелых металлов представителями семейства мышинные, содержащимися в искусственно созданных условиях // Актуальные вопросы зоологии, экологии и охраны природы: м-лы науч.-практ. конф. с междунар. участием. Вып. 2. – М., 2020. – С. 199–205.
15. Rodentia and Lagomorpha / S.R. SheffieldR., K. Sawicka-Kapusta, J.B. Cohen [et al.] // Ecotoxicology of Wild Mammals / Chichester, 2001. P. 215–314.
16. Mukhacheva S.V. Long-Term Dynamics of Heavy Metal Concentrations in the Food and Liver of Shrews (g. Sorex) during High and Reduced Emissions Periods from the Copper Smelter // Russian Journal of Ecology. – 2022. – Vol. 53, N 5. – P. 381–395.
17. Demir F.T., Yavuz M. Heavy metal accumulation and genotoxic effects in levant vole (*Microtus guentheri*) collected from contaminated areas due to mining activities // Environmental pollution. – 2020. – Vol. 256. – P. 113378.
18. Heavy metals mixture affects the blood and antioxidant defense system of mice / A. Sani, A.I. Darma, I.L. Abdullahi [et al.] // Journal of Hazardous Materials Advances. – 2023. – Vol. 11. – P. 100340.

19. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании «Норильский никель» А.С. Яковлев, О.И. Плеханова, С.В. Кудряшов [и др.] // Почвоведение. – 2008. – № 6. – С. 737–750.
20. Турчина Т.А., Янченко З.А. Оценка безопасности оленьих пастбищ Авамской тундры по содержанию тяжелых металлов в вегетативных органах растений // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 246–257. – DOI: 10.31242/2618-9712-2022-27-2-246-257.
21. Шишкин А.С., Орешков Д.Н., Углова Е.С. Состояние животного населения в зоне воздействия Норильского промышленного комплекса // Сибирский экологический журнал. – 2014. – Т. 21, № 6. – С. 997–1008.
22. Наумов Н.П. Изучение подвижности и численности мелких млекопитающих с помощью ловчих канавок // Вопросы краевой, общей и экспериментальной паразитологии и медицинской зоологии. – М., 1955. – С. 179–202.
23. Юдин Б.С. Экология бурозубок (род *Sorex*) Западной Сибири // Тр. Биол. ин-та СО АН СССР. – 1962. – Вып. 8. – С. 33–134.
24. Литвинов Ю.Н. Сообщества и популяции мелких млекопитающих в экосистемах Сибири. – Новосибирск: Цэрис, 2001. – 126 с.
25. Млекопитающие фауны СССР / И.М. Громов, А.А. Гуреев, Г.А. Новиков [и др.]. – Издательство Академии наук СССР. Ч. 1. – М.; Л., 1963. – 640 с.
26. Бородин А.В. Определитель зубов полевок Урала и Западной Сибири (поздний плейстоцен – современность). – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 100 с.
27. МУ 31-04/04. Определение цинка, кадмия, свинца и меди в пищевой продукции. ФР.1.31.2004.00986 «Методика выполнения измерений массовой концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА» (свид. об аттестации № 31-04/04 от 26.12.2003).
28. МУ 31-05/04. Определение мышьяка в пищевой продукции. ФР.1.31.2004.01119 «Методика выполнения измерений массовой концентрации мышьяка в пищевых продуктах и продовольственном сырье, биологически активных добавках к пище методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА» (свид. об аттестации № 31-05/04 от 17.02.2004).
29. Элементный статус крови крупного рогатого скота голштинской породы в биогеохимических условиях Кемеровской области / Н.И. Шишин, О.И. Себежко, Ю.И. Федяев [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 3. – С. 70–79.
30. Полянская И.С. Новая классификация биоэлементов в биоэлементологии // Молочно-хозяйственный вестник. – 2014. – № 1 (13). – С. 34–42.
31. Raj K., Das A. P. Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution // Environmental Chemistry and Ecotoxicology. – 2023. – Vol. 5. – С. 79–85.
32. Kuna G., Gullipalli S., Chintada V. Health Risks Associated with Cadmium Toxicity // Cadmium Toxicity in Water: Challenges and Solutions. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. – P. 47–60.
33. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: Мир, 2004. – 272 с.
34. Калдыбаев Б.К. Уровни накопления тяжелых металлов мышевидными грызунами при иссыккуля // Известия вузов (Кыргызстан). – 2011. – № 1. – С. 43–46.
35. Исследование мелких млекопитающих Висимского заповедника: вклад в популяционную экотоксикологию? / Е.Л. Воробейчик, Ю.А. Давыдова, С.Ю. Кайгородова, С.В. Мухачева // Результаты изучения природы Висимского биосферного заповедника: науч. сб. ИЭРиЖ УрОРАН. Екатеринбург, 2006. – С. 108–129.
36. Улигова Т.С., Хежева Ф.В. Тяжелые металлы в компонентах природной среды в условиях техногенного загрязнения среднегорий Центрального Кавказа // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2008. – Т. 4, № 3. – С. 12–18.
37. Гаевая Е.В., Захарова Е.В. Содержание тяжелых металлов в организме крупного рогатого скота // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4–2. – С. 119–21.
38. Нарожных К.Н. Особенности аккумуляции тяжелых металлов в почках герефордского скота Западной Сибири // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: сб. науч. докл. XX Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. 1. – Новосибирск, 2017. – С. 422–426.

REFERENCES

1. Kharina G.V., Anakhov S.V., *Ekologicheskaya bezopasnost' cheloveka v tekhnosfere* (Environmental safety of man in the technosphere), Yekaterinburg, 2023, 186 p.
2. Pobilat A.Ye., Kirichuk A.A., Baranova O.V. [i dr.], *AgroEkoInfo: elektronnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal*, 2023, No. 6, pp. 1–10-DOI: 10.51419/202136619. (In Russ)

3. *Prirodnyye usloviya i geograficheskoye polozheniye Noril'skogo promyshlennogo uzla* (Natural conditions and geographical location of the Norilsk industrial hub), URL: <https://fb.ru/article/258629/prirodnyie-usloviya-i-geograficheskoe-polozhenie-noril'skogo-promyshlennogo-uzla>. (In Russ)
4. Nesterenko P.V., Zubalevich V.O., *Problemy stroitel'stva, inzhenernogo obespecheniya, blagoustroystva i ekologii* (Problems of construction, engineering, improvement and ecology), Proceedings of the Conference Title, Penza, 2021, pp. 143–146. (In Russ)
5. Sulistyowati L., Nurhasanah N., Riani E. [et al.], Heavy metals concentration in the sediment of the aquatic environment caused by the leachate discharge from a landfill, *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2023, Vol. 9, No. 2, pp. 323–336.
6. Mwelwa S., Chungu D., Tailoka F. [et al.], Biotransfer of heavy metals along the soil-plant-edible insect-human food chain in Africa, *Science of The Total Environment*, 2023, Vol. 881, pp. 163150, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163150.
7. Malematja E., Manyelo T.G., Sebola N.A. [et al.], The accumulation of heavy metals in feeder insects and their impact on animal production, *Science of the Total Environment*, 2023, Vol. 885, pp. 163716.
8. Poopak H., Raeeszadeh M., Salimi B., Accumulation of heavy metals in meat and their relationship with water and food intake of aquatic animals in Kermanshah, western Iran, *International Journal of Environmental Health Research*, 2024, Vol. 34, No. 3, pp. 1453–1465.
9. Goswami R., Neog N., Heavy metal pollution in the environment: impact on air quality and human health implications, Heavy metal toxicity: *Environmental concerns, remediation and opportunities*, Singapore: Springer Nature Singapore, 2023, pp. 75–103.
10. Budi N.S., Catalan Opulencia M.J., Afra A. [et al.], Source, toxicity and carcinogenic health risk assessment of heavy metals, *Reviews on Environmental Health*, 2024, Vol. 39, No. 1, pp. 77–90.
11. Sharm A., Grewal A.S., Sharma D. [et al.], Heavy metal contamination in water: consequences on human health and environment, *Metals in water*, Elsevier, 2023, pp. 39–52.
12. Maftouh A., El Fatni O., Ben Moussa A. [et al.], Heavy Metals in the Ecosystem; Sources and Their Effects, *Heavy Metal Remediation: Sustainable Nexus Approach*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 27–44.
13. Mukhacheva S.V., Berdyugin K.I., Davydova YU.A., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2009, No. 3, pp. 65–68. (In Russ)
14. Stepanova M.V., Ostapenko V.A., *Aktual'nyye voprosy zoologii, ekologii i okhrany prirody* (Current issues in zoology, ecology and nature conservation), Proceedings of the Conference Title, 2020, Vol. 2, pp. 199–205. (In Russ.)
15. Sheffield R. S.R., Sawicka-Kapusta K., Cohen J.B. [et al.], Rodentia and Lagomorpha, *Ecotoxicology of Wild Mammals*, Chichester: England, 2001, pp. 215–314.
16. Mukhacheva S.V., Long-Term Dynamics of Heavy Metal Concentrations in the Food and Liver of Shrews (g. *Sorex*) during High and Reduced Emissions Periods from the Copper Smelter, *Russian Journal of Ecology*, 2022, Vol. 53, No. 5, pp. 381–395.
17. Demir F.T., Yavuz M., Heavy metal accumulation and genotoxic effects in levant vole (*Microtus guentheri*) collected from contaminated areas due to mining activities, *Environmental pollution*, 2020, Vol. 256, pp. 113378.
18. A Sani A., Darma F.L., Abdullahi I.L. [et al.], Heavy metals mixture affects the blood and antioxidant defense system of mice, *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2023, Vol. 11, pp. 100340.
19. Yakovlev A.S., Plekhanova O.I., Kudryashov S.V. [i dr.], *Pochvovedeniye*, 2008, No. 6, pp. 737–750. (In Russ.)
20. Turchina T.A., Yanchenko Z.A., *Prirodnyye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2022, Vol. 27, No. 2, pp. 246–257, DOI: 10.31242/2618-9712-2022-27-2-246-257. (In Russ.)
21. Shishikin A.S., Oreshkov D.N., Uglova Ye.S., *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2014, Vol. 21, No. 6, pp. 997–1008. (In Russ.)
22. Naumov N.P., *Voprosy krayevoy, obshchey i eksperimental'noy parazitologii i meditsinskoy zoologii*, Moscow, 1955, pp. 179–202. (In Russ.)
23. Yudin B.S., *Trudy. Biol. in-ta SO AN SSSR*, 1962, Vyp. 8, pp. 33–134. (In Russ)
24. Litvinov YU.N., *Soobshchestva i populyatsii melkikh mlekopitayushchikh v ekosistemakh Sibiri* (Communities and populations of small mammals in the ecosystems of Siberia), Novosibirsk: Tseris, 2001, 126 p.
25. Gromov I.M., Gureyev A.A., Novikov G.A. [i dr.], *Mlekopitayushchiye fauny SSSR* (Mammals of the fauna of the USSR), Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, Chast' 1, Moscow; Leningrad, 1963, 640 p. (In Russ.)
26. Borodin A.V., *Opredelitel' zubov polevok Urala i Zapadnoy Sibiri (pozdniy pleystotsen – sovremennost')* (A guide to the teeth of voles in the Urals and Western Siberia (late Pleistocene – modern times)), Yekaterinburg: UrO RAN, 2009, 100 p.
27. MU 31-04/04 *Opredeleniye tsinka, kadmiya, svintsa i medi v pishchevoy produkcii*. FR.1.31.2004.00986 «Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii tsinka, kadmiya, svintsa i medi v pishchevykh produktakh, prodovol'stvennom syr'ye, kormakh i produktakh ikh pererabotki metodom inversionnoy vol'tamperometrii na analizatorakh tipa TA» (svidetel'stvo ob attestatsii №31-04/04 ot 26.12.2003 g.). (In Russ)
28. MU 31-05/04 *Opredeleniye mysh'yaka v pishchevoy produkcii*. FR.1.31.2004.01119 «Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii mysh'yaka v pishchevykh produktakh i prodovol'stvennom syr'ye, biologicheski ak-

- tivnykh dobavkakh k pishche metodom inversionnoy vol'tamperometrii na analizatorakh tipa TA» (svidetel'stvo ob attestatsii №31-05/04 ot 17.02.04 g.). (In Russ.)
29. Shishin N.I., Sebezheko O.I., Fedayev YU. I. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2017, No. 3, pp. 70–79. (In Russ.)
 30. Polyanskaya I.S., *Molochno-khozyaystvennyy vestnik*, 2014, No. 1 (13), pp. 34–42. (In Russ.)
 31. Raj K., Das A.P., Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution, *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2023, Vol. 5, pp. 79–85.
 32. Kuna G., Gullipalli S., Chintada V., Health Risks Associated with Cadmium Toxicity, *Cadmium Toxicity in Water: Challenges and Solutions*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 47–60.
 33. Skal'nyy A.V., Rudakov I.A., *Bioelementy v meditsine* (Bioelements in medicine), Moscow: Mir, 2004, 272 p.
 34. Kaldybayev B.K., *Izvestiya VUZov (Kyrgyzstan)*, 2011, No. 1, pp. 43–46. (In Russ.)
 35. Vorobeychik Ye.L., Davydova YU.A., Kaygorodova S.YU., Mukhacheva S.V., *Rezul'taty izucheniya prirody Visim-skogo biosfernogo zapovednika: nauch. sb. IERiZH UrORAN*, Yekaterinburg, 2006, pp. 108–129. (In Russ.)
 36. Uligova T.S., Khezheva F.V., *Ekologicheskiy vestnik Severnogo Kavkaza*, 2008, Vol. 4, No. 3, pp. 12–18. (In Russ.)
 37. Gayevaya Ye.V., Zakharova Ye.V., *Polzunovskiy vestnik*, 2011, No. 4–2, pp. 119–121. (In Russ.)
 38. Narozhnykh K.N., *Agrarnaya nauka-sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu Sibiri, Kazakhstana, Mongolii, Belarusi i Bolgarii* (Agricultural science – agricultural production in Siberia, Kazakhstan, Mongolia, Belarus and Bulgaria), Proceedings of the Conference Title, 2017, pp. 422–426. (In Russ.)

Информация об авторах:

Р.Б. Чысыма, доктор биологических наук
 А.В. Прокудин, кандидат ветеринарных наук
 О.К. Сергеева, научный сотрудник

Contribution of the authors:

R.B. Chysyma, Doctor of Biological Sciences
 A.V. Prokudin, Candidate of Veterinary Sciences
 O.K. Sergeeva, Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

