ВЕСТНИК НГАУ

Новосибирский государственный аграрный университет

Научный журнал

№ 4(65)2022

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:
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., главный редактор, проф. кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Камалдинов Е.В. – д-р биол. наук, доцент, зам. главного редактора, проректор по научной и международной деятельности ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (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)

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

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

Бямбаа Б. – д-р вет. наук, академик Монгольской академии наук, президент Монгольской академии аграрных наук (Улан-Батор, Монголия)

Власенко Н.Г. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИИЗиХ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

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, проф. 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, проф. 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)

Добротворская 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)

Донченко Н.А. – д-р вет. наук, чл.-корр. РАН, руководитель ИЭВСиДВ СФНЦА РАН (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, проф., зав. кафедрой разведения, кормления и частной зоотехнии, декан биолого-технологического факультета ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Кауфман О. – д-р аграр. наук, проф. 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., проф. лаборатории искусственного размножения рыб и интенсивной аквакультуры факультета рыбоводства и охраны вод Южно-Чешского университета (Чешские Будеевице, 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, проф. кафедры управления водообеспечением, Институт сельскохозяйственных наук и проблем питания в Мартин-Лютер университете (Халле-Виттенберг, Германия)

Ноздрин Г.А. – д-р вет. наук, проф., проф. 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., проф. кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Поповски З. – д-р аграр. наук, проф., кафедры биохимии и генной 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, гл. науч. сотрудник СФНЦА 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 *Мищенко О. Н.*
Редактор *Коробкова Т. К.*
Компьютерная верстка *Зверев А.Е.*
Переводчик *Рюмкина.И.Н.*.

Дата выхода в свет 28 декабря 2022 г. Свободная цена.
Формат 60 × 84 $^{1}/_{8}$. Объем 23 уч.-изд. л. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2255.

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

© ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», 2022

VESTNIK NGAU

Novosibirsk
State
Agrarian
University

Scientific journal

No. 4(65)2022

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, Vice-Rector for Scientific and International Activities at Novosibirsk State Agrarian University (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)

Byambaa B. – Doctor of Veterinary Sc., Academician of the Academy of Sciences in Mongolia, President of Mongolian Academy of Agricultural Sciences (Ulaan Baator, Mongolia)

Vlasenko N.G. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Science, Senior Research Fellow, Siberian Research Institute of Farming and Agricultural Chemicalization (Novosibirsk, Russia)

Vyshegurov S.Kh. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Botanics 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)

Donchenko N.A. – Dr. of Veterinary Sc., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head at the Institute of Experimentally Veterinary Medicine of Siberia and Far East, at 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)

Zhuchaev K.V. – Dr. of Biological Sc., Professor, the Head of the Chair of Animal Husbandry, Dean of Biology-Technological Faculty at 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. tof 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. – Dr. of Biological Sc., the Head of Siberian Research Institute of Farming and Chemicalization Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology RAS (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.*
Editor *T.K. Korobkova*
Desktop publishing: Zverev A.E.
Translator:Ryumkina. I.N.

Date of publication 28 December 2022. Free price.
Size is 60 × 84 $^1/_8$. Volume contains 23 publ. sheets. Offset paper is used.
Typeface “Times New Roman” is used. Order no. 2255.

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

© FSSFEI HE “Novosibirsk State Agrarian University”, 2022

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

АГРОНОМИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-5-11
УДК 635.36:635.11

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ В ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

М.А. Альберт, соискатель
Р.Р. Галеев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Е.А. Ковалев, аспирант

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
E-mail: rustniev@mail.ru

Ключевые слова: овес, яровой ячмень, яровая пшеница, программирование урожая, точное земледелие, минеральные удобрения, урожайность, экономическая эффективность.

Реферат. Представлены результаты исследований (2019–2022 гг.) по оценке эффективности программирования урожайности зерновых культур: яровая мягкая пшеница, ячмень яровой и овес – с использованием геоинформационных технологий в системе применения спутниковой навигации. Эксперименты проведены в лесостепи Новосибирского Приобья на черноземе выщелоченном в ЗАО Племзавод «Ирмень» Ордынского района Новосибирской области. Программирование урожайности осуществлялось на основных зерновых культурах: яровая мягкая пшеница сорта Новосибирская 31, яровой ячмень Маргрет и овес сортов Ровесник и Макс. Использование сбалансированного питания на фоне дифференцированного их внесения в сочетании с геоинформационными технологиями и спутниковой навигацией способствовало повышению параметров средней площади листьев и ФСП яровой мягкой пшеницы на 24%, ярового ячменя – на 22 и овса – на 27%. Внесение минеральных удобрений на программируемую урожайность 4,5–6 т/ га особо эффективно на фоне дифференцированного использования минеральных удобрений при оправдываемости программирования урожайности 117%. Статистически доказана зависимость урожайности зерновых культур от удобрений на 38% и погодных условий – на 26%. Сбалансированные дозы минерального питания при дифференцированном их применении повышали содержание белка в зерновых культурах на 2%, крахмала – до 4, жира – на 0,1 и клетчатки – на 0,2%. Применение программирования урожайности позволило значительно повысить её показатели при хорошем качестве продукции. Эффективность данного агроприема в системе оптимального использования геоинформационных технологий с применением спутниковой навигации и дронов составляет в среднем 96%. Данный агроприем экономически эффективен, уровень рентабельности производства основных зерновых культур достиг 182%.

PECULIARITIES OF GRAIN CROP YIELD PROGRAMMING IN PRECISION FARMING IN THE FOREST-STEPPE OF NOVOSIBIRSK PRIOBYE

M.A. Albert, Doctoral candidate
R.R. Galeev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
E.A. Kovalev, PhD student

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
E-mail: rustniev@mail.ru

Keywords: oats, spring barley, spring wheat, yield programming, precision farming, mineral fertilizers, yield, .

Abstract. Presents research results (2019-2022) to assess the effectiveness of grain crop yield programming: soft spring wheat, spring barley, and oats using geoinformation technologies in satellite navigation applications. Experiments were conducted in the forest-steppe of the Novosibirsk Priob'ye region on leached chernozem in JSC livestock breeding farm "Irmen.", Ordynsky district, Novosibirsk region. The authors programmed yields on the main grain crops: spring soft wheat varieties Novosibirskaya 31, spring barley Margret and oats varieties Rovesnik and Max. The use of balanced nutrition on the background of their differentiated application in combination with geoinformation technologies and satellite navigation helped to increase the parameters of average leaf area and

FSP of soft spring wheat by 24%, spring barley by 22%, and oats by 27%.Fertilizer application on the programmed yield of 4.5-6 t / ha is efficient on the background of differentiated use of mineral fertilizers with justifiability yield programming 117%. The authors proved the dependence of grain crop yield on fertilizers by 38% and weather conditions - by 26% using a statistical method. Balanced doses of mineral nutrition at their differential application increased the protein content of cereal crops by 2%, starch by 4, fat by 0.1 and fiber by 0.2%. The use of yield programming has significantly increased its performance with good product quality. The efficiency of this agricultural technique in the system of optimal use of geoinformation technology with satellite navigation and drones averages 96%. This farming technique is cost-effective, and the level of profitability of production of major crops reached 182%.

В настоящее время использование программирования урожайности способствует оптимизации агрофитоценозов для получения максимальной продуктивности и повышения качества продукции [1–3]. При этом особое значение имеет освоение методов математического планирования многофакторных полевых опытов с целью получения объективной информации и познания трендов по взаимодействию основных факторов формирования высокой урожайности [4–6].

Показано, что на уровень современного производства зерновых культур влияют основные факторы внешней среды, а также уровень развития технологической базы хозяйства [7–9]. Залогом успеха производства в современном земледелии является оптимизация использования программирования урожайности в системе точного земледелия при соблюдении оптимального параметра элементов технологии производства зерновых культур [10–12]. Наряду с этим необходимо установить степень реализации биологического потенциала продуктивности зерна в системе адаптивных технологий их возделывания [13, 14]. Для успешной реализации биологического потенциала сортов основных зерновых культур значимость имеет усиление их стресс-устойчивости к неблагоприятным факторам природной среды и вредным организмам [15, 16]. При этом необходим подбор сортов зерновых культур на основе их биологических адаптационных особенностей в аспекте применения программирования урожая в системе использования геоинформационных технологий [17, 18].

В этой связи целью наших исследований являлась оценка эффективности применения программирования урожайности зерновых культур в системе точного земледелия в условиях лесостепи Новосибирского Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2019–2022 гг. в почвенно-климатической зоне дренированной лесостепи, входящей в северную лесостепь предгорий. Почвы опытных полей состояли из выщелоченного чернозема, в которых слабовыщелоченные преобладают. Содержание гумуса в почве было 5,96–6,76% (среднегумусные черноземы), валового азота – 0,36–0,37, фосфора – 0,17–0,20 и калия – 1,14–1,29%. Концентрация легкогидролизуемого азота составила 8,25–11,93 мг/100 г почвы, почвенного фосфора – 17,9–23,6 и обменного калия – 15,7–18,3 мг/100 г при рН 6,49.

Годы проведения экспериментальной работы различались метеорологическими условиями. В 2019 г. было отмечено повышенное увлажнение, особенно в июле–августе, с недостатком влаги в почве в мае и первой половине июня. В 2020 г. гидротермический режим сложился на уровне среднемноголетних данных. В 2021 г. отмечался недостаток тепла в мае–июне при дефиците осадков в июле и августе, что соответствовало среднемноголетним трендам. В 2022 г. в мае и июне не было заморозков, однако эти месяцы характеризовались засушливостью. В июле и августе температура была выше, а сумма осадков ниже среднемноголетних показателей.

В опыте возделывали яровую мягкую пшеницу Новосибирская 31, яровой ячмень Маргрет и овес сортов Ровесник и Макс.

Учетная площадь элементарных полей – 25 га, повторность – четырехкратная. Среднюю площадь листьев и фотосинтетический потенциал определяли по методикам Н.Ф. Коняева [19] и А.А. Ничипоровича [20]. Экспериментальные данные подвергали статистической обработке по Б.А. Доспехову [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В опытах 2019–2022 гг. выявлено, что на выщелоченном черноземе использование программирования урожайности яровой мягкой пшеницы, ярового ячменя и овса на основе учета естественного плодородия почвы, коэффициентов использования из почвы и удобрений, а также выноса питательных веществ с урожаем было эффективно во все годы проведения экспериментальной работы.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений на программируемую урожайность по эффективности превосходит традиционный способ. Средняя площадь листьев при дифференцированном применении превосходит показатели традиционного внесения на 19–25% и контроля без удобрений на 22–29%. У яровой мягкой пшеницы сорта Новосибирская 31 максимальные параметры площади листьев отмечены при дифференцированном внесении дозы на урожайность 6 т/ га (28,3 тыс. м^2/га). Аналогичная тенденция отмечена и по показателям ФСП – превышение к контролю составляет 27–34% (табл. 1).

Таблица 1

Площадь листьев и ФСП зерновых культур в зависимости от способа применения удобрений на программируемую урожайность (среднее за 2019–2022 гг.)

Leaf area and Photosynthetic potential (PSP) of cereal crops as a function of fertilizer application method for programmed yield (average for 2019-2022).

Вариант	Яровая пшеница		Яровой ячмень		Овес	
	средняя площадь листьев, тыс. м^2/га	ФСП, тыс. м^2·сут /га	средняя площадь листьев, тыс. м^2/га	ФСП, тыс. м^2·сут /га	средняя площадь листьев, тыс. м^2/га	ФСП, тыс. м^2·сут /га
Контроль (без удобрений)	21,2	1968	20,7	1760	20,3	1767
Традиционный способ внесения на программируемую урожайность 4 т/га	24,8	2306	23,5	1998	22,4	1949
5 т/га	25,6	2381	24,6	2091	23,2	2018
6 т/га	26,9	2502	25,2	2142	24,3	2114
Дифференцированное внесение 4 т/га	26,4	2465	25,8	2193	24,5	2132
5 т/га	27,8	2585	26,4	2244	25,3	2201
6 т/га	28,3	2632	27,2	2312	26,1	2271
НСР$_{05}$	0,42	38,4	0,35	47,5	0,68	62,4

Примечание. При традиционном способе вносили средней нормой по повторностям; при дифференцированном – индивидуальной нормой в зависимости от содержания элементов питания в почве.

У ярового ячменя имела место аналогичная тенденция с увеличением показателей средней площади листьев и ФСП на фоне доз минерального питания на программируемую урожайность при максимальных значениях в варианте с дифференцированной дозой минеральных удобрений (аммиачная селитра, двойной гранулированный суперфосфат и сернокислый калий). На фоне внесения дифференцированным способом средняя площадь листьев ярового ячменя сорта Маргрет достигает 27,2 тыс. м^2/га, а ФСП – 2312 тыс. м^2·сут/ га. У сорта овса Ровесник также при внесении минерального питания средняя площадь листьев возрастала относительно контроля на 19–24% и была максимальной при дозе на программируемую урожайность 6 т/ га.

Важнейшим параметром продуктивности зерновых культур является урожайность. Установлено, что сбалансированное минеральное питание при традиционном способе внесения на 62% превосходит неудобренный фон. При дифференцированном применении удобрений урожайность яровой пшеницы на 83% превосходила показатели контроля (без удобрений); при традиционном способе при дозе на программируемую урожайность 4 т/ га – на 98%, при дозе 6 т/га – на 87%.

При дифференцированном внесении минеральных удобрений с использованием геоинформационных технологий оправдываемость программирования урожайности возросла до 98–109%.

В исследованиях с яровым ячменем сорта Маргрет при традиционном способе урожайность возросла на 52% относительно контроля. Применение дифференцированного внесения минерального питания способствовало повышению эффективности использования удобрений относительно контроля на 64%. На фоне традиционного применения удобрений оправдываемость программирования урожайности составила 93–97%. При дифференцированном способе этот показатель возрос до 117%.

В опытах с овсом использовали два сорта – Ровесник и Макс. Прибавка к неудобренному фону при традиционном внесении удобрений составила соответственно 6 и 53%. При дифференцированном использовании удобрений урожайность возросла относительно неудобренного фона у сорта Ровесник на 65%, у сорта Макс – на 61%.

Использование удобрений на программируемую урожайность обеспечило оправдываемость у яровой мягкой пшеницы на 87–98%. При дифференцированном применении удобрений оправдываемость достигла 109%.

У ярового ячменя прибавка урожайности на фоне традиционного внесения составила относительно неудобренного фона 48% при 60% в опытах с дифференцированным применением. Оправдываемость программирования урожайности ярового ячменя равнялось 93–97%, а при дифференцированном внесении увеличилась до 117%.

В опыте с овсом при традиционном способе внесения удобрения дали прибавку урожайности у сорта Ровесник 61%, сорта Макс – 53%. Оправдываемость программирования урожайности у сорта Ровесник колебалась при традиционном способе от 99 до 106%, сорта Макс – от 103 до 107%. При дифференцированном способе оправдываемость программирования урожайности у овса сорта Ровесник достигла 113%, у сорта Макс – 120% при дозе под урожайность 4 т/га (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность зерновых культур при разных способах использования удобрений на программируемую урожайность (среднее за 2019–2022 гг.)

Crop yields for different fertilizer applications on programmed works (2019-2022 average)

Вариант	Яровая пшеница		Яровой ячмень		Овес (Ровесник / Макс)	
	урожайность, т/га	оправдываемость программирования, %	урожайность, т/га	оправдываемость программирования, %	урожайность, т/га	оправдываемость программирования, %
Контроль (без удобрений)	3,24	-	3,89	-	3,72/4,14	-/-
Традиционный способ внесения на программируемую урожайность 4 т/га	3,91	98	3,72	93	4,13/4,28	103/107
5 т/га	4,62	92	4,85	97	5,38/5,49	106/109
6 т/га	5,23	87	5,76	96	5,96/6,21	99/103
Дифференцированное внесение 4 т/га	4,31	108	4,68	117	4,52/4,79	113/120
5 т/га	5,42	109	5,83	116	5,27/5,83	105/117
6 т/га	5,93	98	6,23	104	6,15/6,58	103/110

Примечание. Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта (6 х 4) по урожайности: $НСР_{05}$ для частных различий – 0,49, $НСР_{05}$ для фактора А (дозы удобрений) – 0,36, В (год) и взаимодействие АВ – 0,43. Главные эффекты и взаимодействие факторов: А – 38,2, В – 25,6, АВ – 19,4%.

Статистически показано, что урожайность зерна зависела от доз удобрений на 38%, условий года – на 26 при взаимодействии факторов на уровне 19%.

Определение качества зерна зерновых культур свидетельствует о том, что на фоне применения сбалансированного минерального питания повышается содержание белка (на 1–2%), крахмала (до 4%), жира (на 0,1%) и клетчатки (на 0,2%), в особенности с применением дифференцированного внесения удобрений на программируемую урожайность (табл. 3).

Таблица 3

Качество зерна зерновых культур в зависимости от уровня программирования урожайности и способа применения удобрений (среднее за 2019–2022 гг.), % на сухую массу

Grain quality of grain crops depends on the level of yield programming and method of fertilizer application (average for 2019-2022), % on the dry weight

Вариант	Яровая пшеница				Яровой ячмень				Овес			
	белок	крахмал	жир	клетчатка	белок	крахмал	жир	клетчатка	белок	крахмал	жир	клетчатка
Контроль (без удобрений)	15,2	56	1,8	2,6	11	52	1,9	5,8	11	44	5,3	13,7
Традиционный способ внесения на программируемую урожайность 4 т/га	16	58	1,8	2,7	12	54	1,8	5,8	11	47	5,4	13,8
5 т/га	17	60	1,8	2,6	12	55	2,0	5,9	12	46	5,6	14,0
6 т/га	17	59	1,9	2,8	12	54	2,1	5,8	12	47	5,7	13,9
Дифференцированное внесение 4 т/га	17	60	1,9	2,6	13	55	2,1	5,9	12	48	5,5	14,2
5 т/га	17	60	1,9	2,7	13	55	2,2	5,9	12	48	5,8	14,3
6 т/га	17	59	1,9	2,6	13	55	2,1	6,0	12	47	5,8	14,2
НСР$_{05}$	0,3	0,6	0,1	0,7	0,4	0,6	0,1	0,1	0,3	0,8	0,1	0,2

Установлено, что использование сбалансированных доз минеральных удобрений на программируемую урожайность экономически эффективно. Уровень рентабельности достигает 182% против 78% в контроле без удобрений.

ВЫВОДЫ

1. На черноземе выщелоченном лесостепи Новосибирского Приобья в условиях ЗАО Племзавод «Ирмень» в 2019–2022 гг. проведены исследования по установлению эффективности применения сбалансированных доз удобрений на программируемую урожайность яровой мягкой пшеницы, ярового ячменя, овса при двух способах применения минеральных удобрений – традиционном и дифференцированном.

2. Использование сбалансированных доз минеральных удобрений на фоне дифференцированного их внесения в сочетании с геоинформационными технологиями и спутниковой навигацией обеспечило на зерновых культурах повышение средней площади листьев и ФСП на 22–27%.

3. Применение удобрений на программируемую урожайность 4; 5; 6 т/га особенно эффективно на фоне дифференцированного использования минеральных удобрений при оправдываемости программирования до 117%.

4. Статистически определено, что урожайность зерновых культур зависела от удобрений на 38%, погодных условий – на 26% при взаимодействии факторов на уровне 19%.

Сбалансированные дозы удобрений и изучаемых зерновых культур (яровая мягкая пшеница, яровой ячмень, овес) улучшали качество зерна с повышением содержания белка на 1–2%, крахмала – до 4, жира – на 0,1 и клетчатки – на 0,2%.

5. На фоне сбалансированных доз удобрений на программируемую урожайность и дифференцированного применения удобрений в сочетании с элементами точного земледелия уровень рентабельности производства основных зерновых культур возрастает до 182%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каюмов М.К.* Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1989. – 320 с.
2. *Саханов Н.М.* Эффективное земледелие. – Тамбов: Кн. изд-во, 2009. – 157 с.
3. *Технологическая* карта возделывания зерновых культур с применением точного земледелия. – М., 2019. – 39 с.
4. *Особенности* производства зерновых и технических культур в Западной Сибири / М.Н. Разгоняев, Н.С. Сидоров, Р.Р. Галеев, Н.С. Михайлов. – Томск, 2015. – 76 с.
5. *Никитин М.С., Локтев М.А., Галеев Р.Р.* Производство зерновых культур по адаптивной технологии. – Новосибирск: Ритм, 2012. – 123 с.
6. *Галеев Р.Р.* Программирование урожая сельскохозяйственных культур: метод. рекомендации. – Новосибирск, 2016. – 59 с.
7. *Резервы* повышения урожайности яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири / В.Н. Шоба, В.Н. Каличкин, С.А. Ким, А.В. Капичкин // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 6. – С. 31–33.
8. *Энергоресурсопотребление* в растениеводстве Западной Сибири / С.Х. Вышегуров, Р.Р. Галеев [и др.]. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. аграр. ун-та, 2003. – 202 с.
9. *Костяков Н.М.* ГИС-технологии на поля Нечерноземья. – Киров: Кн. изд-во, 2015. – 192 с.
10. *Михайлов М.Т.* На пути к точному земледелию. – Рязань: Кн. изд-во, 2009. – 79 с.
11. *Evenson R.E.* Research and Extension in Agricultural Development. – San Francisco: International Center for Economic Growth Publication, 1992. – 54 p.
12. *Kallen S.A.* The Farm. – Edina (Minnesota): ABDO & Daughters, 1997. – 24 p.
13. *Kaluchhin W.K., Pavlova A.I., Petrov A.F.* Automated of agricultural landly using His and Nes // International journal of Enginereg and technology (UAE). – 2018. – Vol. 7. – P. 1146–1148.
14. *Text* grain physical and chemical quality responses to soil physicochemical properties and the environment / A. Abewa, E. Ago, B. Yotaferu [et al.] // Agronomy. – 2019. – N 9(6). – P. 283.
15. *Potassium* fractions in soil and simple K balance in long-term fertilising experiments / J. Balik, M. Kulhanek, J. Very, O. Sedlar, P. Suran // Soil and water Research. – 2020. – N 15. – P. 211–219.
16. *In-situ* investigation of interactions between magnesium ion and natura organic matter / M. Yan, Y. Lu, Y. Gao, G.V. Benedetti // Enviromental Science and Technology. – 2020. – N 49(14). – P. 8323–8329.
17. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. – Новосибирск, 2004. – 162 с.
18. *Киршен П.М.* Яровая пшеница в интенсивном земледелии. – Киров: Кн. изд-во, 2015. – 132 с.
19. *Ничипорович А.А.* Продуктивность сельскохозяйственных растений и урожай. – М.: Сельхозгиз, 1963. – 261 с.
20. *Коняев Н.Ф.* Математический метод определения площади листьев // Доклады ВАСХНИИЛ. – 1970. – № 4. – С. 21–25.
21. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Альянс, 2014. – 386 с.

REFERENCES

1. Kajumov M.K., *Programmirovanie urozhaev sel'skohozjajstvennyh kul'tur* (Programming crop yields), Moscow: Agropromizdat, 1989, 320 p.
2. Sahanov N.M., Tambov: Kn. izd-vo, 2009, 157 p.
3. *Tehnologicheskaja karta vozdelyvanija zernovyh kul'tur s primeneniem tochnogo zemledelija* (Technological map of the cultivation of grain crops using precision farming), Moscow: 2019, 39 p.
4. Razgonjaev M.N., Sidorov N.S., Galeev R.R., Mihajlov N.S., *Osobennosti proizvodstva zernovyh i tehnicheskih kul'tur v Zapadnoj Sibiri* (Features of the production of grain and industrial crops in Western Siberia), Tomsk, 2015, 76 p.
5. Nikitin M.S., Loktev M.A., Galeev R.R., *Proizvodstvo zernovyh kul'tur po adaptivnoj tehnologii* (Production of grain crops using adaptive technology), Novosibirsk: Ritm, 2012, 123 p.

6. Galeev R.R., *Programmirovanie urozhaja sel'skohozjajstvennyh kul'tur* (Crop Harvest Programming): metod. rekomendacii, Novosibirsk, 2016, 59 p.
7. Shoba V.N., Kalichkin V.N., Kim S.A., Kapichkin A.V., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2017, No. 6, pp. 31–33. (In Russ.)
8. Vyshegurov S.H., Galeev R.R. [i dr.], *Jenergoresursopotreplenie v rastenievodstve Zapadnoj Sibiri* (Energy resource consumption in crop production in Western Siberia), Novosibirsk: Izd-vo Novosib. gos. agrar. un-ta, 2003, 202 p.
9. Kostjakov N.M., *GIS-tehnologii na polja Nechernozem'ja* (GIS technologies for the of the Non-Black Earth Region), Kirov: Kn. izd-vo, 2015, 192 p.
10. Mihajlov M.T., *Na puti k tochnomu zemledeliju* (Towards precision farming), Rjazan': Kn. izd-vo, 2009, 79 p.
11. Evenson R.E., *Research and Extension in Agricultural Development*, San Francisco: International Center for Economic Growth Publication, 1992, 54 p.
12. Kallen S.A., *The Farm*, Edina (Minnesota): ABDO & Daughters, 1997, 24 p.
13. Kaluchhin W.K., Pavlova A.I., Petrov A.F., Automated of agricultural landly using His and Nes, *International journal of Enginereg and technology (UAE)*, 2018, Vol. 7, pp. 1146–1148.
14. Abewa A., Ago E., Yotaferu B. [et al.], Text grain physical and chemical quality responses to soil physicochemical properties and the environment, *Agronomy*, 2019, No. 9(6), pp. 283.
15. Balik J., Kulhanek M., Very J., Sedlar O., Suran P., Potassium fractions in soil and simple K balance in long-term fertilising experiments, *Soil and water Research*, 2020, No. 15, pp. 211–219.
16. Yan M., Lu Y., Gao Y., Benedetti G.V., In-situ investigation of interactions between magnesium ion and natura organic matter, *Enviromental Science and Technology*, 2020, No. 49(14), pp. 8323–8329.
17. Sorokin O.D., *Prikladnaja statistika na komp'jutere* (Applied statistics on the computer), Novosibirsk, 2004, 162 p.
18. Kirshen P.M., *Jarovaja pshenica v intensivnom zemledelii* (Spring wheat in intensive farming), Kirov: Kn. izd-vo, 2015, 132 p.
19. Nichiporovich A.A., *Produktivnost' sel'skohozjajstvennyh rastenij i urozhaj* (Agricultural plant productivity and yield), Moscow: Sel'hozgiz, 1963, 261 p.
20. Konjaev N.F., *Doklady VASHNIIL*, 1970, No. 4, pp. 21–25. (In Russ.)
21. Dospehov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow: Al'jans, 2014, 386 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-12-21
УДК 631.4.001.895 : 631.526

РАЗРАБОТКА ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВОГРУНТОВ В СМЕСИ С РАЗЛИЧНЫМИ МЕСТНЫМИ АГРОРУДАМИ, МЕЛИОРАНТАМИ, ОТХОДАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

[1]**И.Г. Асылбаев,** доктор биологических наук, профессор
[1,3]**Р.Б. Нурлыгаянов,** доктор сельскохозяйственных наук, доцент
[2]**М.А. Севостьянов,** кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
[1]**И.Ю. Кузнецов,** доктор сельскохозяйственных наук, доцент
[1]**Д.Р. Исламгулов,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор
[1]**Р.Р. Алимгафаров,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
[1]**Б.Г. Ахияров,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
[1]**Ф.Ф.Авсахов,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

[1]*Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия*
[2]*Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Москва, Россия*
[3]*Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия*

Ключевые слова: почвогрунт, цеолит, фосфогипс, дефекат, всхожесть, горох, яровая пшеница, овес.

Реферат. В процессе роста и развития культурные растения синтезируют сухое вещество с выносом элементов минерального питания из почвы. Поэтому корнеобитаемый слой культурных растений должен быть богат элементами минерального питания, а хозяйственный вынос их в результате отчуждения с выращенным урожаем требует возвращения обратно в почву в целях повышения ее плодородия и обеспечения продуктивности предстоящей культуры. Целью исследований является разработка искусственных почвогрунтов в смеси с различными местными агрорудами, мелиорантами и отходами сельскохозяйственного и промышленного производства, включающими макро- и микроэлементы. Исследования проводились в искусственных условиях в фитотроне БГАУ. В контрольном варианте из-за кислотности почвогрунта наибольшая продуктивность и выживаемость растений отмечена у овса (57,0%), несколько меньшая – у яровой пшеницы (43,0%) и наименьшая – у гороха (28,0%). Добавление цеолита в почвогрунт обеспечило повышение продуктивности гороха на 20,0%, яровой пшеницы – на 20,9, овса – на 24,0%; с фосфогипсом соответственно на 38,0; 24,9 и 30,0%. Самым эффективным в опытах был вариант почвогрунта с дефекатом. Прирост у растений гороха составил 44,0%, яровой пшеницы – 29,10 и овса – 234,0%. Почвогрунты и их компоненты имеют большую перспективу в производстве продукции растениеводства в России.

DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL POTTING SOILS MIXED WITH VARIOUS LOCAL AGRONOMICAL ORES, AMELIORANTS, AGRICULTURAL AND MANUFACTURING WASTES

[1]**I.G. Asylbaev,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[1,3]**R.B. Nurlygayanov,** Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
[2]**M.A. Sevostyanov,** Ph.D. in Technical Sciences, Leading Researcher
[1]**I.Yu. Kuznetsov,** Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
[1]**D.R. Islamgulov,** Doctor of Agricultural Sciences, Professor
[1]**R.R. Alimgafarov,** Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor
[1]**B.G. Akhiyarov,** Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor
[1]**F.F. Avsakhov,** Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor

[1]*Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia*
[2] *Federal State Budgetary Scientific Establishment the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology (RSRIP), Moscow, Russia*
[3]*Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia*

Keywords: potting soil, zeolite, phosphogypsum, defecation residues, germination ability, pea, summer wheat, common oats.

Abstract. In the process of growth and development, cultivated plants synthesize dry matter by removing mineral nutrients from the soil. Therefore, the root layer of cultivated plants must be rich in elements of mineral nutrition. Their economic removal as a result of alienation from the grown crop requires a return to the soil to increase its fertility and ensure the productivity of the upcoming harvest. The research aims to develop artificial grounds mixed with various local agricultural ores, ameliorants, and waste from agricultural and industrial production, including macro- and microelements. Studies were conducted under artificial conditions in the phytotron of Bashkir State Agrarian University. In the control variant, oats had the highest productivity and plant survival (57.0%), slightly lower - in spring wheat (43.0%), and the lowest - in pea (28.0%) because of potting soil acidity. The authors believe that the addition of zeolite to the soil increases the productivity of peas by 20.0%; spring wheat by 20.9; oats by 24.0%; with phosphogypsum by 38.0, 24.9 and 30.0%, respectively. The most effective in the experiments was the variant of potting soils with defecate. The growth in pea plants was 44.0%, spring wheat - 29.10 and oats - 234.0%. Potting soils and their components have excellent prospects in crop production in Russia.

Рост и развитие культурных растений зависят от условий питания, а именно, воздушного и минерального. Если воздушное питание можно регулировать с наименьшей вероятностью путем обеспечения травостоя светом (солнечной энергией) за счет оптимального выбора нормы высева семян и способа посева (широкорядный, узкорядный и т.д.), то минеральное питание зависит от деятельности человека. Известно, что когда человек разумный (*Homo sapiens*) – кроманьонец 10 тыс. лет назад совершил «неолитическую революцию» с переходом от собирательства и охоты к земледелию, он предрешил будущее не только самого человечества, но и биосферы на последующие более чем 600 поколений [1, с. 17]. Как высшая фаза живой природы, *Homo sapiens* отличается от всего живого на Земле тем, что сознательно регулирует свою жизнедеятельность прежде всего за счет обеспечения рационального питания. Первым делом *Homo sapiens* начал приучать животных, чтобы запас пищи всегда был рядом, поскольку нередко охотники возвращались без добычи, а обитателей общины надо было кормить постоянно. С другой стороны, одомашненный скот тоже необходимо кормить, что, видимо, стало основной причиной начала занятием земледелием для заготовки кормов рядом со стойбищем, а причиной тому может быть открытие возможности выращивания кормовых и других диких культур, что он собирал на стороне, которые могли дать проростки из случайно выпавших семян. Пока на данные вопросы нет точного ответа, но ясно главное – человек разумный начал осваивать земледелие [2, с. 14; 3].

С началом занятия земледелием развивается не только речь, но и мышление человека. Человек столкнулся с новой проблемой – поля, где выращивались окультуренные растения, постепенно теряли свою продуктивность, необходимо было осваивать новые земли. Это теперь известно, что почва со временем становится малопродуктивной за счет сокращения запасов элементов минерального питания из-за постоянного выноса их с урожаем, что получило такое название, как «хозяйственный вынос». В дальнейшем появилась переложная система земледелия – возвращение через несколько лет на брошенное поле для выращивания нового урожая. Древний человек не понимал, но знал, что как новые земли, так и «отдохнувшие» обеспечивали хорошие урожаи. Весь секрет заключался в минерализации почвы, растительных остатков и органического вещества на доступные ионы минерального питания растений, о чем мы теперь знаем. Со временем сложилось единство факторов: почва, вода, огонь, лес, металл – для собственного производства пищи человеком [4, с. 10].

Почва, сама богатая органическим веществом, является гарантом и источником минерального питания растений для синтеза сложных органических веществ в них. Поэтому проблема органического вещества почвы занимает одно из ведущих положений не только в фундаментальном почвоведении, но и в производстве продукции растениеводства [5, с. 3]. Г.В. Добровольский считает, что более 90% продуктов питания современное человечество получает за счет использования элементов питания почвы в процессе производства продукции растениеводства и животноводства [6, с. 59; 7]. Почва и почвогрунты играют основную роль в минеральном питании как в открытом грунте, так и в защищенном. Установлена эффективность обогащения почвы почвогрунтами и биологическими удобрениями в повышении продуктивности полевых культур [8–10].

В настоящее время анализ земельных ресурсов показывает, что уровень экологически доступного воздействия на землю в ряде регионов страны превышен. Существует реальная угроза полного истощения и загрязнения земель. Серьезную опасность представляют опустынивание земель, эрозия, истощение плодородия, засоление [11, с. 3; 12].

В последние годы на мировом рынке продовольствия объемы российского экспорта продолжают наращиваться, по данным экспертов, они будут расти и в будущем [13, с. 17]. Особенно убедительно это выражается в экспорте зерна [14, с. 778]. По данным академика РАН, ведущего экономиста по экономике зерна А. Алтухова, в 2019 г. России экспортировала зерна на 7,93 млрд долл., что составило 31,9% в структуре сельскохозяйственных товаров из общей суммы 24,83 млрд долл.

Среди экспортных товаров растительное масло занимает ведущее место – 2,21 млрд долл. (8,9%), что является положительным фактором, поскольку это продукт переработки семян, а не сырье [15, с. 31]. Масличные культуры в России занимают 14,5 млн га [16, с. 3], при этом следует отметить, что они в 2 раза больше выносят элементов минерального питания из почвы.

В 2020 г. на 1 га пашни было внесено 69 кг д.в. минеральных удобрений и 1600 кг органических [17, с. 26], данные показатели в 4–5 раз ниже, чем в Западной Европе [18, с. 14], При этом только 11% от общероссийского производства минеральных удобрений потребляется внутри страны, что связано с низким уровнем платежеспособного спроса сельхозтоваропроизводителей [19]. Вместе с тем следует принимать во внимание, что с вывозом зерна за границу мы вывозим элементы минерального питания. Так, если в среднем на 1 т зерна расходуется 30 кг азота, 15 – фосфора и 25 кг калия [20, с. 158], то нетрудно посчитать, сколько выносится элементов питания из почвы: 1,2 млн т азота, 0,6 – фосфора и 1,0 – калия, или в сумме 2,8 млн т. Справочно: в 2019 г. АПК России 3,485,9 млн т, т. е. 80,3% внесенных NPK с зерном вывозил за границу. Сюда не включены еще другие виды продукции растениеводства, семена масличных культур и др.

Отсюда следует, что в РФ складывается отрицательный баланс питательных веществ в почве. Поэтому внесение минеральных и органических удобрений, природных мелиорантов и возделывание сидеральных культур является частью общегосударственной политики. Для будущих поколений необходимо оставить хорошее наследие в виде плодородия почвы. Здесь важное значение имеет ввод в оборот отходов промышленной и хозяйственной деятельности, богатых элементами минерального питания, в целях обогащения почвы за счет почвогрунтов. Создание искусственных почвогрунтов позволит независимо от типа почвы, места и погодных условий выращивать различные культуры [21].

Почвогрунт – любая плодородная почва, не имеющая постоянного состава. Наполнение зависит от материала и от способа его получения (место, время, способ добычи и процесс искусственной обработки). Классификации по видам почвогрунта не существует, как и пропорций содержания компонентов. Варьирование разных компонентов и различия в дозировке позволяют получать бесконечное количество видов плодородной почвы с особыми характеристиками, где микро- и макроэлементы находятся в доступной для растений форме [22, с.10].

На современном этапе развития мирового сообщества сельскохозяйственное производство достигло уровня, при котором созидательные процессы превосходят аналоги естественного происхождения. Искусственно созданные почвогрунты представляют собой оптимизированные по плодородным параметрам смеси, способные обеспечить растения всеми необходимыми питательными веществами. Для создания искусственных почв могут использоваться такие материалы, как песок, глина, озерный ил, гравий, щебень, зола, измельченный бетон, молотый известняк, молотый доломит, старая штукатурка и минеральные удобрения. Основными органическими материалами являются торф, навоз, компост, солома, зеленая масса, бытовые отходы, древесная кора, лесная подстилка, опилки и др. К органоминеральным материалам относится листовая, травяная, парниковая, огородная и компостная земля [23, с. 10]. В искусственных почвогрунтах важной составляющей становятся и удобрения, которые также могут быть исключительно органическими. Таким образом, несмотря на название, на искусственном почвогрунте могут расти вполне естественные и здоровые овощи и культуры, все зависит от способов применения и возможностей созданной смеси и удобрений [24, с. 17].

Республика Башкортостан является крупным производителем зерна. В среднем ежегодно производится 3 млн т и более зерна [25, с. 48; 26, с. 84], за исключением 2021-го острозасушливого года. Поэтому имеет широкие перспективы использование почвогрунтов в АПК республики в качестве дополнительного источника элементов минерального питания, с одной стороны, с другой – в производстве органической продукции [27, с. 32], где предстоит ограничить применение минеральных удобрений. Поэтому изучение почвы и почвогрунтов является актуальной темой современности.

Цель исследований – разработка искусственных почвогрунтов в смеси с различными местными агрорудами, мелиорантами и отходами сельскохозяйственного и промышленного производства, включающими макро- и микроэлементы.

В рамках темы исследования ставились следующие задачи: 1) анализ применения различных видов технологических отходов от перерабатывающей промышленности Республики Башкортостан в создании почвогрунта; 2) построение моделей почвогрунтов с применением технологических отходов; 3) изучение влияния сформированных почвогрунтов на всхожесть и развитие различных видов сельскохозяйственных растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в искусственных условиях в лаборатории фитотрон и в Smart-теплице ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ методом вегетационных опытов (рис. 1).

Рис. 1. Проведение вегетационных опытов в фитотроне ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, октябрь 2022 г.
Fig. 1. Conducting vegetation experiments in the phytotron of Bashkir State Agrarian University, October 2022.

Схема опыта:

1. Почвогрунт (контроль);
2. Почвогрунт + микроэлементый комплекс – цеолит Тузбекского месторождения, 7 : 1, 5 : 1, 3 : 1 (SiO_2 – 60,60–66,80, Al_2O_3 – 12,30–16,40, CaO – 4,05–5,00, Na_2O – 2,31–3,51, Fe_2O_3 – 2,56–2,60, MgO – 1,09–2,22, FeO – 0,56–1,35, TiO_2 – 0,58–0,74, K_2O – 0,27–0,52, P_2O_5 – 0,13–0,17, H_2O – 0,30–0,70, MnO – 0,05–0,08, SO_3<0,10%);
3. Почвогрунт + фосфогипс.
4. Почвогрунт + дефекат (отход свеклосахарного производства), 7 : 1, 5 : 1, 3 : 1 ($CaCO_3$ – 60%).

Норма высева гороха – 50 шт., овса – 65, пшеницы – 75 шт. на ящик.

Посев в фитотроне производили 23 сентября. Повторность – четырехкратная. Исследования в опытах проводили по общепринятым методикам и ГОСТам. Посевные качества семян определяли по ГОСТ 52325-2005. Фенологические наблюдения за прохождением фаз развития растений и определение межфазных периодов, густоты стояния растений проводили в период полных всходов и перед уборкой путем подсчета количества растений на постоянных фиксированных площадках (ящиках). Линейный рост растений измеряли через 10 дней от всходов до укосов в 10 местах двух несмежных повторений с нахождением средних величин по методике государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1989, 2019).

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методами корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почва – это сложная постоянно развивающаяся природная система в поверхностном слое земной коры выветривания. Здесь одновременно происходит совместное взаимодействие горных пород, живых микроорганизмов в условиях рельефа местности и времени, способствующее воспроизводству плодородия почвы [28, с. 622].

Почвогрунт в наших опытах был богат ионами водорода (H^+) и имел показатель pH_{KCl}= 4,4. Как известно, почвогрунты формируются в кислой среде, и это было ожидаемо. Тем не менее, по нашей научной гипотезе, добавление дополнительных компонентов должно было улучшить почвенную реакцию почвогрунта. В варианте опыта с горохом это отразилось следующим образом. В контрольном варианте (в почвогрунте) полная всхожесть семян гороха составила 16 шт., или 32% от всего количества посеянных всхожих семян. Это связано с низкой активностью симбиотических микроорганизмов и реакцией самого гороха к кислой среде.

При добавлении цеолита всхожесть и сохранность растений гороха составила 33 растения, или 66%, что на 34% больше, чем в контрольном варианте. Цеолит положительно повлиял на реакцию почвенной среды смеси. Фосфогипс оказывал больший положительный эффект в сравнении с цеолитом – на 4%, или 2 растения. Самым лучшим компонентом среди исследуемых вариантов оказался дефекат. Как известно, дефекат богат $CaCO_3$ (до 60%). В составе дефеката имеется также земля (грязь, поступающая вместе с корнеплодами), богатая элементами минерального питания. Количество выросших растений гороха составило 38, или 76%.

Злаковые культуры проявили устойчивость к среде почвогрунта и его смесям, обеспечивая высокую биологическую активность. В контрольном варианте всхожесть составила 43,1%, что на 11,1% выше, чем у гороха. В других вариантах показатели роста и развития растений яровой пшеницы уступали в сравнении с горохом от 2% (варианты с цеолитом и фосфогипсом) до 3% (с дефекатом). Активность роста и развития растений гороха в сравнении с яровой пшеницей мы объясняем повышенной интенсивностью симбиотического аппарата гороха с клубеньковыми бактериями.

В наших исследованиях особо отличался овес. Как известно, он обладает большими преимуществами перед многими полевыми культурами как устойчивый к кислой среде, а корневые выделения способны повысить усвояемость элементов минерального питания из труднодоступных форм. Поэтому контрольный вариант обеспечил 57%-ю сохранность растений, что на 25% выше показателя гороха и на 13,9% – яровой пшеницы. Наибольшая всхожесть и сохранность растений овса была отмечена в варианте с дефекатом – 91%. В вариантах с фосфогипсом и цеолитом данный показатель составил 87 и 81% соответственно (таблица).

Результаты вегетационных опытов из-за небольших объемов нельзя принимать как итоговые, хотя был получен положительный эффект от добавления компонентов. Отметим, что использованные компоненты: цеолит, фосфогипс и дефекат – в республике имеются в достаточном количестве, и их необходимо эффективно использовать как с почвогрунтами, так и прямым внесением на поле.

Всхожесть растений в зависимости от варианта опыта (фитотрон БГАУ, 19 октября 2022 г.
The germination ability of plants depends on the variant of the experiment (Bashkir State Agrarian University phytotron, October 19, 2022.)

Вариант	Горох		Пшеница		Овес	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Почвогрунт	16,0	32,0	28,0	43,1	37,0	57,0
Почвогрунт + фосфогипс	35,0	70,0	51,0	68,0	57,0	87,0
Почвогрунт + цеолит	33,0	66,0	48,0	64,0	53,0	81
Почвогрунт + дефекат	38,0	76,0	55,0	73,0	59,0	91
$НСР_{05}$	1,05		2,17		1,89	

В полевых условиях возможно неполное проявление отрицательного влияния почвогрунтов на рост и развитие растений, поскольку их кислотность при этом будет снижаться. Для выявления итогового эффекта наши исследования будут продолжены на микроделяночных опытах в УНЦ БГАУ. Для этих целей с осени нами были заложены опытные участки с почвогрунтом вышеперечисленных вариантов с большим набором культур (рис. 2).

Рис. 2. Закладка вариантов полевых опытов под сельскохозяйственные культуры (УНЦ БГАУ, ноябрь 2022 г.)
Fig. 2. T
State Agrarian University, November 2022).

Деятельность человека приводит к глобальной трансформации природной среды обитания [29, с. 486]. Только эта деятельность может быть охарактеризована как положительно, так и отрицательно. Почва как один из главных компонентов экосистемы играет ключевую роль в круговороте веществ и определяет их место и состояние [30, с. 492]. Нация, которая теряет плодородие, теряет себя, сказал Докучаев. Поэтому в целях сохранения плодородия почвы необходимо искать дополнительные источники его повышения. Примером служит разработка и использование в АПК почвогрунтов из различных отходов, не вызывающих экологических последствий. Выявленная эффективность почвогрунтов с дополнительными компонентами согласуется с рядом других исследований [31–33].

ВЫВОДЫ

1. Производство продукции растениеводства зависит от многих природных, абиотических и антропогенных факторов. Основным источником питания растений являются минеральные элементы, которые содержатся в почве. Их количество всегда меняется из-за трансформации, где основную долю составляет хозяйственный вынос вместе с выращенной продукцией растениеводства.

2. В целях возврата элементов минерального питания можно использовать почвогрунты с различными компонентами, которые повышают их эффективность, в зависимости от вида культур. В наших исследованиях наиболее эффективным оказался дефекат – отход переработки сахарной свеклы. Дефекат богат не только органическим веществом, но и карбонатом кальция ($CaCO_3$), который снижает кислотность почвенной среды почвогрунта и повышает эффективность самого почвогрунта.

3. Среди исследуемых культур более отзывчивым к почвогрунту и исследуемым компонентам оказался овес. Таким образом, почвогрунты и их компоненты имеют большую

перспективу в производстве продукции растениеводства.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренного постановлением Правительства РФ от 09.04 2010 №218 по теме «Высокотехнологичное производство грунтов методами инновационной переработки отходов» (идентификатор государственного контракта 000000S407521QL90002)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вернадский В.И.* Автотрофность человечества // Химия и жизнь. – 1970. – № 2. – С. 17.
2. *Давтян Г.С.* Принципы управляемой технологии индустриального растениеводства без почвы // Принципы управления продукционными процессами в агроэкосистемах. – М.: Наука, 1978. – С. 14–20.
3. *Земледелие* предков и современность / Р.Б. Нурлыгаянов, Ф.К. Фатхетдинов, Куулар Эне-Сай А., И.Р. Нурлыгаянова [Электронный ресурс] // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы VII Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Кемерово, 29 декабря 2021 г.) / ред. кол.: Е.А. Ижмулкина [и др.]; ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА. – Кемерово, 2021. – С. 223–231. – Режим доступа: http://ksai. (дата обращения: 30.12.2021).
4. *Минеев В.Г.* История и состояние агрохимии на рубеже XXI века. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 616 с.
5. *Багаутдинов Ф.Я., Хазиев Ф.Х.* Состав и трансформация органического вещества почв. – Уфа: Гилем, 2000. – 197 с.
6. *Добровольский Г.В.* Деградация почв – угроза глобального экологического кризиса // Век глобализации. – 2008. – № 2. – С. 54–65.
7. *The* of sudan grass on the mixed sowing chemical composition of annual forage crops / I.Y. Kuznetsov, B.G. Akhiyarov, I.G. Asylbaev [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – Т. 13, N S8. – P. 6558–6564.
8. *Биологизация* технологии выращивания тепличного томата в условиях Западной Сибири / В.С. Масленникова, В.П. Цветкова, А.В. Пастухова, А.Ф. Петров // Вестник НГАУ. – 2022. – № 3. – С. 36–43. – DOI:10.31677/2072-6724-2022-64-3-36-43.
9. *Альберт М.А., Галеев Р.Р., Ковалева Е.А.* Эффективность применения гуминатрина на зерновых культурах лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ. – 2022. – № 1. – С. 7–13. – DOI:10.31677/2072-6724-2022-62-1-7-13.
10. *Влияние* органических удобрений на основе птичьего помета на продуктивность кормовых культур и микробиологические показатели почвы / Т.А. Садохина, В.П. Данилов, А.Ф. Петров, Е.А. Матенькова, Т.В. Гарилец, К.Н. Рыбакова // Вестник НГАУ. – 2021. – № 4. – С. 62–2. – DOI:10.31677/2072-6724-2021-61-4-62-72.
11. *Зонн И.С., Куст Г.С., Андреева О.В.* Парадигма опустынивания: 40 лет развития и глобальных действий // Аридные экосистемы. – 2017. – № 3. – С. 3–16.
12. of promising alfalfa varieties in conditions of the southern forest-steppe zone (republic of bashkortostan): a study of economic and biological characteristics / I. Kuznetsov, I. Asylbaev, A. Dmitriev [et al.] // Botanical Studies. – 2022. – Т. 63, N 1. – С. 31.
13. *Светлов Н.М.* Чувствительность российского сельского хозяйства к внешнеторговой политике // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 9. – С. 17–22.
14. *Крылатых Э.Н., Белова Т.Н.* Экспорт российского зерна в контексте формирования региональной экономической политики // Экономика региона. – 2018. – № 18. – С. 778–790.
15. *Алтухов А.И.* Принципы экспортной политики и их реализация в современных условиях // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 6. – С. 2–10.
16. *Овсянка Л.А., Чепелева К.В.* Перспективы развития производства рапсового масла в регионе // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 11. – С. 31–34.
17. *Нечаев В.И., Давыдова Я.Е.* Методологические подходы к биоэнергетической оценке и эколого-экономической эффективности агротехнических приемов в растениеводстве: отдельные аспекты // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 7. – С. 24–33.

18. *Нечаев В.И., Волощенко В.С.* Развитие инновационных процессов в АПК // Экономика сельского хозяйства России. – 2012. – № 10. – С. 13–26.
19. *Алтухов А.И., Куликов И.М., Семин А.Н.* Продовольственный комплекс России: состояние и перспективы развития. – М., 2018. – 464 с.
20. *Справочник* по удобрениям / Н.А. Середа, В.И. Кузнецов, Н.А. Родин [и др.]. – Уфа, 2016. – 180 с.
21. *Создание* искусственных почв / Т.М. Черевко, Е.А. Болтунов, В.Н. Филатова, Д.И. Ерёмин // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. – Тюмень, 2021. – С. 392–396.
22. *Почвогрунт*: Обзор методов получения и возможностей применения / А.П. Глинушкин, Л.Л. Свиридова, М.А. Севостьянов, И.И. Сычева, Е.В. Гришина // Biotika. – 2018. – № 6(25). – С. 10–19.
23. *Рыбина С.Ю., Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М.* Исследование агрофизических показателей искусственной почвы // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Всерос. науч. конф.: сб. докл. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – Ч. II. – С. 263–269.
24. *Гончарова Е.Н.* Экологические проблемы защиты культурных растений в промышленных районах // Эколого- правовые и экономические аспекты экологической безопасности регионов: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2013. – С. 17–21.
25. *Рафикова Н.Т., Валишина Н.Р.* Анализ влияния зональных условий на производство зерна в Республике Башкортостан // Вопросы статистики. – 2015. – № 10. – С. 48–56.
26. *Аслаева С.Ш.* Зонирование производства зерна на территории Республики Башкортостан // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 4. – С. 82–86.
27. *Носов С.* Об органическом сельском хозяйстве в России как основном элементе устойчивого развития сельских территории // Аграрная тема. – 2020. – № 10. – С. 32–33.
28. *Воропаев В.С.* Искусственные почвогрунты. Способ повышения плодородия земли // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – С. 622–625.
29. *Тепеева А.Н., Глушкова А.М., Качалкин А.В.* Влияние городских теплотрасс на дрожжевание сообществ почв // Почвоведение. – 2018. – № 4. – С. 486–492.
30. *Роль* микроорганизмов в экологических функциях почв / Т.Г. Добровольская, Д.Г. Звягинцев, И.Ю. Чернов [и др.] // Почвоведение. – 2018. – № 4. – С. 492–493.
31. *Искусственные* почвогрунты из отходов обогащения кимберлитовой руды / И.В. Тельминов, А.Л. Невзоров, И.Ю. Заручевных, М.А. Корзова // Вестник МГСУ. – 2012. – № 1. – С. 128–132.
32. *Фомина Н.В.* Ферментативная активность почвогрунтов, созданных с добавлением золошлаковых отходов // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2015. – № 1 (28). – С. 37–42.
33. *Биологические* методы восстановления плодородия деградированных почв южной лесостепи Республики Башкортостан / А.Н. Хасанов, И.К. Хабиров, И.Г. Асылбаев, Б.В. Рафиков // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2017. – № 11 (211). – С. 118–124.

REFERENCES

1. Vernadsky V.I., *Khimiya i zhizn'*, 1970, No. 2, pp. 17. (In Russ.)
2. Davtyan G.S., *Printsipy upravleniya produktsionnymi protsessami v agroekosistemakh* (Principles of management of production processes in agroecosystems), Moscow: Nauka, 1978, pp. 14–20.
3. Nurlygayanov R.B., Fatkhetdinov F.K., Kuular Ene-Sai A., Nurlygayanova I.R., *Aktual'nye nauchno-tekhnicheskie sredstva i sel'skokhozyaystvennye problemy* (Actual and technical means and agricultural problems), Materials of the VII National and practical conference with international participation (Kemerovo, December 29, 2021): http://ksai.ru/upload/

4. Mineev V.G., *Istoriya i sostoyanie agrokhimii na rubezhe XXI veka* (History and state of agrochemistry at the turn of the XXI century), Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2002, 616 p.
5. Bagautdinov F.Ya., Khaziev F.Kh., *Sostav i transformatsiya organicheskogo veshchestva pochv* (Composition and transformation of soil organic matter), Ufa: Gilem, 2000, 197 p.
6. Dobrovolsky G.V., *Vek globalizatsii*, 2008, No. 2, pp. 54–65. (In Russ.)
7. Kuznetsov I.Y., Akhiyarov B.G., Asylbaev I.G., Davletov F.A., Sergeev V.S., Abdulvaleyev R.R., Valitov A.V., Mukhametshin A.M., Ayupov D.S., Yagafarov R.G., The of sudan grass on the mixed sowing chemical composition of annual forage crops, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018, Vol. 13, No. S8, pp. 6558–6564.
8. Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Pastukhov A.V., Petrov A.F., *Vestnik NSAU*, 2022, No. 3, pp. 36–43, DOI:10.31677/2072-6724-2022-64-3-36-43. (In Russ.)
9. Albert M.A., Galeev R.R., Kovaleva E.A., *Vestnik NSAU*, 2022, No. 1, pp. 7–13, DOI:10.31677/2072-6724-2022-62-1-7-13. (In Russ.)
10. Sadokhin T.A., Danilov V.P., Petrov A.F., Matenkova E.A., Garilets T.V., Rybakova K.N., *Vestnik NSAU*, 2021, No. 4, pp. 62–72, DOI:10.31677/2072-6724-2021-61-4-62-72. (In Russ.)
11. Zonn I.S, Kust G.S., Andreeva O.V., *Aridnye ekosistemy*, 2017, No. 3, pp. 3–16. (In Russ.)
12. Kuznetsov I., Asylbaev I., Dmitriev A., Nizaeva A., Shakirzyanov A., of promising alfalfa varieties in conditions of the southern forest-steppe zone (republic of bashkortostan): a study of economic and biological characteristics, *Botanical studies*, 2022, Vol. 63, No. 1, pp. 31.
13. Svetlov N.M., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2021, No. 9, pp. 17–22. (In Russ.)
14. Winged E.N., Belova T.N. // *Economics of the region,* - 2018, - No. 18., – pp.778–790. (In Russ.)
15. Altukhov A.I., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2021, No. 6, pp. 2–10. (In Russ.)
16. Ovsyanka L.A., Chepeleva K.V., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2020, No. 11, pp. 31–34. (In Russ.)
17. Nechaev V.I., Davydova Ya.E., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2021, No. 7, pp. 24–33. (In Russ.)
18. Nechaev V.I., Voloshchenko V.S., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2012, No. 10, pp. 13–26. (In Russ.)
19. 19. Altukhov A.I., Kulikov I.M., Semin A.N., *Prodovol'stvennyy kompleks Rossii: sostoyanie i perspektivy razvitiya* (Food complex of Russia: state and development prospects), Moscow, 2018, 464 p.
20. Sereda N.A., Kuznetsov V.I., Rodin N.A. [et al.], *Spravochnik po udobreniyam* (Reference book on fertilizers), Ufa, 2016, 180 p.
21. Cherevko T.M., Boltunov E.A., Filatova V.N., Eremin D.I., *Aktual'nye voprosy nauki i khozyaystva: novye vyzovy i resheniya*, Tyumen, 2021, pp. 392–396. (In Russ.)
22. Glinushkin A.P., Sviridova L.L., Sevostyanov M.A., Sycheva I.I., Grishina E.V., *Biotika*, No. 6(25), 2018, pp. 10–19. (In Russ.)
23. Rybina S.Yu., Pendyurin E.A., Smolenskaya L.M., *Bezopasnost', zashchita i okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya* (Safety, protection and environmental protection: fundamental and applied research), All-Russian conference: collection of reports., Belgorod: Publishing house of BSTU im. V.G. Shukhova, 2019, Part II, pp. 263–269. (In Russ.)
24. Goncharova E.N., *Эколого- правовые и экономические аспекты экологической безопасности регионов* (Environmental, Legal and Economic Aspects of Ecological Safety of the Regions), Proceedings of the VIII International and Practical Conference, Kharkiv: Publishing house of KHNADU, 2013, pp. 17–21. (In Russ.)
25. ., Valishina N.R., *Voprosy statistiki*, 2015, No. 10, pp. 48–56. (In Russ.)
26. Aslaeva S.Sh., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii,* 2021, No. 4, pp. 82–86. (In Russ.)
27. Nosov S., *Agrarnaya tema*, 2020, No. 10, pp. 32–33. (In Russ.)
28. Voropaev V.S., *Iskusstvennye pochvogrunty. Sposob povysheniya plodorodiya zemli* soils. way to increase soil fertility), International and technical conference of young scientists of BSTU. V.G. Shukhov, 2017, pp. 622–625. (In Russ.)

29. Tepeeva A.N., Glushkova A.M., Kachalkin A.V., *Pochvovedenie*, 2018, No. 4, pp. 486–492. (In Russ.)
30. Dobrovolskaya T.G., Zvyagintsev D.G., Chernov I.Yu. [et al.], *Pochvovedenie*, 2018, No. 4, pp. 492–493. (In Russ.)
31. Telminov I.V., Nevzorov A.L., Zaruchevnykh I.Yu., Korzova M.A., *Vestnik MGSU*, 2012, No. 1, pp. 128–132. (In Russ.)
32. Fomina N.V., *Vestnik Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ya*, 2015, No. 1 (28), pp. 37–42. (In Russ.)
33. Khasanov A.N., Khabirov I.K., Asylbayev I.G., B.V., *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No. 11 (211), pp. 118–124. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-22-29
УДК 635.21;631.52

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ КАРТОФЕЛЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ

А.С. Батов, младший научный сотрудник
Ю.А. Гуреева, младший научный сотрудник

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

E-mail: alexandr-batov@mail.ru

Ключевые слова: картофель, сорт, источник, исходный материал, продуктивность.

Реферат. В рамках комплексного плана научных исследований по реализации подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля» на базе СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН в 2019 – 2021 гг. было проведено изучение коллекции картофеля. Цель исследования – определение адаптивных и высокопродуктивных сортов картофеля и их пригодности для селекционного процесса. Представлены результаты изучения 13 сортов картофеля, выделившихся по продуктивности. За стандарт был взят зарубежный сорт Гала, так как он входит в первую десятку по объему посевных площадей в Российской Федерации. В 2019 г. сорт-стандарт Гала имел наибольшую урожайность среди исследуемых сортов – 1653 г/куст. В 2020 г. все исследуемые сорта превысили стандарт, максимальная продуктивность отмечена у следующих сортов: Терра (1067 г/куст), Кумач (1076 г/куст) и Призер (1081 г/куст). В последний год исследования два сорта достоверно превысили сорт-стандарт: Терра (1280 г/куст) и Садон (1377 г/куст). В среднем за три года наибольшей продуктивностью характеризовался у сорт Аляска (1229 г/куст). За годы исследования 46% исследуемых сортов отличились высокими продуктивными способностями и имели коэффициент адаптивности свыше 1. Наибольшее значение показателя адаптивности отмечено у сорта Аляска (1,07). Высокая товарность клубней (свыше 97%) выявлена у 11 из 13 испытываемых сортообразцов. Низкая фертильность и отсутствие естественного ягодообразования у многих урожайных сортов картофеля затрудняют использование их в селекции на высокую продуктивность. В условиях лесостепи Новосибирского Приобья для селекции на высокую продуктивность в качестве опылителей пригодны следующие сорта: Сальса, Сигнал и Гала, имеющие фертильность от 50 до 90%. Высокое естественное ягодообразование (7–9 баллов) отмечено у четырех сортов: Садон, Призер, Сигнал и Гала – данные сорта рекомендуются для селекционного процесса в качестве материнских растений.

SOURCE MATERIAL FOR POTATO BREEDING FOR PRODUCTIVITY IN THE FOREST-STEPPE CONDITIONS OF NOVOSIBIRSK PRIOBYE

A.S. Batov, Junior Researcher
Y.A. Gureeva, Junior Researcher

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

E-mail: alexandr-batov@mail.ru

Keywords: potatoes, variety, source, raw material, productivity.

Abstract. The authors studied the potato collection in 2019-2021 as part of a comprehensive research plan for the implementation of the subprogram “Development of potato breeding and seed production” based on SibNIIRS - a branch of the ICG SB RAS (Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding - a component of the Federal Research Center of the Institute of Cytology and genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences). The study aims to determine adaptive and high-yield potato varieties and their suitability for breeding. The authors presented the results of a survey of 13 potato varieties distinguished by productivity. The foreign variety Gala was taken as a standard since it is in the top ten cultivated areas in the Russian Federation.In 2019, the standard variety Gala had the highest yield among the tested varieties - 1653 g/bed. In 2020, all the studied varieties exceeded the standard; the authors note the maximum productivity in the following types: Terra (1067 g/bush), Kumach (1076 g/bush), and Prizer (1081 g/bush). In the last year of the study, two varieties significantly exceeded the standard variety: Terra (1280 g/bushel) and Sadon (1377 g/bushel). On average, over three years, the highest productivity was noted in the variety Alaska (1229 g / bush). Over the years of the study, 46% of the studied types distinguished themselves by their high productive ability and had an adaptability coefficient of more than 1. The authors note the highest value of the adaptability index in the variety Alaska (1.07). High marketability of tubers (over 97%) was observed in 11 out of 13 tested types. Low fertility and lack of natural berry formation in widely productive potato varieties make it difficult to use them in breeding for high productivity. In the forest-steppe conditions of the Novosibirsk Priob'ye region, the following types are suitable for breeding for increased productivity as pollinators: Salsa, Signal, and Gala having fertility from 50 to 90%. The authors also noted high natural berry production (7–9 points) in four varieties: Sadon, Prizer, Signal, and Gala. These varieties are recommended for the breeding process as mother plants.

Российская Федерация является одним из лидеров по производству картофеля в мире. В настоящее время существует общая тенденция к сокращению посевных площадей под картофель при одновременной интенсификации отрасли, например, площадь под посадку картофеля в хозяйствах РФ всех категорий в 2016 г. составила 2053 тыс. га, а в 2021 г. всего 1146,3 тыс. га. Поэтому в настоящее время необходимо выведение новых высокопродуктивных и адаптивных сортов картофеля. Для решения этой проблемы требуется постоянное изучение источников ценных признаков для важнейших направлений селекции картофеля [1, 2].

Задача селекционера – использовать все имеющееся видовое и сортовое разнообразие для гибридизации с целью объединения в будущих сортах ценных сельскохозяйственных признаков. Продуктивность сортов картофеля представляет собой сложный полигенный признак, определяемый взаимодействием как генетических, так и экологических факторов [3, 4].

Стабильно высокая урожайность любой сельскохозяйственной культуры, и картофеля в том числе, – важный показатель в современных условиях. Необходимость создания новых высокоурожайных сортов картофеля связана с тем, что под воздействием неблагоприятных внешних условий, а также за счет поражения болезнями и вредителями наблюдаются нестабильность урожайности и ее снижение у старых сортов [5, 6].

Выявление лучших родителей с высокой урожайностью и с ценными сельскохозяйственными признаками лежит в основе программы селекции картофеля. Сорта картофеля с высоким урожаем клубней являются многообещающими кандидатами в качестве исходного материала для селекции на продуктивность [7, 8].

Новосибирская область занимает пятое место в Сибирском федеральном округе по объемам производства картофеля. Условия лесостепи Новосибирского Приобья благоприятны для возделывания картофеля. По данным научно-исследовательских учреждений и передовой практики, хозяйства различных форм собственности способны получать урожайность клубней до 40–50 т/га [9, 10]. Для обеспечения высокого урожая необходимо возделывать высокопродуктивные и адаптивные к местным условиям сорта картофеля [11].

Цель исследования заключалась в изучении высокопродуктивных сортов картофеля в конкретных условиях региона, определении их адаптивности и пригодности для селекционного процесса.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты закладывали в 2019–2021 гг. на опытных полях Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиала ИЦиГ СО РАН в лесостепной зоне Новосибирского Приобья. Севооборот четырехпольный: пшеница – овес – сидеральный пар (рапс) – картофель. Почвенный покров представлен среднемощным выщелоченным черноземом со следующей 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/100 г почвы соответственно, pH 6,7–6,8.

Материалом для исследований послужили высокопродуктивные сорта картофеля из коллекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН.

Закладка опыта, проведение учетов, оценка образцов в полевых условиях проводились согласно методическим рекомендациям ВИР (2010) и ВНИИКХ им. А.Г. Лорха (1980).

Клубни высаживали в принятые для Новосибирской области сроки (третья декада мая) по общепринятой для этого исследования схеме. Площадь посадки 70 х 35 см, площадь делянки 30 м^2, учётная – 25 м^2, повторность трехкратная, размещение делянок рендомизированное. Посадка производилась вручную по бороздам, уборка – механизированно. Обработка: прополки, рыхление, окучивание, двукратная обработка инсектицидом против колорадского жука – проводилась по мере необходимости.

Метеоусловия в годы исследований (2019–2021 гг.) характеризовались достаточно влажной весной и высокой суммой эффективных температур, кроме мая 2021 г., который отличался низкой влажностью – 25,1 мм (при среднемноголетней 37 мм), но достаточно высокими температурами, что дало возможность получить дружные всходы – на уровне 2019–2020 гг. Летние месяцы вегетации в годы исследований характеризовались благоприятными условиями для развития растений. Сумма температур выше 10°С была выше средней многолетней на 293, 102 и 200 °С. Самым благоприятным был 2019 г., когда влагообеспеченность в целом за вегетацию была выше средней многолетней на 12%, а сумма положительных температур на 293°С. Это дало возможность растениям картофеля оптимально реализовать свой потенциал.

Коэффициент адаптивности рассчитан по методике выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм по параметру «урожайность» [12].

Определение фертильности пыльцы проводили методом окрашивания ацетокармином согласно методическим указаниям по низкозатратной технологии селекционного процесса на этапах гибридизации и выращивания сеянцев (ВНИИКХ, 2009).

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН в 2019–2021 гг. были проведены специальные опыты по выявлению источников высокой продуктивности сортов картофеля в условиях Новосибирского Приобья.

С учетом предыдущих результатов изучения коллекции были выделены 13 высокопродуктивных сортов картофеля разных групп спелости (табл.1). Значительное влияние на продуктивность исследуемых сортов оказали метеорологические условия выращивания. В 2019 г. сложились благоприятные условия для растений картофеля, и сорт-стандарт Гала имел наибольшую урожайность среди исследуемых сортов – 1653 г/куст. В 2020 г. диапазон колебаний продуктивности варьировал от 702 г/куст у сорта-стандарта до 1081 г/куст у сорта Призер. В последний год исследования два сорта достоверно превысили сорт-стандарт: Терра (1280 г/куст) и Садон (1377 г/куст). В среднем за три года наибольшая продуктивность отмечена у сорта Аляска (1229 г/куст).

Таблица 1

Продуктивность и коэффициент адаптивности сортов картофеля (2019–2021 гг.)
Productivity and adaptability factor of potato varieties (2019-2021)

Сорт	Группа спелости	Урожайность, г/куст				Средний коэффициент адаптивности (K_a)
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя	
1	2	3	4	5	6	7
Терра	03	1077	1067	1280	1141	1,01
Легенда	03	1140	1004	1019	1054	0,93
Сальса	04	1397	992	1178	1189	1,04
Гала (st)	04	1653	702	1189	1181	1,01
Садон	04	1200	963	1377	1180	1,03
Призер	04	1243	1081	1154	1159	1,02
Сударыня	04	1057	997	1221	1092	0,96

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Сафо	04	1340	812	1109	1087	0,94
Аляска	05	1600	976	1110	1229	1,07
Гранд	05	1283	1054	1170	1169	0,92
Пламя	05	1157	1007	1206	1123	0,89
Сигнал	05	1237	884	1246	1122	0,89
Кумач	05	1093	1076	1195	1121	0,99
Среднесортовая урожайность		1267	970	1189		
$НСР_{05}$		92	71	90		

В методике, предложенной Л. А. Животковым, для анализа продуктивного и адаптивного потенциала сортов по варьированию их урожайности используется понятие «среднесортовая урожайность» [12]. В данном случае сопоставление урожайности изучаемых сортов проводится не со стандартом, а со средней урожайностью по всем сравниваемым сортам. Показатель нормы реакции сортов в каждом году принимается за 1. По рассчитанным данным коэффициента адаптивности ($К_а$) оценивали адаптивные и продуктивные возможности изучаемых сортов. При этом выявлено, что за период исследований 46% исследуемых сортов отличились высокими продуктивными способностями и имели коэффициент адаптивности свыше 1. Наибольшее значение показателя адаптивности отмечено у сорта Аляска (1,07).

Продуктивность картофельного растения складывается из двух компонентов: количества клубней и средней массы клубня. Оба показателя генетически детерминированы [13].

Количество товарных клубней – важный хозяйственный показатель продуктивности картофеля. W.A. Rield [14] доказал, что данный признак передается по потомству. Пределы изменчивости этого признака варьировали от 9 шт/куст у сорта Терра до 19 шт/куст у сорта Гала (табл. 2). Средняя масса товарного клубня колебалась в значительных пределах: от 60 г у сорта Гала до 123 г у сорта Терра.

В данном опыте к товарным отнесены клубни, имеющие, в соответствии с положениями ГОСТ 7176 (2017), размер более 50 мм [15]. В среднем за три года товарность варьировала от 87% у сорта Сударыня до 98% у сорта Гранд.

По результатам трехлетнего изучения в условиях Новосибирского Приобья выделены сорта с высокой продуктивностью: Призер, Гранд, Гала, Садон, Сальса и Аляска, средняя урожайность которых превысила 40 т/га. Средняя товарная урожайность свыше 40 т/га отмечена у следующих сортов: Гала, Садон, Гранд, Сальса и Аляска.

Таблица 2

Оценка структуры товарного урожая изучаемых образцов картофеля в среднем за 2019–2021 гг.
Evaluation of the commercial yield structure of the studied potato samples on average for 2019-2021

Сорт	Количество товарных клубней, шт.	Средняя масса 1 товарного клубня, г	Товарность, %	Средняя урожайность, т/га	Средняя товарная урожайность, т/га	Cv,%
1	2	3	4	5	6	7
Терра	9	123	97	39,9	38,7	6,8
Легенда	13	79	97	38,4	37,2	6,5

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Сальса	12	96	97	41,6	40,4	5,5
Гала	19	60	97	41,3	40,1	17,8
Садон	12	95	97	41,3	40,1	14,4
Призер	10	112	97	40,6	39,4	14,3
Сударыня	16	59	87	38,2	33,2	13,2
Сафо	11	97	97	38,0	37,2	14,4
Аляска	12	97	95	43,0	40,9	16,2
Гранд	16	72	98	40,9	40,1	14,4
Пламя	12	91	97	39,3	38,1	14,0
Сигнал	15	72	96	39,3	37,7	13,0
Кумач	11	99	97	39,2	38,0	13,3

Анализ сортов, находящихся в изучении, показал, что урожайность картофеля в 2019–2021 гг. варьировала в средней степени, значение коэффициента вариации было установлено в пределах 13,0–17,8 % (см. табл. 2). Стоит обратить внимание на сорта Терра, Легенда и Сальса со слабым варьированием признака (значение Cv от 5,5 до 6,8%), следовательно, данные сорта имели более стабильную урожайность по годам.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа, представленные в табл. 3, показывают, что факторы «год», «взаимодействие генотип – среда», а также случайные факторы вносят практически одинаковый вклад в изменчивость урожайности (соответственно 34; 32 и 28 %). Вклад генотипа в изменчивость составил всего лишь 6 %, однако действие только этого источника варьирования на изменчивость урожайности было достоверным ($p<0,05$).

Таблица 3

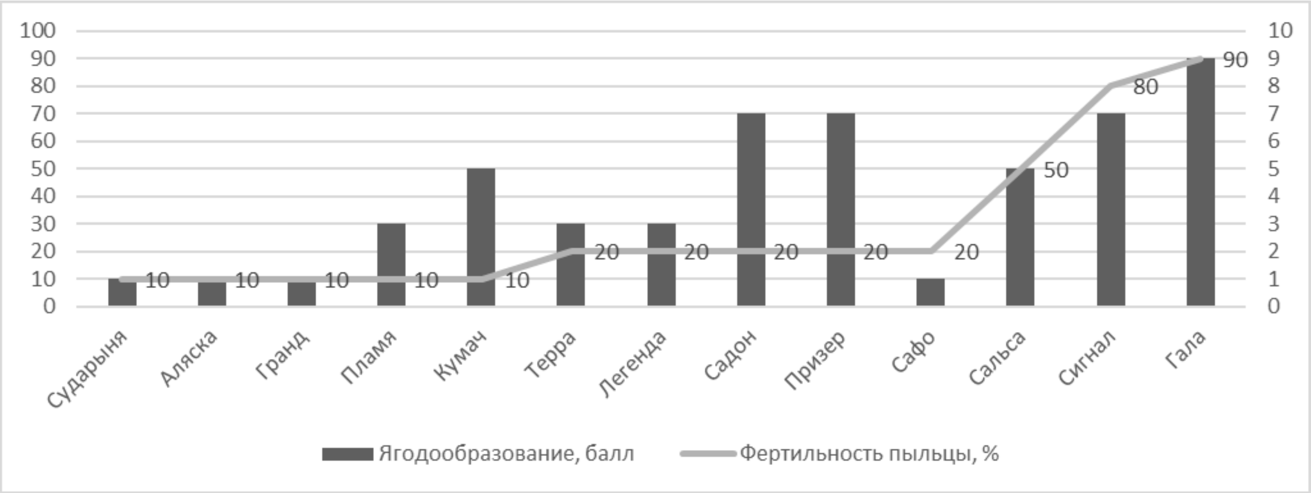
Результаты двухфакторного дисперсионного анализа сортов картофеля по признаку «урожайность» (2019–2021 гг.)

Results of a two-factor variance analysis of potato varieties by “yield” trait (2019-2021)

Источник варьирования	Сумма квадратов отклонения	Степени свободы	Средний квадрат	$F_{факт.}$	F_{05}	Сила влияния фактора, %
Общая	6016	116	52	-	-	100
Генотипы (А)	363	12	30	1,44	1,88	6
Годы (В)	2057	2	1028	49,05	3,96	34
Взаимодействие АхВ	1961	24	82	3,89	1,65	32
Случайные отклонения	1635	78	21	-	-	28

Подбор родительских пар в селекции картофеля является ключевой проблемой. Фертильность исходных родительских форм – основополагающий признак, определяющий успех гибридизации [16]. Однако потенциальные возможности выбора фертильных сортов весьма ограничены, так как большинство из них имеют стерильную пыльцу [17].

В результате изучения продуктивных сортов картофеля низкую фертильность пыльцы (10–20%) показали 77% образцов, в силу чего их затруднительно вовлечь в селекционный процесс (рисунок). Сорта Сальса, Сигнал и Гала имели фертильность от 50 до 90%, что позволяет использовать их в качестве опылителей в процессе гибридизации.



Ягодообразование и фертильность продуктивных сортов (среднее за 2019–2021 гг.)
Berry production and fertility of productive varieties (average for 2019-2021).

Успех скрещивания зависит не только от опылителя, но и от материнской формы. Для обеспечения высоких результатов завязывания ягод при гибридизации особенно эффективно использование сортов с высоким баллом естественного ягодообразования. Высокое ягодообразование (7–9 баллов) отмечено у четырех сортов: Садон, Призер, Сигнал и Гала – данные сорта рекомендуются для селекционного процесса в качестве материнских растений.

ВЫВОДЫ

1. В результате изучения коллекции сортов картофеля в условиях лесостепи Новосибирского Приобья были выделены 13 сортообразцов картофеля, обладающих повышенной продуктивностью клубней – от 38,0 т/га у сорта Сафо до 43,0 т/га у сорта Аляска.

2. В 2019 г. сорт-стандарт Гала имел наибольшую урожайность среди исследуемых сортов – 1653 г/куст. В 2020 г. все исследуемые сорта превысили стандарт, максимальная продуктивность отмечена у следующих сортов: Терра (1067 г/куст), Кумач (1076 г/куст) и Призер (1081 г/куст). В последний год исследования два сорта достоверно превысили сорт-стандарт: Терра (1280 г/куст) и Садон (1377 г/куст). В среднем за три года наибольшая продуктивность отмечена у сорта Аляска (1229 г/куст). Величина коэффициента вариации у сортов Терра, Легенда и Сальса составила от 5,5 до 6,8%, следовательно, данные сорта имели более стабильную урожайность.

3. По данным коэффициента адаптивности ($К_а$) выделено 6 сортов картофеля: Терра, Гала, Призер, Садон, Сальса и Аляска, которые отличались высокими продуктивными способностями и имели коэффициент адаптивности свыше 1. Наибольшее значение показателя адаптивности отмечено у сорта Аляска (1,07).

4. Количество товарных клубней варьировало от 9 шт/куст у сорта Терра до 19 шт/куст у сорта Гала. Средняя масса товарного клубня колебалась в значительных пределах: от 60 г у сорта Гала до 123 г у сорта Терра. В среднем за три года товарность варьировала от 87% у сорта Сударыня до 98% у сорта Гранд.

5. По результатам трехлетнего изучения в условиях Новосибирского Приобья с высокой продуктивностью выделились сорта Призер, Гранд, Гала, Садон, Сальса и Аляска, средняя урожайность которых превысила 40 т/га. Средняя товарная урожайность свыше 40 т/га отмечена у следующих сортов: Гала, Садон, Гранд, Сальса и Аляска.

6. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа, наибольшее влияние на варьирование признака «урожайность» оказал фактор «год» – 34%, кроме этого, значительное влияние оказывало взаимодействие факторов «генотип × год» – 32%. По метеорологическим условиям самым благоприятным был 2019 г., когда влагообеспеченность в целом за вегетацию была выше средней многолетней на 12%, а сумма положительных температур – на 293°С, что позволило сортам картофеля оптимально реализовать свой потенциал продуктивности. Наименьшее значение имел фактор «генотип», сила влияния которого составила всего 6%.

7. В условиях лесостепи Новосибирского Приобья для селекции на высокую продуктивность в качестве опылителей рекомендую-

ются сорта Сальса, Сигнал и Гала, имеющие фертильность от 50 до 90%.

8. Высокое естественное ягодообразование (7–9 баллов) отмечено у четырех сортов: Садон, Призер, Сигнал и Гала – данные сорта рекомендуются для селекционного процесса в качестве материнских растений.

Полевое изучение коллекционных образцов выполнено в рамках бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0008. Определение фертильности пыльцы образцов картофеля проведено при поддержке бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2019-0012

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Костина Л.И., Косарева О.С.* Коллекция селекционных сортов картофеля для селекции на продуктивность, скороспелость, устойчивость к фитофторозу, вирусным болезням и Globodera rostochiensis Woll // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – Т. 179, № 4. – С. 74–81.
2. *Генетическое* разнообразие мировой коллекции картофеля ВИР и ее использование в селекции / С.Д. Киру, Л.И. Костина, О.С. Косарева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015 – Т. 29, № 7. – С. 31–34. – EDN UCPKHP.
3. *Состояние* и актуальные проблемы картофелеводства в России / С.В. Жевора, Б.В. Анисимов, Е.А. Симаков [и др.] // Агроинновации. – 2019. – № 1(1). – С. 4–14.
4. *Дорожкин Б.Н.* Селекция картофеля в Западной Сибири: монография / РАСХН, Сиб. отд-ние. Сиб. НИИ сел. хоз-ва. – Омск, 2004. – 271 с.
5. *Чевычелова Н.В., Жаркова С.В.* Оценка сортов картофеля по признаку «урожайность» в условиях Юга Западной Сибири // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 5–2. – С. 79–81.
6. *Оценка* гибридов картофеля по динамике накопления урожайности и содержанию крахмала в клубнях в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона / Н.Ф. Синцова, И.В. Лыскова, Е.И. Кратюк, В.М. Архипов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – № 23 (4). – С. 423–432.
7. *Дергачева Н.В.* Источники основных хозяйственно-ценных признаков для селекции картофеля в Западной Сибири // Вестник АГАУ. – 2016. – №7 (141). – С. 21–25.
8. *Kaur R., Chaudhary B., Alamo W.* Associations among yield and yield contributing traits of potato (Solanum tuberosum) in north-western plains of India // Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2017. – Vol. 87 (10). – P. 1409–1411.
9. *Галеев Р.Р., Ковалев Е.А., Шульга М.С.* Урожайность и качество картофеля в зависимости от применения микроэлементов в северной лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 1 (58). – С. 27–35.
10. *Петухова Н.В., Шипицына О.В.* Оценка уровня развития картофелеводства Новосибирской области // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 23. – С. 11–15.
11. *Мингалев С.К., Тютенов Е.С.* Продуктивность сортов картофеля в острозасушливом году // Аграрный вестник Урала. – 2018. – № 3. – С. 43–45.
12. *Животков Л.А., Замотаева З.А., Секатуева Л.М.* Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.
13. *Moeller K.H.* Untersuchungen an Testkreuzunger zur Auswahl geeigneter Eltern und Kombina- . – 1965. – 177 s.
14. *Rield W.A.* The inheritance of tuber-set in *Solanum tuberosum* L. // Wuomming Agric. Exper. Sta. – 1948. – N 287. – 340 p.
15. *ГОСТ 7176-2017* Картофель продовольственный. Технические условия. – М: Стандартинформ, 2017. – 11 с.
16. *Ермишин А.П., Воронкова Е.А.* Новая парадигма выращивания и селекции картофеля // Наука и инновации. – 2020. – № 3 (205). – С. 59–63.

17. *Cytoplasmic* genetic diversity of potato varieties bred in Russia and FSU countries / T.A. Gavrilenko, N.S. Klimenko, N.V. Alpatieva [et al.] // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2019. – Vol. 23, N 6. – P. 123–134.

REFERENCES

1. Kostina L.I., Kosareva O.S., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2018, T. 179, No. 4, pp. 74–81. (In Russ.)
2. Kiru S.D., Kostina L.I., Kosareva O.S. [i dr.], *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2015, T. 29, No. 7, pp. 31–34, EDN UCPKHP. (In Russ.)
3. Zhevora S.V., Anisimov B.V., Simakov E.A. [i dr.], *Agro-innovacii*, 2019, No. 1(1), pp. 4–14.
4. Dorozhkin B.N., *Selekcija kartofelja v Zapadnoj Sibiri* (Potato breeding in Western Siberia), RASHN, Sib. otd-nie, NII sel. hoz-va, Omsk: 2004, 271 p.
5. Chevychelova N.V., Zharkova S.V. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, 2019, No. 5–2, pp. 79–81. (In Russ.)
6. Sincova N.F., Lyskova I.V., Kratjuk E.I., Arhipov V.M., *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No. 23 (4), pp. 423–432. (In Russ.)
7. Dergacheva N.V., *Vestnik AGAU*, 2016, No. 7 (141), pp. 21–25. (In Russ.)
8. Kaur R., Chaudhary B., Alam W., Associations among yield and yield contributing traits of potato (solanum tuberosum) in north-western plains of India, *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2017, Vol. 87 (10), pp. 1409–1411.
9. Galeev R.R., Kovalev E.A., Shul’ga M.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, pp. 27–35. (In Russ.)
10. Petuhova N.V., Shipicyna O.V., *Prioritetnye nauchnye napravlenija: ot teorii k praktike*, 2016, No. 23, pp. 11–15. (In Russ.)
11. Mingalev S.K., Tjutenov E.S., *Agrarnyy vestnik Urala*, 2018, No. 3, pp. 43–45. (In Russ.)
12. Zhivotkov L.A., Zamotaeva Z.A., Sekatueva L.M., *Selekcija i semenovodstvo*, 1994, No. 2, pp. 3–6. (In Russ.)
13. Moeller K.H., *Untersuchungen an Testkreuzunger zur Auswahl geeigneter Eltern und Kombina-* , Diss. Berlin, 1965, 177 p.
14. Rield W.A., The inheritance of tuber-set in *Solanum tuberosum* L., *Wuomming Agric. Exper. Sta*, 1948, No. 287, 340 p.
15. *GOST 7176-2017*, Kartofel’ prodovol’stvennyj, Tehnicheskie uslovija, Moscow: Standartinform, 2017, 11 p.
16. Ermishin A.P., Voronkova E.A., *Nauka i innovacii*, 2020, No. 3 (205), pp. 59–63. (In Russ.)
17. Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Alpatieva N.V. [et al.], Cytoplasmic genetic diversity of potato varieties bred in Russia and FSU countries, *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, Vol. 23, No. 6, pp. 123–134.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-30-39
УДК 632.4:634.711

ВРЕДОНОСНОСТЬ МАЛИННОЙ ПОБЕГОВОЙ ГАЛЛИЦЫ И ГАЛЛИЦЕВОГО ОЖОГА ДЛЯ РЕМОНТАНТНОЙ МАЛИНЫ

А.А. Беляев, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Е.Н. Каменева, аспирант

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

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

Ключевые слова: малина, галлицевый ожог, развитие болезни, вредоносность, рост, развитие, продуктивность.

Реферат. В многолетних исследованиях установлены уровни поражения малины ремонтантного типа плодоношения малинной побеговой галлицей *Resseliella theobaldi* (Barn.), сопряженного с микозом – галлицевым ожогом (midge blight): развитие болезни до 29–40% и глубокая некротизация внутренних тканей стебля (потеря товарной продуктивности), до 15–28% от общего количества побегов. Галлицевый ожог при средней и сильной степени поражения оказывает существенное вредоносное влияние на рост, развитие и продуктивность однолетних побегов ремонтантной малины – сокращает общее количество формируемых междоузлий на 10–15%, увеличивает количество вегетативных узлов на побеге на 13–32%, уменьшает длину продуктивного побега на 12–17 см, диаметр продуктивного побега у основания – на 14%, количество генеративных органов – в 1,4–5,2 раза, массу 1 плода – в 1,1–1,4 раза, продуктивность 1 побега – в 1,6–5,4 раза. Вредоносность галлицевого ожога на ремонтантном слабоустойчивом сорте малины Недосягаемая теоретически характеризуется уравнением регрессии связи уровня развития болезни (X) и степени снижения продуктивности побегов (Y): $Y = -0{,}6395 + 0{,}6267X + 0{,}0019X^2$, которое позволяет проводить интерполированные оценки при любых уровнях поражения насаждений.

INJURIOUSNESS OF THE RESSELIELLA THE OBALDI AND MIDGE BLIGHT FOR EVERBEARING RASPBERRY

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

E.N. Kameneva, Ph.D. Student

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

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

Keywords: raspberry, midge blight, disease progression, injuriousness, growth, development, productivity.

Abstract. The authors found that in long-term studies, the levels of damage to raspberries of the remontant type of fruiting by raspberry gall midge *Resseliella theobaldi* (Barn.), associated with mycosis - midge blight: the development of the disease ranges from 29 to 40%. Also, deep necrotization of the internal tissues of the stem (loss of commercial productivity) ranges from 15 to 28% of the total number of shoots. Therefore, gallic burn with an average and severe degree of damage significantly affects the growth, development, and productivity of annual shoots of remontant raspberries. In addition, gall midge burn reduces the total number of internodes formed by 10–15%, increases the number of vegetative nodes on the shoot by 13–32%, and reduces the length of the productive shoot by 12–17 cm. In addition, the diameter of the generative projection at the base is reduced by 14%, the number of generative organs is reduced by 1.4–5.2 times, the weight of 1 fruit is also reduced by 1.1–1.4 times, the productivity of 1 shoot also decreases by 1.6–5.4 times. The authors found that the severity of gall burn on a remontant weakly resistant raspberry variety can theoretically be calculated by a regression equation for the relationship between the level of disease development (X) and the degree of decrease in shoot productivity (Y): $Y = -0.6395 + 0.6267X + 0.0019X^2$, which allows interpolating estimates for any levels of damage to stands.

По валовому производству ягод малины Россия занимает лидирующее положение в мире. Современным направлением развития культуры малины в России и за рубежом является выращивание ремонтантных сортов [1–3]. Лучшие ремонтантные сорта достигают урожайности 10 т/га и более (3–6 кг/растение) в зарубежной Европе и в европейской части России [4]. С конца 90-х гг. XX в. ремонтантные сорта появились на юге

Западной Сибири, а в настоящее время возделываются также в Иркутской области [5, 6] и на Дальнем Востоке России [7]. В частности, в Новосибирской области достигнуты уровни продуктивности сорта Недосягаемая 2,4–3,4 кг/растение (6–13 т/га) [8, 9]. В Иркутской области ремонтантные сорта малины Недосягаемая, Геракл, Брянское диво обладают комплексом хозяйственно-ценных признаков, в том числе достаточной зимостойкостью, крупным размером плодов – от 5,7 до 6,1 г/плод и продуктивностью плодов от 1,9 до 2,6 кг/растение [10].

В оценке фитосанитарного состояния ремонтантных сортов малины существует мнение, что они имеют несколько меньше проблем, чем сорта обычного (двухлетнего) типа плодоношения. Это связано с особенностями технологии, так как при выращивании урожая на однолетних побегах и скашивании 2-летних побегов растения фенологически уклоняются от вредоносного взаимодействия, в частности, с малинным жуком, малинно-земляничным долгоносиком и меньше поражаются возбудителями септориоза, антракноза, пурпуровой пятнистости и мучнистой росы. Однако до сих пор недостаточно сведений по комплексной оценке фитосанитарной ситуации в посадках сортов ремонтантной малины в производственных условиях, а также в отношении некоторых вредных объектов, имеющих первостепенное значение на сортах малины обычного типа плодоношения.

Опасным вредителем культурной малины является малинная побеговая галлица – *Resseliella theobaldi* (Barn.), сопряженная в развитии с микозом – галлицевым ожогом (midge blight) [11], способная уничтожить от 20 до 80% продуктивных побегов у сортов обычного типа плодоношения. Известный ареал данного вредителя в настоящее время простирается от европейской части России по южным регионам Западной и Средней Сибири до восточного берега Енисея. Представляют интерес степень и специфика вредоносного влияния побеговой галлицы на ремонтантную малину в связи с такой особенностью данной культуры, как однолетний цикл функционирования наземной части растений.

Целью исследования явилось изучение закономерностей вредоносного влияния малинной побеговой галлицы в совокупности с галлицевым ожогом на растения малины ремонтантного типа плодоношения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в 2008–2016 гг. на участке сортоизучения малины лаборатории генофонда растений Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиала ФГБНУ ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, расположенном в подзоне дренированной лесостепи Приобья. Почва опытного участка – выщелоченный суглинистый чернозем.

Объектами исследования являлись насаждения сорта малины обычного типа плодоношения Арочная (стандарт, селекции Новосибирской зональной плодово-ягодной опытной станции им. И.В. Мичурина, районирован в Новосибирской области, высокоустойчивый к галлицевому ожогу) и ремонтантного сорта Недосягаемая (селекции ВСТИСП, г. Москва) двулетнего возраста на начало наблюдений; малинная побеговая галлица (*Resseliella theobaldi* (Barn.) и сопряженное заболевание галлицевый ожог (midge blight).

Погодные условия периодов вегетации (май–сентябрь) 2008, 2010, 2011, 2012 и 2016 гг. были жаркими или теплыми и сухими, средняя температура за период вегетации варьировала от 14,3 до 17,0°C (в среднем на 0,9°C выше среднемноголетней нормы), сумма осадков за вегетацию – 144–211 мм (54–81% от нормы). Периоды вегетации в 2009 и 2014 гг. были теплыми, достаточно увлажненным – средняя температура за период вегетации 14,4–14,9°C (близко к норме), сумма осадков в среднем 237 мм (90–91% от нормы). Период вегетации 2013 г. был холодным и переувлажненным – средняя температура за период вегетации 13,9°C (на 0,7°C ниже нормы), сумма осадков 406 мм (153% от нормы). Период вегетации 2015 г. был теплым, переувлажненным – средняя температура 15,6°C (на 1,0°C выше нормы), сумма осадков за вегетацию 343 мм (136% от нормы).

Каждый из сортов малины располагался на участке площадью 250 м^2. Учеты поражения галлицевым ожогом проводились на 5 пробных площадках (по 1 м погонной длины ряда) с применением известной визуальной шкалы для оценки интенсивности поражения стебля [12]:

0 баллов – здоровый стебель (развитие болезни 0%);

1 балл – пораженные участки (некротические пятна) гладкие, их размеры меньше половины длины окружности стебля (25%);

2 балла – пораженные участки гладкие, их размеры больше половины длины окружности стебля (50%);

3 балла – пораженные участки имеют деформации поверхности (вдавленности и каллусные валики), размеры участков больше половины длины окружности стебля (75%);

4 балла – пораженные участки имеют деформации поверхности и окольцовывают стебель (100%).

В соответствии с данной шкалой в насаждениях сорта Недосягаемая для изучения вредоносности галлицевого ожога во второй половине вегетации выбирали и маркировали бирками по 10 типичных продуктивных однолетних побегов разного уровня поражения (в выборке 50 побегов). Исследование проведено в двух сериях наблюдений по одинаковой методике. В конце вегетации побеги срезали и проводили измерения комплекса признаков, характеризующих рост, развитие, продуктивность побегов и патологический процесс. Для итоговой оценки вредоносности галлицевого ожога по различным параметрам данные, полученные в обеих сериях, были соединены в общую выборку (100 объектов). В статистической обработке данных использованы методы оценки достоверности различий между средними величинами с использованием критерия Стъюдента (t-тест) и регрессионного анализа [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поражение изучаемых сортов малины галлицевым ожогом (рис. 1) ежегодно оценивали по его итоговому уровню в конце вегетации (в сентябре).

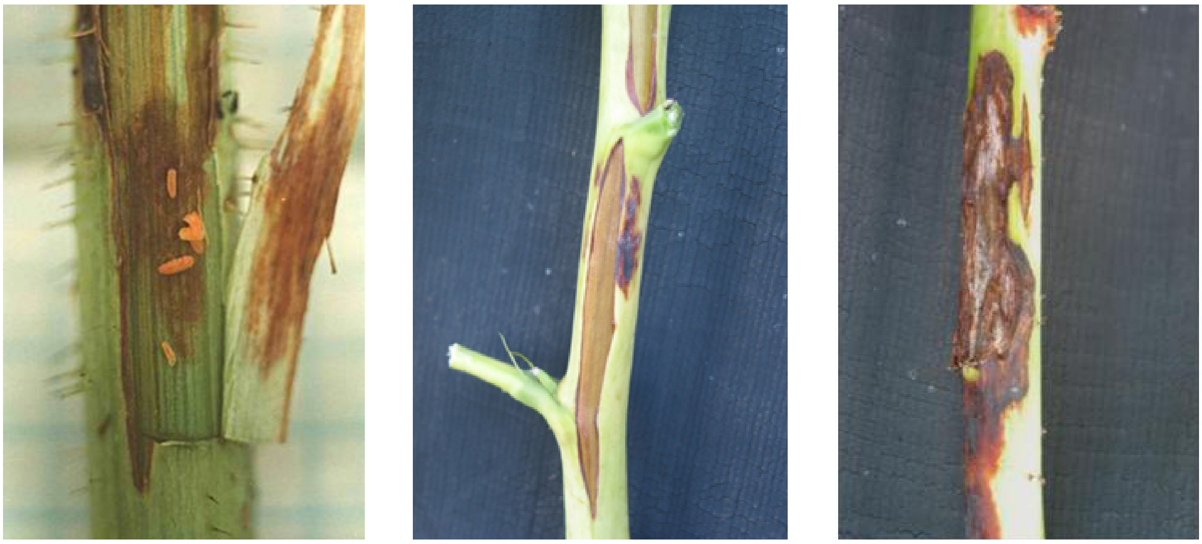


Рис. 1. Личинки малинной побеговой галлицы (слева) и симптомы галлицевого ожога в июне (в центре) и сентябре (справа)

Fig. 1. Larvae of raspberry cane midge (left) and symptoms of heat injury in June (center) in September (right)

Эпифитотийными в развитии галлицевого ожога явились 2009 и 2013 гг. с нормальным или избыточным количеством осадков, при этом развитие болезни на большинстве сортов малины обычного типа плодоношения превышало известный уровень экономического порога вредоносности (ЭПВ = 25% [14]) для галлицевого ожога. Относительно депрессивными для галлицевого ожога оказались 2010, 2012 и 2014 гг. с выраженным дефицитом влаги в июне, что сильно затормозило рост побегов, полностью исключило растрескивание коры однолетних стеблей и лишило экологической ниши наиболее вредоносное первое поколение малинной побеговой галлицы.

Многолетняя динамика развития галлицевого ожога на стандартном устойчивом сорте Арочная (рис. 2) характеризуется низким уровнем поражения и узкими пределами варьирования – от 1,7–10,0% в депрессивные годы до 11,0–16,5% в более благоприятные для заболевания. При этом наиболее тяжелая форма патологии (на уровне 3–4 баллов), вызываемая инфицированием и некротизацией фитопатогенными грибами внутренних тканей (древесины и сердцевины) стеблей, ежегодно развивалась лишь на небольшой части стеблей – на 0,0–8,0% (в среднем 3,5% за весь период наблюдений) от их общего количества. Эти результаты подтверждают высокий уровень устойчивости данного сорта к галлицевому ожогу.

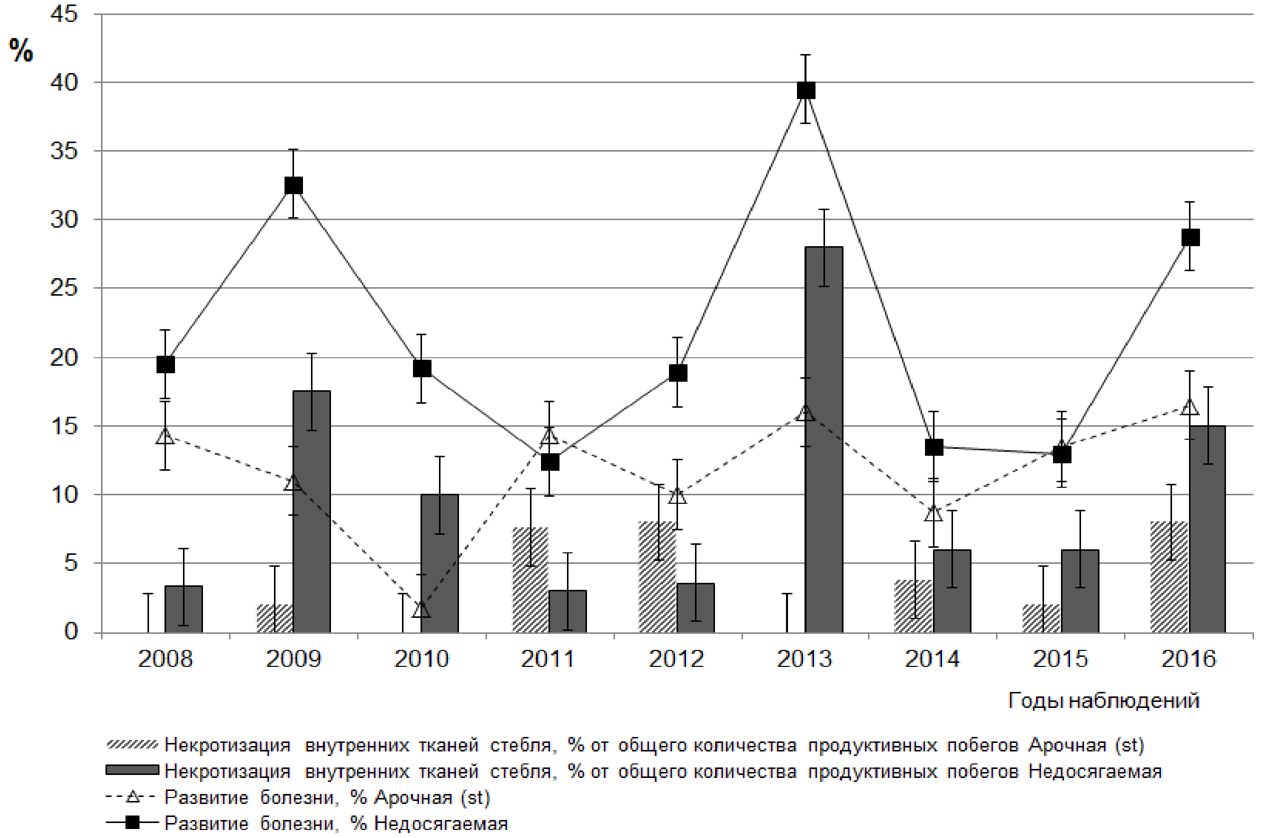


Рис. 2. Многолетняя динамика развития галлицевого ожога и вызываемой им некротизации внутренних тканей побегов на сортах малины ($X \pm S_x \cdot t_{05}$, 2008–2016 гг., учеты в конце вегетации)
Fig. 2. Multiyear dynamics of heat injury development and necrotization of shoot inner tissues caused by it on raspberry varieties ($X \pm Sx \cdot t_{05}$, 2008-2016, records at the end of vegetation)

На ремонтантном сорте Недосягаемая в эпифитотийные 2009 и 2013 гг. развитие галлицевого ожога превышало значение ЭПВ = 25% и достигало соответственно 32,6 и 39,5%. ЭПВ был превышен в условиях умеренного поражения в 2016 г. – развитие болезни составило 28,8%. В эти годы глубокая некротизация тканей стебля выявлена на 15,0–28,0% побегов.

В остальные 6 лет наблюдений развитие болезни на сорте Недосягаемая варьировало в пределах 12,4–19,5% (в среднем 16,1%), глубокое поражение охватывало от 3 до 10,0% (в среднем 5,2%) побегов. Полученные данные достоверно показывают, что ремонтантный сорт Недосягаемая обладает большей восприимчивостью к побеговой галлице и галлицевому ожогу, чем стандартный сорт обычного типа плодоношения Арочная.

Наблюдения за вредоносным влиянием галлицевого ожога показали, что площадь некротического участка на поверхности стебля при развитии поражения от 25 до 100% увеличивалась в 1,2–2,4 раза (табл. 1) – от 11,6 до 27,3 см^2. При уровне развития болезни 25% все внешние границы некротического участка можно было рассмотреть одновременно с одной стороны стебля. При развитии поражения на уровне 50% и выше площадь некроза возрастала, и рассмотреть его границы можно было, лишь поворачивая стебель с разных сторон. Наибольшее увеличение площади внешнего некроза наблюдалось при повышении развития болезни до 75–100%, при этом на пораженном участке наблюдались симптомы деформации поверхности в виде вдавленностей и каллусных валиков как следствие ответной реакции окружающих живых тканей стебля на некротизацию.

Таблица 1

Параметры патогенеза галлицевого ожога на побегах ремонтантной малины ($X \pm S_x \cdot t_{05}$)
Parameters of the pathogenesis of heat injury on shoots of remontant raspberry ($X \pm S_x \cdot t_{05}$)

Показатель	Развитие болезни, %				
	0 (контроль)	25	50	75	100
Площадь некротического участка на поверхности стебля, см^2	0,0	11,6±2,9*	13,8±2,3*	18,1±2,7*	27,3±5,5*
Степень внутренней некрозации стебля, % от площади поперечного сечения стебля	0,0	0,0	2,5±5,2	42,0±6,5*	63,0±12,6*

* Различия с контролем статистически достоверны (Р<0,05).

Некротические процессы при развитии галлицевого ожога на уровне от 0 до 25% происходили в слое эпидермиса, колленхимы и паренхимы первичной коры. При усилении поражения до 50% начиналось проникновение некротического участка в слои перидермы, флоэмы и камбия, однако некроз в среднем охватывал не более 2,5% от общей площади поперечного сечения стебля в месте наибольшего проявления внешнего пятна. Углубление поражения до слоев ксилемы и сердцевинной паренхимы происходило при достижении развитием болезни 75%-го уровня – 42,0% площади сечения стебля было перекрыто некрозом, при 100%-м уровне развития – 63,0%, что в результате приводило к нарушению обеспеченности побегов водой, минеральным питанием, а также снижало их механическую прочность.

Однолетние побеги ремонтантной малины сорта Недосягаемая ежегодно начинали отрастание в конце третьей декады апреля – начале первой декады мая. Линейный рост развитых продуктивных побегов заканчивался в третьей декаде июня, когда на латеральных побегах из верхних узлов появлялись первые бутоны. Генеративная реализация почек на побеге происходила в базальном направлении. Формирование бутонов, цветение, рост завязей, налив и созревание плодов происходили до конца сентября – первой декады октября, до начала ночных заморозков в воздухе. После этого на нижней части побега оставалось в среднем 9,6 вегетативных узла (табл. 2).

Таблица 2

Влияние уровня развития галлицевого ожога на ростовые признаки побегов ремонтантной малины ($X \pm S_x \cdot t_{05}$)
Influence of heat injury development level on growth traits of remontant raspberry shoots ($X \pm S_x$-t_{05})

Показатель	Развитие болезни, %				
	0	25	50	75	100
Общее количество междоузлий (узлов) на 1 продуктивном побеге, междоузлий/побег	27,4±1,3	27,5±1,7	25,7±1,7	24,7±0,9*	23,2±1,8*
Количество вегетативных узлов на 1 побеге, узлов/побег	9,6±0,5	10,5±0,9	10,8±0,7*	11,1±0,9*	12,7±1,9*
Длина продуктивного побега, см	133,0±6,0	132,6±6,4	126,8±6,9	121,0±5,5*	116,4±6,6*
Диаметр продуктивного побега у основания, мм	10,4±0,3	10,4±0,5	9,9±0,5	9,9±0,5	8,9±0,7*

Здоровые, вегетативно не разветвленные побеги ежегодно формировали в среднем по 27,4 междоузлия (узла). Развитие галлицевого ожога до уровня 25% практически не оказывало влияния на рост общего количества междоузлий. При 50%-м уровне развития болезни становилась заметной тенденция к снижению их количества на 1,7 междоузлия/побег. Усиление поражения до 75–100% приводило к статистически достоверному сокращению общего количества междоузлий (узлов) – на 2,7–4,2 междоузлия/побег (на 9,9–15,3%) относительно контрольных побегов, что отражает общее снижение биотического потенциала больных побегов в возможности формирования ими как количества листьев, так и генеративных органов.

Одновременно под влиянием поражения болезнью происходило увеличение количества вегетативных узлов на побеге, не сформировавших генеративные органы в текущем году, что также являлось следствием ослабления данных побегов. Развитие болезни на уровне 25% вызывало тенденцию к увеличению количества вегетативных узлов на 9,4% (на 0,9 узлов/побег). Усиление уровня развития болезни до 50–100% приводило к достоверному (P<0,05) увеличению количества вегетативных узлов – на 1,2–3,1 узла/побег (на 12,5–31,8%) в сравнении со здоровыми растениями.

Длина здоровых побегов замещения составляла в среднем 133,0 см. Уровень развития болезни 25–50% практически не влиял на рост побегов в длину. Лишь по достижении 75–100%-го уровня развития галлицевого ожога побеги достоверно укорачивались на 12,0–16,6 см в сравнении с контрольными.

Еще менее было выражено вредоносное влияние заболевания на рост однолетних побегов в толщину – при развитии болезни на уровне 50–75% наблюдалась недоказанная тенденция к уменьшению диаметра стебля на 0,5 мм (на 4,4%) относительно контроля. Достоверное уменьшение диаметра побегов у их основания выявлено только при достижении максимального уровня развития галлицевого ожога – на 1,5 мм (на 14,2%).

Здоровые побеги ежегодно формировали в среднем по 17,8 генеративных узла, из которых с третьей декады июня до окончания вегетации отрастали плодовые веточки (латералы), несущие бутоны, цветки, завязи и плоды. При повышении уровня развития галлицевого ожога до 25% существенного влияния на формирование количества генеративных узлов не отмечено (табл. 3).

Таблица 3

Влияние уровня развития галлицевого ожога на продуктивность побегов ремонтантной малины
Influence of heat injury development level on the capacity of remontant raspberry shoots

Показатель	Развитие болезни, %				
	0	25	50	75	100
Количество генеративных узлов на 1 побеге, узлов/побег	17,8±1,6	17,0±1,4	14,9±1,1*	13,6±1,0*	10,5±2,0*
Количество генеративных органов на 1 продуктивном побеге, органов/побег	101,5±10,8	96,5±7,3	73,1±10,7*	53,2±6,5*	19,5±6,9*
Количество плодов на 1 продуктивном побеге, плодов/побег	58,6±7,4	53,7±6,4	39,1±5,2*	34,8±4,0*	15,2±5,4*
Масса 1 плода, г/плод	5,2±0,1	5,1±0,1	4,7±0,1*	4,0±0,1*	3,6±0,1*
Продуктивность плодов 1 побега, г/побег	304,4±27,7	272,2±27,1	184,9±26,0*	138,8±17,1*	55,9±20,3*
Снижение продуктивности (недобор урожая), % к уровню здоровых побегов	0,0±0,0	10,5±11,4	39,4±8,2*	54,6±5,4*	81,7±6,7*

Повышение уровня развития болезни до 50–100% вызывало достоверное (P<0,05) сокращение количества генеративных узлов на 2,9–7,3 узла/побег и являлось одним из важных факторов сокращения продуктивности побегов.

Общее количество генеративных органов (бутонов, цветков, завязей и плодов, сформированных за период вегетации) на здоровых продуктивных побегах составляло в среднем,101,5 органа/побег. При повышении уровня развития болезни до 25% наблюдалась статистически недоказанная тенденция к снижению количества органов на 4,9% относительно контроля. Дальнейшее усиление поражения до 50–100% приводило к достоверному сокращению генеративного потенциала побегов – на 28,4–82,0 органа/побег. При 50%-м уровне развития галлицевого ожога генеративный потенциал побегов сокращался в 1,4 раза, при 75%-м – в 1,9, при 100%-м – в 5,2 раза.

Количество созревших плодов на 1 здоровом побеге составляло 58,6 плода/побег и под влиянием слабого поражения (развитие болезни 25%) галлицевым ожогом статистически недостоверно снижалось – в среднем на 4,9 плода/побег. При дальнейшем усилении развития болезни количество плодов статистически достоверно (P<0,05) сокращалось – на 19,5–43,4 плода/побег, соответственно на 33,3% при 50%-м уровне развития болезни, на 40,6% при 75%-м и на 74,1% при 100%-м.

Масса 1 плода на здоровых побегах составляла в среднем 5,2 г. При слабом развитии болезни (до уровня 25%) масса плодов практически не изменялась. Усиление поражения снижало биомассу 1 плода на 0,5–1,6 г, при развитии болезни на уровне 50% – в 1,1 раза, 75% – в 1,3, 100% – в 1,4 раза относительно плодов, собранных со здоровых побегов.

В целом продуктивность отдельного однолетнего побега замещения по биомассе собранных плодов составляла ежегодно в среднем 304,4 г/побег. При слабом развитии галлицевого ожога снижение продуктивности на 32,2 г/плод статистически (P<0,05) не подтверждено. При усилении поражения вредоносность достоверно доказана. При 50%- м уровне развития болезни продуктивность побегов снижалась в 1,6 раза, 75%-м – в 2,2, 100%-м – в 5,4 раза в сравнении со здоровыми побегами.

Снижение продуктивности побегов в процентном отношении к среднему уровню контрольных побегов позволяет оценить недоборы урожая вследствие влияния уровней поражения галлицевым ожогом. Продуктивность побегов при слабом уровне развития болезни (25%) снижалась на 10,5%, однако данная тенденция статистически не подтверждена. При усилении поражения снижение продуктивности побега (недобор урожая) составляло при 50%-м уровне развития болезни 39,4%. При поражении на уровне 75% продуктивность снижалась на 54,6%, при поражении на 100% – на 81,7%, что приводило с учетом, в частности, снижения массы 1 плода к почти полной неспособности данных побегов сформировать плоды товарного вида и качества.

Парный корреляционный анализ связи уровня развития галлицевого ожога и степени снижения продуктивности побегов (недобора урожая) выявил сильную, статистически достоверную прямую зависимость: r = 0,91±0,05 ($t_ф$ = 19,9 > t_{05} = 2,0; n=100).

Регрессионный анализ связи уровня развития галлицевого ожога (X) и степени снижения продуктивности побегов (Y) позволил сформулировать уравнение регрессии второй степени: Y = -0,6395 + 0,6267X + 0,0019X^2 (рис. 3).

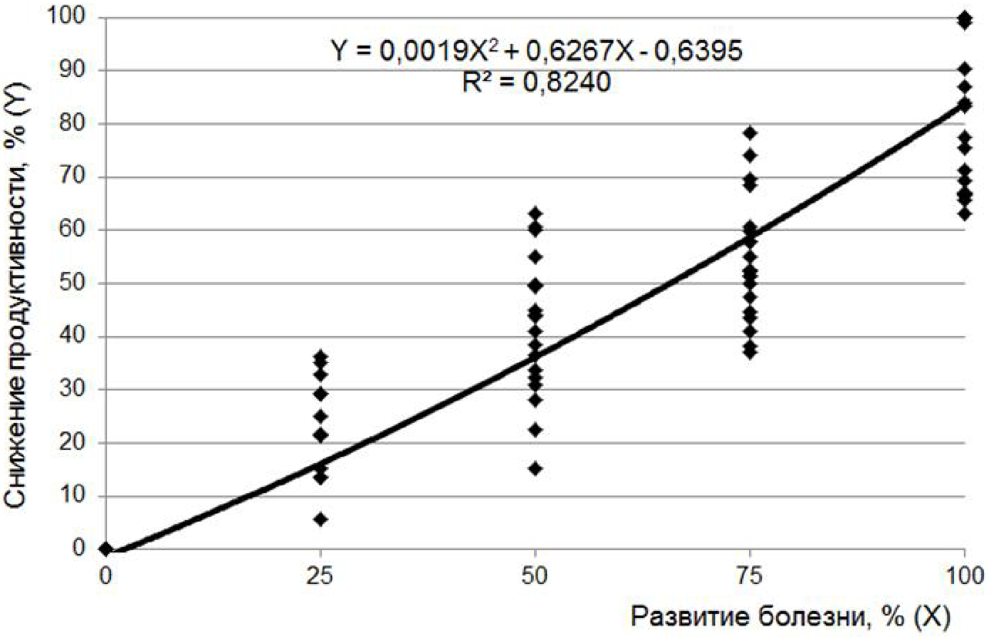


Рис. 3. Зависимость снижения продуктивности побегов (Y) от уровня развития галлицевого ожога ремонтантной малины (X) (обобщенно по данным двух серий наблюдений)

Fig. 3. Dependence of shoots capacity decrease (Y) on the level of heat injury development in remontant raspberry (X) (summarized from two series of observations)

Регрессия является статистически достоверно доказанной ($F_ф = 227{,}1 > F_{05} = 3{,}1$). С помощью данного уравнения можно проводить интерполированные оценки снижения продуктивности (недоборов урожая) при любых уровнях развития галлицевого ожога, выявленных в обследованиях насаждений ремонтантной малины, в частности, слабоустойчивого сорта Недосягаемая.

В целом вредоносность галлицевого ожога для ремонтантной малины весьма велика, однако при среднем и высоком уровне поражения немного уступает вредоносности данного заболевания, формирующейся на малине обычного типа плодоношения, исследования на которой были проведены нами ранее [15] (табл. 4).

Таблица 4

Оценка степени снижения продуктивности (%) побегов малины обычного и ремонтантного типа плодоношения от уровня развития на них галлицевого ожога

Evaluation of the degree of capacity reduction (%) of raspberry shoots of usual and remontant types of fruiting from the level of heat injury development on them

Тип плодоношения	Уровень развития галлицевого ожога, %				
	0	25	50	75	100
Обычный (сорт Барнаульская) [15]	0	10,7±0,5	43,5±2,2	80,0±4,0	100±5,0
Ремонтантный (сорт Недосягаемая)	0	10,5±11,4	39,4±8,2	54,6±5,4	81,7±6,7

По-видимому, это обусловлено вредоносным влиянием галлицевого ожога, проявляющимся на обычной малине в период зимовки (в виде механического сламывания, полного или частичного вымерзания, подопревания, иссушения) и на второй год жизни продуктивных побегов, т. е. действием ряда дополнительных факторов, отсутствующих при выращивании малины ремонтантного типа, плодоносящей на однолетних побегах.

В связи с близкими уровнями вредоносности, полученными в данном исследовании на ремонтантной малине при слабом поражении болезнью (в интервале 0–25%) и известными данными по вредоносности галлицевого ожога на малине обычного типа плодоношения [15], представляется целесообразным также и для ремонтантного сорта Недосягаемая (и, возможно, других ремонтантных сортов) использовать в качестве значения порога вредоносности известный уровень развития галлицевого ожога, равный 15%.

ВЫВОДЫ

1. Малинная побеговая галлица *Resseliella theobaldi* (Barn.) в комплексе с микозом – галлицевым ожогом (midge blight) являются вредоносными объектами для ремонтантной малины, способными на сорте Недосягаемая вызывать развитие болезни на уровне 29–40% и глубокую некротизацию внутренних тканей стебля на 15–28% от общего количества побегов, которые в результате практически теряют товарную продуктивность.

2. Галлицевый ожог оказывает существенное вредоносное влияние на рост, развитие и продуктивность ремонтантной малины – при среднем и сильном поражении сокращает общее количество формируемых междоузлий на 10–15%, количество генеративных органов – в 1,4–5,2 раза, массу 1 плода – в 1,1–1,4, продуктивность 1 побега – в 1,6–5,4 раза.

3. Вредоносность галлицевого ожога на ремонтантном сорте малины Недосягаемая теоретически характеризуется уравнением регрессии связи уровня развития болезни (X) и степени снижения продуктивности побегов (Y): $Y = -0{,}6395 + 0{,}6267X + 0{,}0019X^2$, которое позволяет проводить интерполированные оценки при любых уровнях поражения насаждений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Евдокименко С.Н., Кулагина В.Л., Якуб И.А.* Современные тенденции производства и селекции малины // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 31, № 1. – С. 148–156.
2. *Eyduran S.P., Eyduran E., AgaogluY.S.* Estimation of fruit weight by cane traits for various raspberries *Rubus ideaus* L. cultivars // Afr. J. Biotechnol. – 2008. – Vol. 7(17). – P. 3044–3052.

3. *Generative* and food quality characteristics of primocane fruiting red raspberry cultivars / J.M. Milivojevic, M.D. Nicolic, J.J. Dragastic Maksimovic, D.D. Radivojevic // Turk. J. Agric. For. – 2011. – Vol. 35. – P. 289–296.
4. *Евдокименко С.Н., Алексеенко И.В.* Биологический потенциал ремонтантной малины в селекции на продуктивность // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – Т. 148. – С. 170–179.
5. *Особенности* роста и плодоношения ремонтантных сортов малины в условиях юга Иркутской области / Н.Э. Мартынова, М.А. Раченко, Е.И. Раченко, И.А. Граскова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2013. – № 6. – С. 22–26.
6. *Пущина М.Ю., Раченко М.А., Полномочнов А.В.* Создание конвейера свежих ягод малины в условиях юга Предбайкалья // Вестник ИрГСХА. – 2018. – № 84. – С. 31–39.
7. *Литвинова Г.Я.* Ремонтантная малина в условиях Сахалинской области // Инновационные научные достижения в АПК Дальневосточного региона: теория и практика: сб. науч. ст. по материалам регион. науч.-практ. конф. / ФГБНУ СахНИИСХ. – 2018. – С. 33–39.
8. *Каталог* сортов плодовых и ягодных культур / сост.: А.А. Кузьмина, А.М. Белых, Г.И. Бакланова; СибНИИРС – филиал ФГБНУ ФИЦ ИЦиГ СО РАН. – Новосибирск, 2015. – 212 с.
9. *Панина Е.Н., Лутов В.И., Беляев А.А.* Испытание действия регуляторов роста на ремонтантной малине // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (40). – С. 36–42.
10. *Сагирова Р.А., Пущина М.Ю., Раченко М.А.* Ремонтантная малина в Предбайкалье: монография. – Иркутск: ИрГАУ, 2016. – 88 с.
11. *Беляев А.А.* Этиология микозов стеблей малины // Микология и фитопатология. – 2004. – Т. 38, вып. 6. – С. 90–94.
12. *Белых А.М., Бакланова Г.И., Беляев А.А.* Малина красная в лесостепи Приобья: монография / РАСХН. Сиб. отд-ние. НЗПЯОС им. И.В. Мичурина. – Новосибирск, 2004. – 128 с.
13. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. – М., 2013. – 349 с.
14. *Беляев А.А.* Защита малины от малинной побеговой галлицы и стеблевых микозов: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук. – Новосибирск, 2010. – 38 с.
15. *Беляев А.А.* Отмирание побегов малины и разработка мер защиты от него в новой технологии возделывания культуры в Сибири: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Новосибирск, 1992. – 17 с.

REFERENCES

1. Evdokimenko S.N., Kulagina V.L., Yakub I.A., *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2012, Vol. 31, No. 1, pp. 148–156. (In Russ.)
2. Eyduran S.P., Eyduran E., AgaogluY.S., Estimation of fruit weight by cane traits for various raspberries Rubus ideaus L. cultivars, *Afr. J. Biotechnol*., 2008, Vol. 7(17), pp. 3044–3052.
3. Milivojevic J.M., Nicolic M.D., Dragastic Maksimovic J.J., Radivojevic D.D., Generative and food quality characteristics of primocane fruiting red raspberry cultivars, *Turk. J. Agric. For*., 2011, Vol. 35, pp. 289–296.
4. Evdokimenko S.N., Alekseenko I.V., *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2019, Vol. 148, pp. 170–179. (In Russ.)
5. Martynova, N.E., Rachenko M.A., Rachenko E.I., Graskova I.A., *Aktual’nye voprosy agrarnoi nauki*, 2013, No. 6, pp. 22–26. (In Russ.)
6. Pushchina M.Yu., Rachenko M.A., Polnomochnov A.V., *Vestnik IrGSKhA*, 2018, No. 84, pp. 31–39. (In Russ.)
7. Litvinova G.Ya., *Innovatsionnye nauchnye dostizheniya v APK Dal’nevostochnogo regiona: teoriya i praktika* (Innovative Achievements in the Agroindustrial Complex of the Far East Region: Theory and Practice), Proceedings of the Conference Title, FGBNU SakhNIISKh, 2018, pp. 33–39. (In Russ.)

8. Kuz'mina A.A., Belykh A.M., Baklanova G.I., *Katalog sortov plodovykh i yagodnykh kul'tur* (Catalog of varieties of fruit and berry crops), SibNIIRS – Filial FGBNU FITs ITsiG SO RAN, Novosibirsk, 2015, 212 p.
9. Panina E.N., Lutov V.I., Belyaev A.A., *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 3 (40), pp. 36–42. (In Russ.)
10. Sagirova R.A., Pushchina M.Yu., Rachenko M.A., *Remontantnaya malina v Predbaikal'e* (Remontant raspberry in Cisbaikalia), Irkutsk: IrGAU, 2016, 88 p.
11. Belyaev A.A., , 2004, Vol. 38, No. 6, pp. 90–94.
12. Belykh A.M., Baklanova G.I., Belyaev A.A., *Malina krasnaya v lesostepi Priob'ya* (Red raspberry in the forest-steppe of the Ob), RASKhN. Sib. otd-nie. NZPYaOS im. I.V. Michurina, Novosibirsk, 2004, 128 p.
13. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii* (Field experience methodology: with the basics of statistical processing of research results), Moscow, 2013, 349 p.
14. Belyaev A.A., *Zashchita maliny ot malinnoi pobegovoi gallitsy i steblevykh mikozov* (Protecting raspberries from raspberry gall midge and stem mycose), Extended abstract of candidate's thesis, Novosibirsk, 2010, 38 p.
15. Belyaev A.A., *Otmiranie pobegov maliny i razrabotka mer zashchity ot nego v novoi tekhnologii vozdelyvaniya kul'tury v Sibiri* (The death of raspberry shoots and the development of measures to protect against it in the new technology of cultivation in Siberia), Extended abstract of Doctor's thesis, Novosibirsk, 1992, 17 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-40-49
УДК 633.31/.37:631.878

РЕАКЦИЯ ПОСЕВОВ СОИ И ГОРОХА НА ГУМИНОВЫЙ АНТИСТРЕССАНТ К ГЕРБИЦИДАМ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

[1]**Т.В. Гаврилец**, кандидат биологических наук, доцент
[1]**Л.Н. Коробова**, доктор биологических наук, профессор
[2]**Ю.В. Чудинова**, доктор биологических наук, профессор
[1]**Л.П. Галеева,** доктор сельскохозяйственных наук, доцент

[1]*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*
[2]*Томский сельскохозяйственный институт – филиал ФГБОУ ВО НГАУ, Томск, Россия*

E-mail: gavrilez_t_08@mail.ru

Ключевые слова: гуминовый препарат, антистрессант к гербицидам, соя, горох, урожайность, структура урожайности, содержание протеина.

Реферат. Показано, что стрессовыми факторами для развития раннеспелых сортов сои и районированных сортов гороха посевного в лесостепи Приобья служат противозлаковые гербицидные обработки (действующее вещество – клоквинтосет-мексил, феноксапроп-П-этил), весенне-летняя и летняя засухи. Они ограничивают реализацию биологического потенциала урожайности сои, снижают крупность зерна гороха и содержание в нем протеина. Использование совместно с гербицидом гуминового препарата из леонардита Цитогумата в норме 0,4 л/га снимает физиологический стресс растений сои, обеспечивая быстрый прирост биомассы и прибавку урожайности зерна 4,2–5,5 ц/га, или 19%. Гуминовый препарат в отдельный год может увеличить продолжительность вегетации сои на 3–4 дня и высоту прикрепления нижних бобов на 24%. Проанализирована стрессоустойчивость к противозлаковому гербициду 5 сортов гороха посевного. Установлено, что сорта Алтайский усатый и Новосибирец среднеустойчивы, Ямал и Астронавт – чувствительны к гербициду. Применение Цитогумата на чувствительных сортах давало прирост зеленой массы на 30,1 и 24,0%, повышало урожайность зерна на 10,5–12,0%, массу 1000 зерен на 7,1–7,4% и увеличивало содержание протеина. У среднеустойчивых сортов реакция на Цитогумат была выражена меньше и сопровождалась повышением урожайности на 8–10%, крупности зерна – на 5–5,4 и возрастанием его белковости на 1,9%. Сорт гороха Ямальский в Приобье показал себя толерантным к стрессу, и использовать Цитогумат на нем нецелесообразно.

THE REACTION OF SOYBEAN AND PEA CROPS TO A HUMIC ANTISTRESS AGENT TO HERBICIDES IN THE FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

[1]**T.V. Gavrilets,** Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
[1]**L.N. Korobova,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[2]**Iu.V. Chudinova,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[1]**L.P. Galeeva,** Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
[1]*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*
[2]*Tomsk Agricultural Institute - a branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Novosibirsk State Agrarian University.*

E-mail: gavrilez_t_08@mail.ru

Keywords: product of humic, anti-stress to herbicides, soybean, peas, yield, yield structure, a total of protein.

Abstract. In the article, the authors presented those enticing actual herbicidal treatments (the active ingredient is cloquintocet-mexyl, fenoxaprop-P-ethyl), spring-summer and summer droughts, are stress factors for the development of early-ripening soybean varieties and zoned pea varieties in the forest-steppe of the Priobye region. They limit the realization of the biological yield potential of soybeans and reduce the coarseness of pea grains and their total protein. Use with the herbicide of humic preparation from leonardite Cytogumat at a rate of 0.4 l/ha relieves physiological stress on soybean plants, providing a rapid increase in biomass and grain yield of 4.2-5.5 c/ha, or 19%. Furthermore, the humic product in a single year can increase the duration of soybean vegetation by 3-4 days and the height of lower bean attachment by 24%. The authors analyze the stress resistance to the anti-cereal herbicide of 5 varieties of peas. They also found that the varieties Altaysky Usatiy and Novosibirets medium-resistant, Yamal, and Astronaut are sensitive to the herbicide. The application of Cytogumat in susceptible varieties increased green mass by 30.1% and 24.0%, grain yield by 10.5-12.0%, weight of 1000 grains by 7.1-7.4%, and total protein. In moderately resistant varieties, the reaction to Cytogumat was less pronounced and was accompanied by an increase in yield by 8–10%, grain size by 5–5.4%, and protein content by 1.9%. The Yamalsky pea variety in the Ob River region proved to be tolerant to stress, and it is inexpedient to use Cytogumat on it.

В последнее время повышенное внимание привлекает такая важная проблема, как обеспеченность населения белковыми продуктами. Дефицит растительного белка в питании людей и кормлении животных можно восполнить за счет расширения производства и применения зернобобовых культур. В Сибири важнейшим белковым продуктом всегда являлся горох. Сегодня Сибирский федеральный округ относится к лидерам России по площадям посевов гороха. В Новосибирской области они составляют более 70 тыс. га, в Омской – более 84 тыс. га [1].

К востребованным и маржинальным культурам, способным произрастать в Приобье, можно отнести и сою. Агроклиматический потенциал Приобья со средней влагообеспеченностью 400–450 мм осадков в год, темно-серыми и черноземными почвами делает возможным расширение здесь посевов сои. Условием этого является подбор и применение раннеспелых районированных сортов, а также средств защиты растений, не продляющих вегетацию, и средств, повышающих стрессоустойчивость культуры. С предложениями по разработке и реализации такой программы в Сибири перед региональным руководством выступил Российский Соевый Союз (ros-soya.su›img/predvnso.pdf), обосновывающий среднюю урожайность сои в Приобье до 25 ц/га.

Одним из факторов эффективного производства сои и гороха является ограничение в их посевах развития сорной растительности. Есть данные, что сорняки могут снижать урожайность бобовых на 35–83% [2–4]. Предпосылкой этого служат широкие междурядья сои и замедленный рост растений сои и гороха в начале вегетации. Для защиты культур в технологиях выращивания предусмотрено обязательное использование гербицидов. При этом они не обладают 100 %-й избирательностью в действии на растения и могут вызвать стресс самой защищаемой культуры [5–8].

Среди антистрессантов заслуженным вниманием пользуются гуминовые препараты, полученные из бурого угля и торфа. Они характеризуются широким спектром физиологической активности и являются высокоэффективным антидотом, повышая устойчивость растений к токсическому воздействию гербицидов [9–11]. Есть данные, что применение таких препаратов в Сибири позволяет регулировать рост и развитие зерновых культур и картофеля, увеличивать их устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды и в итоге получать повышенные и качественные урожаи [12–13].

Цель данной работы – оценить эффективность гуминового препарата Цитогумата на культурах сои и гороха в лесостепи Приобья при применении в качестве антистрессанта к гербицидам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования стали гуминовый препарат Цитогумат, производимый в г. Новосибирске ООО НПК «Агрофармика», соя (*Glycine max* (L.) Merrill) сортов Золотистая и СибНИИК-315 и горох посевной *(Pisum sativum* L.*)* сортов Ямал, Ямальский, Алтайский усатый, Новосибирец, Астронавт.

Цитогумат – это органоминеральный комплекс, произведенный из бурого угля леонардита. В его состав входит водный раствор натриевых и калиевых гуминовых кислот, содержащий до 1% фульвовой кислоты, микроэлементы, азот, фосфор, витамины и растворимые соли кремневой кислоты.

Соя Золотистая и СибНИИК-315 относятся в Западной Сибири к группе скороспелых сортов [14]. Золотистая характеризуется высотой прикрепления нижнего боба на уровне 10,7 см, средним содержанием в семенах белка 30,0%, жира – 23,9%. Соя сорта СибНИИК-315 имеет высоту прикрепления нижнего боба 11–13 см, содержание белка в семенах 35–40% и жира 17–20 %.

Сорта гороха посевного Ямал, Ямальский и Алтайский усатый представляют усатую форму среднеспелых сортов продовольственного использования. Период их созревания составляет 70–80 дней (у Алтайского усатого 76–104 дня). Сорт Новосибирец также имеет средний срок вегетации, но основное направление его использования – кормовое. Сорт гороха посевного Астронавт – раннеспелый с периодом вегетации 64–76 дней, зернового направления. Все сорта районированы в Западно-Сибирском регионе.

Полевые опыты с бобовыми культурами закладывались в 2020 и 2021 гг. в левобережной части Приобского плато в УОХ «Практик» НГАУ, на опытном поле агрономического факультета (окрестности с. Тулинское). Почва участка – чернозем выщелоченный среднемощный, среднесуглинистый, среднегумусный с нейтральной реакцией среды. Агротехника в опытах классическая для зоны: зяблевая вспашка на глубину 20–22 см, боронование весной и предпосевная культивация.

Горох высевали после ярового рапса. Срок посева – 15 мая. Норма высева – 1,2 млн семян на 1 га, глубина заделки – 4 см. Посев проводился селекционной сеялкой СС-11. Сою в 2020 г. высевали по такому же предшественнику и в тот же срок с нормой 0,6 млн семян на 1 га (сорт Золотистая). Площадь под каждым сортом обеих культур в опытах составляла по 600 м^2 (6 х 100 м).

Через 4 недели посевы гороха были обработаны гербицидом Тайгером 100, КЭ с нормой применения 0,4 л/га. Это противозлаковый гербицид с действующими веществами клоквинтосет-мексил, феноксапроп-П-этил. На сое был применен гербицид Фуроре Ультра, ЭМВ (феноксапроп-П-этил), 0,5 л/га. Во время химпрополки площадь, занятую каждым сортом, делили на 2 части. Одну обрабатывали гербицидом (контроль), вторую часть – смесью гербицида с антистрессантом Цитогуматом нормой 0,4 л/га (опытный вариант). В каждом варианте было по 5 делянок, размещенных последовательно, площадь каждой составляла 60 м^2.

В 2021 сою сеяли 20 мая (сорт СибНИИК-315), предшественником был пар, норма высева семян составила 0,52 млн. на 1 га. Через 4 недели в посеве применили гербицид Фуроре Ультра, ЭМВ, 0,5 л/га и его смесь с Цитогуматом, 0,4 л/га. Таким образом, схема опыта на всех сортах гороха и сои состояла из вариантов: 1) контроль (гербицид); 2) Цитогумат, 0,4 л/га в смеси с гербицидом (далее Цитогумат). Количество делянок в варианте – 5, размер 60 м2.

Исследования в ходе вегетации включали наблюдения за ростом и развитием растений, учет биомассы, зерновой продуктивности растений, элементов структуры урожайности и белковости семян. Все показатели определялись по общепринятым методикам в 5 повторениях, содержание белка выявлялось на БИК-анализаторе Foss, Швейцария. Результаты статистически обрабатывались пакетом программы SNEDEKOR.

Погодные условия. В 2020 г. они были более благоприятными для роста и формирования урожайности зернобобовых культур, чем в 2021 г. Год был относительно теплым и влажным с суммой осадков за период май – август 245 мм при норме 224 мм и гидротермическим коэффициентом по Селянинову 1,16. Недостаток осадков отмечен только в июне (44 % от нормы) за счет их небольшого количества во второй декаде и полного отсутствия в третьей. Остальные месяцы оказались переувлажненными.

Погодные условия 2021 г. характеризовались гидротермическим коэффициентом по Селянинову, близким к 1. Самым засушливым месяцем был достаточно теплый июль (37% осадков от нормы) с дефицитом дождей после прохождения первой декады. Жарким, с превышением температурной нормы на 3,3^{0}С, и засушливым был май с недобором 32% осадков. Август – время налива соевых бобов – был теплым, осадки соответствовали норме. Меньшее количество дождей летом 2021 г. отразилось на продуктивности сои.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Реакция сои на применение антистрессанта. Во влажном 2020 г. соя отреагировала на присутствие гуминового препарата при химпрополке замедлением роста и развития в периоды I–IV. Периоды являются общими для времени фотосинтетической активности посевов всех зернобобовых культур [15]. На фоне Цитогумата наступление периодов II (цветения и образования плодов), III (роста плодов) и IV (налива семян) отодвинулось в посеве на 3–4 дня в сравнении с контролем. Общая продолжительность вегетации сои сорта Золотистая в контрольном варианте составила 90 дней, в опытном – 94.

В умеренно влажном 2021 г. отличий в прохождении соей фенологических периодов между вариантами с одним гербицидом и совместно использованными гербицидом и антистрессантом не было. Продолжительность вегетации сои СибНИИК-315 составила 102 дня.

В оба года исследований применение гуминового антистрессанта способствовало увеличению биомассы растений сои, что проявлялось уже в момент роста стеблей и листьев (I период развития культуры) (рис. 1, табл. 1).

Рис. 1. Влияние гуминового антистрессанта к гербициду на растения сои в период до начала цветения (учет через 16 дней после применения гербицида и его смеси с Цитогуматом)

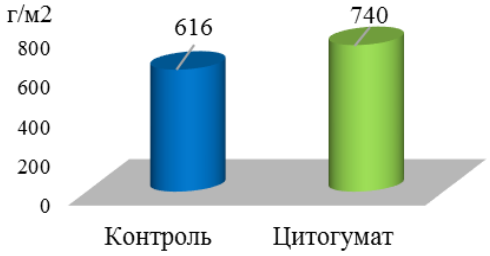
Fig. 1.
(16 days after application of the herbicide and its mixture with Cytogumat)

Эффективность нарастания биомассы под воздействием Цитогумата как антистрессанта к гербициду оказалась тесно связанной и с другими стрессовыми факторами среды. В наших исследованиях таким важным фактором в момент первого учета биомассы стал дефицит влаги для сои в июне 2020 г. На его фоне прирост фитомассы в варианте с антистрессантом за 16 дней после химпрополки составил 16,8% (что доказывалось статистически), а в благоприятном по увлажнению июне 2021 г. лишь 7%.

Ярче антистрессовое действие Цитогумата на сою в 2021 г. проявилось в засушливом июле. Дефицит осадков в этом месяце, в критический для сои период цветения, образования плодов и роста бобов, составил 37% от среднемноголетнего уровня, что привело к существенному угнетению ростовых процессов в контрольном варианте с химической прополкой. Во второй части опыта, благодаря антистрессовому действию Цитогумата, растениям сои к началу августа удалось сформировать фитомассу, на 24,6% превосходящую контроль.

Более высокие темпы накопления вегетативной массы соей под влиянием антистрессанта Цитогумата в оба года исследования привели к более производительному функционированию ее агроценоза. Американские ученые полагают, что образование сухой биомассы к моменту роста бобов определяет потенциальную урожайность семян сои [16]. В наших опытах в условиях влажного 2020 г., но с сухим июнем (сроком использования антистрессанта), на его фоне удалось получить с 1 м^2 2,33 тыс. семян сои (см. табл. 1). В контрольном варианте популяционная плодовитость культуры была на 20,1% ниже и составила 1,86 тыс. семян с 1 м^2. Эти результаты коррелируют с накоплением биомассы с коэффициентом, близким к 1.

2020 г., учет биомассы сои через 16 дней после применения Цитогумата и гербицида



2021 г., учет биомассы сои через 16 и 55 дней после применения Цитогумата и гербицида

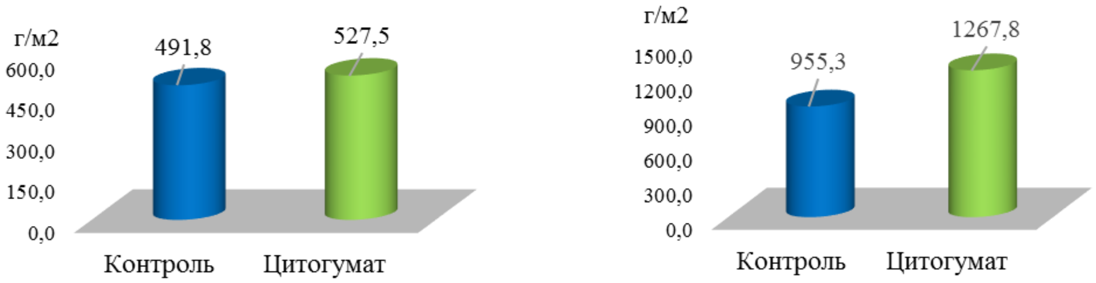


Рис. 2. Накопление биомассы растениями сои после применения антистрессанта Цитогумата в 2020 и 2021 гг.
Fig. 2. Biomass accumulation by soybean plants after application of the anti-stress Cytogumat in 2020 and 2021.

Применение Цитогумата как антистрессового препарата в условиях 2020 г. позволило дополнительно получить 19% урожайности соевых бобов. Эту величину статистически достоверно определили лучшая сохранность растений к уборке, выросшее число семян в бобе и некоторое увеличение количества плодов на растении. В условиях 2021 г. хозяйственная эффективность применения Цитогумата оказалась сходной. Потенциал урожайности сои на участке его применения в смеси с гербицидом возрос на 19,3%. Но при этом вариабельность изменений урожайности растений в вариантах оказалась выше, чем в 2020 г., и статистические отличия урожайности и элементов ее структуры от контроля доказывались на уровне значимости 90%. Вклад в увеличение семенной продуктивности сои внесли лучшая сохранность растений к уборке и проявившееся в виде тенденции увеличение массы 1000 семян и количества бобов на растении.

Таблица 1

Влияние антистрессанта Цитогумата на урожайность сои в Приобье и её структуру
Influence of the anti-stressCytogumat on soybean yield in the Ob river region and its structure

Вариант	Сохранность растений, шт. на 1 м^2	Количество бобов на растении, шт.	Количество семян в бобе, шт.	Масса 1000 семян, г	Урожайность, ц/га
2020 г.					
Контроль	49,0	17,3	2,2	124,6	23,55
Цитогумат	50,2**	18,6	2,5**	124,4	29,04**
НСР$_{05}$	0,63	2,63	0,26	0,31	4,23
2021 г.					
Контроль	39,3	13,8	2,3	137,2	17,46
Цитогумат	42,6*	15,7	2,2	144,5	21,63*
НСР$_{05}$/ НСР$_{10}$	3,44/ 2,72	2,63/ 2,12	0,3/ 0,27	10,69/ 8,43	4,98/ 4,01

Примечание. Здесь и далее: ** отличия от контроля достоверны на 95 %-м уровне значимости;
* отличия от контроля достоверны на 90 %-м уровне значимости

Еще один важный показатель, вносящий вклад в урожай, – это высота прикрепления бобов у сои. Она определяет пригодность посева к механизированной уборке и снижает или увеличивает риски потерь урожая. У многих сортов зернобобовых культур основная масса бобов сосредоточена в нижнем ярусе. Показано, что недобор урожая сои связан с расположением нижних бобов до 12 см, но по мере увеличения продолжительности вегетации уровень прикрепления нижнего боба сои повышается [17, 18]. В наших исследованиях выявилась тенденция, сходная с последним утверждением. В 2020 г. применение Цитогумата как антистрессанта привело к замедлению прохождения фаз вегетации посевом на 3–4 дня и увеличило высоту прикрепления нижнего боба сои (рис. 3). На момент уборки она оказалась на 25% выше, чем в контроле. В условиях 2021 г., когда Цитогумат не изменил продолжительности вегетации сои, размещение нижних бобов в посевах контрольного варианта и варианта с применением Цитогумата оказалось одинаковым.

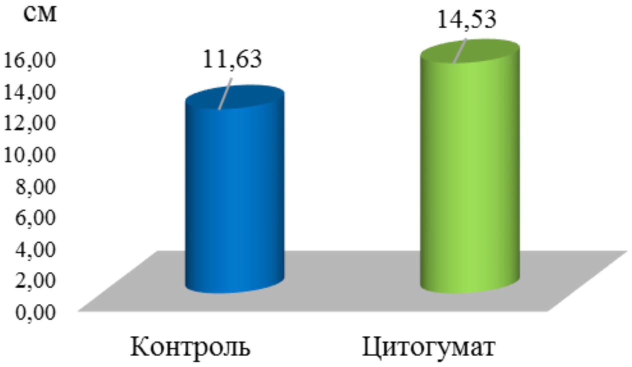


Рис. 3. Высота прикрепления нижних бобов сои при использовании антистрессанта к гербицидам Цитогумата в 2020 г.
Fig. 3. Height of soybean lower bean attachment when using the anti-stress herbicides Cytogumat in 2020.

2. Реакция гороха посевного на применение антистрессанта. Обработка посевов гороха баковой смесью гербицида с Цитогуматом, как и на сое, способствовала росту его зеленой массы (табл. 2). В период цветения (через 26 дней после обработки) это достоверно проявилось на сортах Ямал (рис. 4) и Астронавт, прирост биомассы которых составил соответственно 30,1 и 24%. На остальных сортах к учету 07.07.20 увеличение показателя проявилось только в виде тенденции.

Выявленные в первую декаду июля различия в биомассе контрольного варианта и варианта с антистрессантом Цитогуматом сохранились на сортах гороха до момента уборки. Урожайность зерна в контрольном варианте изучаемых сортов имела пределы 20,35–21,9 ц/га с максимумом у сорта Ямал. От применения антистрессанта Цитогумата зерновая продуктивность гороха выросла на 6,8–12%. Слабо на добавление Цитогумата при химпрополке отреагировал горох посевной сорта Ямальский (он, скорее всего, обладает повышенной толерантностью к действующим веществам клоквинтосет-мексил, феноксапроп-П-этил и относительно засухоустойчив), чувствительнее всего к антистрессанту были сорта Ямал и Астронавт.

Рис. 4. Накопление биомассы горохом посевным сорта Ямал при применении Цитогумата как антистрессанта к гербициду
Fig. 4. Biomass accumulation by pea variety of Yamal when using Cytogumat as an anti-stress herbicide

Таблица 2

Биомасса гороха посевного разных сортов в вариантах с гербицидом и смесью гербицида и Цитогумата (фаза цветения), кг/м^2

Biomass of pea crops of different varieties in variants with herbicide and a mixture of herbicide and Cytogumat (flowering phase), kg/m^2

Вариант	Гербицид	Гербицид + Цитогумат
Ямал	2,67	3,82**
Ямальский	3,88	4,0
Алтайский усатый	2,94	3,2
Новосибирец	3,59	3,89
Астронавт	2,38	3,13**
НСР$_{05}$	0,45	
Степень влияния по Снедекору, %	75,14	

При этом аналогично урожайности у изученных сортов на применение гербицида и антистрессанта отреагировала выполненность зерна, считающаяся наиболее инертным показателем структуры урожайности гороха посевного [19]. Использование Цитогумата способствовало формированию более выполненного зерна у всех 5 сортов гороха (табл. 3), и это важно, т.к. для продовольственного использования предпочтительнее горох с более крупными семенами. Отзывчивее на Цитогумат оказались сорта Ямал и Астронавт, у которых различия с контролем в массе 1000 зерен составили 7,1 и 7,4% соответственно.

В зерне 4 из 5 сортов (у 80%) в ответ на применение антистрессанта Цитогумата возросло процентное содержание протеина (табл. 4).

В зерне 4 из 5 сортов (у 80%) в ответ на применение антистрессанта Цитогумата возросло процентное содержание протеина (табл. 4).

Таблица 3

Изменение массы 1000 зерен гороха посевного разных сортов под влиянием антистрессанта Цитогумата, г

Changes in the weight of 1000 grains of pea seeds of different varieties under the influence of the anti-stress Cytogumat, g

Вариант	Гербицид (контроль)	Гербицид + Цитогумат	Прибавка к контролю
Ямал	218,35	233,15	14,8
Ямальский	195,15	200,55	5,4
Алтайский усатый	202,7	211,2	8,5
Новосибирец	174	183,85	9,85
Астронавт	181,85	195,85	14,0
НСР$_{05}$	По фактору А «сорта» –3,63, по фактору В «Цитогумат» – 2,29		
Степень влияния по Снедекору, %	А – 75,9%, В – 13,5%		

Таблица 4

Содержание протеина в зерне гороха посевного на фоне Тайгера 100, КЭ и смеси Тайгера 100, КЭ и Цитогумата, %

Total of protein in pea seeds against Taiger 100, emulsion concentrate, and a mixture of Taiger 100, emulsion concentrate, and Cytogumat, %

Вариант	Гербицид (контроль)	Гербицид + Цитогумат	Различия с контролем
Ямал	23,7	24,5	+0,8**
Ямальский	24,9	23,3	-1,6**
Алтайский усатый	24,4	25,2	+0,8**
Новосибирец	26,4	26,9	+0,5**
Астронавт	25,9	26,4	+0,5**
НСР$_{05}$	0,5		

У сортов Ямал и Алтайский усатый оно составило 0,8% (3,3 и 3,2 %, если принять содержание белка в контроле за 100%), у сортов Новосибирец и Астронавт – 0,5% (1,9%). У сорта Ямальский, наоборот, протеина оказалось меньше, чем на фоне одного гербицида, на 1,6%.

Таким образом, отзывчивость изученных сортов гороха посевного на Цитогумат как антистрессант к гербициду Тайгеру 100, КЭ, судя по приросту зеленой массы, массы 1000 зерен и белковости зерна, оказалась разной.

Сорта Ямал и Астронавт проявили себя как более чувствительные к Цитогумату, т.е. обработка противозлаковым гербицидом оказала на них стрессовое воздействие. Сорта Новосибирец и Алтайский усатый можно отнести к среднеустойчивым к гербициду. Сорт Ямальский проявил себя как устойчивый к действующим веществам клоквинтосет-мексил, феноксапроп-П-этил.

ВЫВОДЫ

1. В условиях лесостепи Приобья стрессовыми факторами для развития раннеспелых сортов сои и ранне- и среднеспелых сортов гороха служат гербицидные обработки, весенне-летняя и летняя засухи. Они приводят к ограничению реализации биологического потенциала урожайности сои, снижению крупности зерна и содержания в горохе протеина.

2. В посевах сои и гороха в северной лесостепи Приобья, где время питания и формирования урожайности зернобобовых культур ограничено, целесообразно во время вегетации вместе с гербицидной прополкой применять гуминовый антистрессант.

3. Использование Цитогумата в норме 0,4 л/га как антистрессанта к гербицидам при выращивании сои в Приобье позволяет растениям снять физиологический стресс, успешно накопить фитомассу и обеспечить прибавку урожайности зерна 4,2–5,5 ц/га, или 19%. Гуминовый препарат не затягивает продолжительность вегетации сои и в отдельные годы положительно влияет на высоту прикрепления нижних бобов.

4. Сорта гороха посевного, районированные в Западно-Сибирском регионе, отличаются разной стрессоустойчивостью к противозлаковому пестициду с действующими веществами клоквинтосет-мексил и феноксапроп-П-этил, что следует учитывать при промышленном производстве культуры.

5. На 2 сорта из 5 изученных: Ямал и Астронавт – обработка гербицидом оказала стрессовое воздействие. Применение антистрессанта Цитогумата с нормой 0,4 л/га давало у них прирост зеленой массы на 30,1 и 24%, повышало урожайность зерна на 10,5–12%, массу 1000 зерен – на 7,1–7,4% и содержание в них протеина.

6. Сорта Алтайский усатый и Новосибирец показали себя среднеустойчивыми к гербициду. На применение антистрессанта Цитогумата они отозвались повышением зеленой массы к первой декаде июля на 7,7-8,1%, урожайности зерна – на 8–10, повышением его крупности на 5,0 и 5,4 % соответственно и небольшим возрастанием (на 1,9%) содержания белка в зерне.

7. Сорт Ямальский в Приобье проявил себя относительно устойчивым к противозлаковому гербициду и июньской засухе. Применение гуминового антистрессанта при его выращивании нецелесообразно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Омельянюк Л.В., Асанов А.М., Кармазина А.Ю.* Новинки селекции гороха посевного в ФГБНУ «Омский АНЦ» // Вестник ОмГАУ. – 2019. – №2 (34). – С. 56–65.
2. *Лабынцев А.В., Гринько А.В., Горячев В.П.* Влияние применения гербицидов на засорённость посевов и урожайность гороха // Известия ОГАУ. – 2013. – №5 (43) – С. 67–70.
3. *Елисеева Н.С., Банкрутенко А.В.* Влияние основной обработки почвы и средств химизации на урожайность гороха посевного в Подтаежной зоне Западной Сибири // Вестник НГАУ. – 2015. – № 2 (35). – С. 32–38.
4. *Лысенко Н.Н., Прудникова Е.Г., Матвейчук П.Н.* Эффективное сочетание гербицидов в посевах сои // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 5 (74). – С. 10–18.
5. *Химические* средства защиты растений и их применение на полях Сибири / Н.Г. Власенко, Т.П. Садохина, А.А. Малюга, О.В. Кулагин, Е.А. Иванов. – Новосибирск, 2007. – 107 с.
6. *Гаврилец Т.В., Коробова Л.Н.* Перспективы использования препарата из торфа гуминатрина в качестве антидепрессанта к гербицидам // Научное и инновационное обеспечение АПК Сибири: сб. межрегион. конф. – Барнаул, 2008. – С. 23–26.
7. *Коробова Л.Н., Шинделов А.В.* Состояние агроценоза яровой пшеницы при применении повышенных доз гербицидов // Вестник НГАУ. – 2012. – №2–3. – С. 12–16.

8. *Коробова Л.Н., Холдобина Т.В.* Препараты на основе наноуглерода и фитогормона ИМК как антидепрессанты на яровых культурах // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 1 (19). – С. 97–104.
9. *Коробов В.А., Коробова Л.Н.* Гуминатрин на яровой пшенице // Защита и карантин растений. – 2009. – № 5. – С. 29.
10. *Холдобина Т.В.* Гуминатрин как антидепрессант гербицидов // Инновации и продовольственная безопасность. – 2014. – № 2 (4). – 2014. – С. 39–46.
11. *Humic* Substances: Determining Potential Molecular Regulatory Processes in Plants / H.S. Zahid, M.R. A. Tasneem, A. Hameed, T.H. Bahget // Frontiers in Plant Science. – 2018. – 10.3389/fpls.2018.00263, 9.
12. *Малюга А.А., Енина Н.Н., Бурмистрова Т.И.* Применение торфогуминовых препаратов и минеральных удобрений при возделывании картофеля: рекомендации / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. СибНИИЗХим. – Новосибирск, 2009 – 22 с.
13. *Холдобина Т.В, Петров А.Ф.* Влияние биологических ростостимуляторов как антидепрессантов на яровую пшеницу // Теория и практика современной аграрной науки: сб. II нац. (всерос.) конф. – 2019. – С. 115–118.
14. *Достижения* омской селекции по акклиматизации сои в Западно-Сибирском регионе на широте 55 / А.М. Асанов, Л.В. Омельянюк, О.А. Юсова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 10. – С. 50–55.
15. *Белышкина М.Е.* Динамические параметры формирования урожая раннеспелых сортов сои в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2018. – № 4 (44). – С. 77–84.
16. *Egli D.B.* Soybean reproductive sink size and short-term reductions in photosynthesis during Vol. 50. – P. 1971–1977.
17. *Рожанская О.А. Полюдина Р.И.* Особенности селекции сои с использованием методов сомаклональной изменчивости и мутагенеза в условиях Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 4 (227). – С. 69–76.
18. *Созонова А.Н., Иваненко А.С.* Структура урожая скороспелых сортов сои в Тюменской области // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2017. – № 2 (37). – С. 90–94.
19. *Шакирзянова М.С.* Продуктивность и экологическая пластичность сортов гороха экологического сортоиспытания // Достижения науки и техники АПК. –2016. – Т.30, № 12. – С. 28–30.

REFERENCES

1. Omel'yanyuk L.V., Asanov A.M., Karmazina A.Yu., *Vestnik OmGAU*, 2019, No. 2 (34), pp. 56–65. (In Russ.)
2. Labyncev A.V., Grin'ko A.V., Goryachev V.P., *Izvestiya OGAU*, 2013, No. 5 (43), pp. 67–70. (In Russ.)
3. Eliseeva N.S., Bankrutenko A.V., *Vestnik NGAU*, 2015, No. 2 (35), pp. 32–38. (In Russ.)
4. Lysenko N.N., Prudnikova E.G., Matvejchuk P.N., *Vestnik agrarnoj nauki*, 2018, No. 5 (74), pp. 10–18. (In Russ.)
5. Vlasenko N.G., Sadohina T.P., Malyuga A.A., Kulagin O.V., Ivanov E.A., *Himicheskie sredstva zashchity rastenij i ih primenenie na polyah Sibiri* (Chemical means of plant protection and their), Novosibirsk, 2007, 107 p.
6. Gavrilec T.V., Korobova L.N., *Nauchnoe i innovacionnoe obespechenie APK Sibiri* (and innovative support of the agro-industrial complex of Siberia), Proceedings of the Conference Title, Barnaul, 2008, pp. 23–26. (In Russ.)
7. Korobova L.N., Shindelov A.V., *Vestnik NGAU*, 2012, No. 2–3, pp. 12–16. (In Russ.)
8. Korobova L.N., Holdobina T.V., *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2018, No. 1 (19), pp. 97–104. (In Russ.)
9. Korobov V.A., Korobova L.N., *Zashchita i karantin rastenij*, 2009, No. 5, pp. 29. (In Russ.)

10. Holdobina T.V., *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2014, No. 2 (4), 2014, pp. 39–46. (In Russ.)
11. Zahid H.S., M.R., Tasneem A., Hameed A., Bahget T.H., Humic Substances: Determining Potential Molecular Regulatory Processes in Plants, *Frontiers in Plant Science*, 2018, 10.3389/fpls.2018.00263, 9.
12. Malyuga A.A., Enina N.N., Burmistrova T.I., *Primenenie torfoguminovyh preparatov i mineral'nyh udobrenij pri vozdelyvanii kartofelya* (The use of peat-humic preparations and mineral fertilizers in the cultivation of potatoes), Novosibirsk, 2009, 22 p.
13. Holdobina T.V, Petrov A.F., *Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Proceedings of the Conference Title, 2019, pp. 115–118. (In Russ.)
14. Asanov A.M., Omel'yanyuk L.V., Yusova O.A. [i dr.], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, T. 34, No. 10, pp. 50–55. (In Russ.)
15. Belyshkina M.E., *Vestnik Ul'yanovskoj GSHA*, 2018, No. 4 (44), pp. 77–84. (In Russ.)
16. Egli D.B., Soybean reproductive sink size and short-term reductions in photosynthesis during *Crop Sci*, 2010, Vol. 50, pp. 1971–1977.
17. Rozhanskaya O.A. Polyudina R.I., *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauk*i, 2012, No. 4 (227), pp. 69–76. (In Russ.)
18. Sozonova A.N., Ivanenko A.S., *Vestnik gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ya*, 2017, No. 2 (37), pp. 90–94. (In Russ.)
19. Shakirzyanova M.S., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*,2016, T. 30, No. 12, pp. 28–30. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-50-55
УДК 633. 15: 631. 52

ИЗУЧЕНИЕ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ И УСТОЙЧИВОСТИ К БИОТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

А.М. Кагермазов, кандидат сельскохозяйственных наук
А.В. Хачидогов, кандидат сельскохозяйственных наук
А.Р. Яндиева, аспирант

Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Россия

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Ключевые слова: кукуруза, самоопыленные линии, селекционная программа, биотические факторы среды, гибрид, хозяйственно-ценные признаки.

Реферат. Цель работы – выделить наиболее перспективные линии кукурузы собственной селекции по элементам продуктивности и устойчивости к различным факторам среды с целью вовлечения их в селекционную работу по созданию гибридов кукурузы ФАО 200–300. Кукуруза – одна из основных зерновых культур на планете. Это, прежде всего, связано с высокой урожайностью зерна и, естественно, с универсальностью использования. Одним из главных условий в увеличении производства зерна гибридов кукурузы является изучение и выявление перспективных линий с высокой комбинационной способностью и получение на их основе высокоурожайных гибридов с улучшенными для селекционного процесса хозяйственно-ценными признаками, отвечающими устойчивости к биотическим и абиотическим факторам среды. Данная работа по получению и изучению гибридов кукурузы, устойчивых к различным факторам (био- и абиотическим), является весьма актуальной для селекционеров научно-исследовательских учреждений, в настоящее время ведущих исследования в области селекции кукурузы. В соответствии с тематикой НИР были проведены исследования по изучению самоопыленных линий кукурузы собственной селекции по хозяйственно-ценным признакам, а также по устойчивости к биотическим факторам среды. Закладку опытов и оценку линий проводили на базе института в предгорной зоне Кабардино-Балкарии в 2020–2021 гг. Опыты были заложены согласно методикам полевых опытов. По полученным в ходе исследований результатам выделились следующие линии: 92С0112, 92С5183, 92С543, 92С005, 92С0112, 92С5183, 92С267, 92С543, 92С06146, 92С5183, 92С267, 92С06146, 92С0206, 92С0241, которые представляют селекционную ценность. По урожайным данным (с делянки) можно выделить следующие номера: 92С0247, 92С267, 92С281, 92С0206. Научная новизна проведенных исследований заключается в том, что в условиях предгорной зоны были изучены линии по элементам продуктивности и по устойчивости початков кукурузы к основным болезням и вредителям, встречающимся на полях республики. Выделенные линии будут применены в селекционной работе по получению высокоурожайных гибридов кукурузы.

STUDY OF SELFED LINE OF MAIZE IN TERMS OF ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS AND RESISTANCE TO BIOTIC FACTORS IN THE PIEDMONT OF KABARDINO-BALKARIA

A.M. Kagermazov, Ph.D. in Agricultural Sciences
A.V. Khachidogov, Ph.D. in Agricultural Sciences
A.R. Yandieva, Ph.D. student

Institute of Agriculture - a branch of the Federal State Budgetary Study Research Center "The Federal Scientific Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Keywords: maize, selfed line, breeding program, biotic factors of environment, hybrid, economically valuable characteristics.

Abstract. The work aims to identify the most promising lines of own maize breeding on productivity and resistance to various environmental factors. It involves them in breeding work to create hybrids maize with an earliness index FAO 200-300. Maize is one of the major crops on the planet. This crop is associated with a high grain yield and, of course, with the versatility of use. One of the main conditions in increasing the production of a grain of corn hybrids is the study and identification of promising lines with high combination ability and the production of high-yielding mixtures on their basis. These hybrids are improved options for the breeding process, possessing economically valuable traits that are resistant to biotic and abiotic environmental factors. This work on getting and studying maize hybrids resistant to various factors (bio- and abiotic) is highly relevant for breeders of research institutions currently conducting research in maize breeding. The subject of research, investigations on the study of the selfed line of maize of own selection on economically valuable characteristics, as well as on resistance to biotic factors of the environment, were carried out. The authors laid out the experiments and evaluated the lines based on the institute in the foothill zone of Kabardino-Balkaria in 2020–2021. The authors carried out the experiments according to the methods of field experiments. According to the results obtained in the research, the following lines were distinguished: 92C0112, 92C5183, 92C543, 92C005, 92C0112, 92C5183, 92C267, 92C543, 92C06146, 92C5183, 92C267, 92C06146, 92C0206, 92C0241, which are of breeding value. According to yield data (from a working plot), the following numbers can be distinguished: 92C0247, 92C267, 92C281, and 92C0206. In the conditions of the foothill zone, the authors studied the lines of productivity and resistance of corn cobs to the primary diseases and pests found in the fields of the republic. This study was the scientific novelty of the research. Selected lines will be used in breeding work to obtain high-yield maize hybrids.

В Российской Федерации производство зерна играет одну из ключевых ролей в обеспечении продовольственной безопасности. За последнее десятилетие в России наблюдается стабильный рост урожаев зерновых культур [1].

Кукуруза – одна из важнейших зерновых и кормовых культур в мире. Ее широкое распространение обусловлено высокой потенциальной урожайностью. Валовой сбор зерна этой культуры достигает около 800 млн т, или 34% общего количества зерна, производимого в мире. В России производство зерна кукурузы составляет около 5 млн т и отмечается тенденция к его росту [2].

Благодаря своим свойствам кукуруза в России используется как зерновая и кормовая культура, которая в основном идёт на корм скоту и птице. Зеленую массу кукурузы используют для приготовления силоса, а зерно добавляют в комбикорм как обязательный компонент [3]. Кукурузное зерно отличается высокими кормовыми достоинствами – 1 кг содержит 1,34 к. ед., тогда как зерно ячменя – 1,2, овса – 1 к. ед. В нем содержится 65–70% безазотистых экстрактивных веществ, 9–12 – белка, 4–5 – жира, 2% сахара и очень мало клетчатки. Кукуруза является высокорентабельной и универсальной в использовании культурой. В производственных целях кукурузное зерно идет на изготовление муки, крупы, хлопьев, масла и других продуктов. Зерно кукурузы является также сырьем для производства спирта, биотоплива, крахмала, глюкозы и т.д. [4].

Спирторастворимые белки кукурузы – зеины в последние годы используются как альтернатива различным коммерческим пластмассам на основе нефти. Кроме того, зеины обладают прекрасными пленкообразующими свойствами, которые находят широкое применение в медицине и пищевой промышленности [5].

В последние годы наблюдается тенденция к увеличению валового сбора зерна кукурузы, что свидетельствует о повышенном интересе со стороны сельхозтоваропроизводителей к данной культуре. Активно проводится селекционная работа по созданию гибридов кукурузы всех групп спелости, повышению урожайности, устойчивости к вредителям и болезням, а также адаптационной способности к экзогенным факторам внешней среды [6].

Специфические условия производства кукурузы по отдельным регионам и различия в использовании производимой продукции определяют развитие селекционного процесса по созданию разнообразного набора гибридов, отличающихся по скороспелости и адаптированности к конкретным почвенно-климатическим условиям регионов [7].

Потребность в гибридах кукурузы зернового использования с потенциально высокой урожайностью зерна – до 10–12 т/га, отвечающих требованиям современных технологий, приобрела коммерческую составляющую. В связи с этим сельхозтоваропроизводителям нужны гибриды, которые должны обладать параметрами высокой потенциальной продуктивности, отличаться интенсивной начальной скоростью роста с высокой устойчивостью к полеганию, быть устойчивыми к биотическим и абиотическим стрессорам, выдерживать оптимально высокое загущение посевов в конкретной по влагообеспеченности зоне и интенсивно отдавать влагу в процессе созревании зерна [8].

Подбирая исходный материал по происхождению и группе спелости, реакции на ЦМС, типу зерна, его биохимическому составу и особенностям физиологии при его созревания, структуре количественных признаков растения и початка, устойчивости к различным стрессорным факторам среды селекционер в короткие сроки сможет создать ценный исходный материал для гибридной селекции кукурузы [9].

Цель исследований – выделить наиболее перспективные линии кукурузы собственной селекции по элементам продуктивности и устойчивости к различным факторам среды с целью вовлечения их в селекционную работу по созданию гибридов кукурузы ФАО 200–300.

Исходя из поставленной цели, нами была поставлена задача оценить самоопыляемые линии кукурузы по показателям продуктивности и устойчивости к болезням и вредителям для выявления наиболее перспективных образцов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыты были заложены согласно методике полевого опыта [10]. Оценку селекционного материала проводили согласно методическим указаниям ВАСХНИЛ по изучению и поддержанию образцов коллекции кукурузы [11]. Устойчивость линий к болезням определяли с применением методических рекомендаций по оценке устойчивости селекционного материала кукурузы к болезням [12].

Материалом для проведения исследований послужила коллекция кукурузы собственной селекции, состоящая из 100 номеров.

Работа проводилась в предгорной зоне Кабардино-Балкарии на научно-производственном участке института (НПУ № 1).

Почва экспериментального поля представлена обыкновенным тяжелосуглинистым черноземом. Агрохимическая характеристика почвы (по Чирикову): $P_2O_{5\ \text{подв}}$ – 9,8 мг/100 г почвы; $K_2O_{\ \text{обм}}$ – 7,2 мг/100 г почвы; N – 10,2 мг/100 г почвы; pH – 7,2 (метод ЦИНАО, ГОСТ 2648385); гумус (по Тюрину) – 4,4 %. Перед посевом на опытном участке внесено 200 кг/га азофоски 16:16:16, в фазе 8 листьев проведена междурядная культивация с внесением 150 кг/га аммиачной селитры. Предшественник – озимый ячмень. В фазе 3–6 листьев опытный участок обработали послевсходовым гербицидом Пик, ВДГ в дозе 0,015 л/га.

Опытные делянки (площадь одной делянки 9,8 м^2) размещались систематически, в трехкратной повторности.

Согласно плану, были проведены все фенологические наблюдения за развитием линий кукурузы с фиксацией в полевом журнале.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывают полученные результаты (табл. 1), в опыте выделены линии, которые превысили стандартные значения по показателям продуктивности.

Таблица 1

Показатели продуктивности выделенных самоопыленных линий ФАО 200–250 (2020–2021 гг.)
Productivity indicators of selected selfed line FAO 200-250 (2020–2021)

Линия	Урожайность зерна, т/га, при 14%-й влажности	Зерновая продуктивность, %	Фертильность пыльцы, %
КБ 630–st	4,22	80,7	94,93
92С615	5,65	80,1	90,1
92С0112	4,53	86,1	92,6
92С6146	6,06	86,6	90,4
92С0206	6,88	87,8	95,6
92С0241	6,06	86,8	95,5
92С0247	6,10	87,3	97,1
92С5183	5,76	87,7	92,6
92С267	6,37	87,2	94,3
92С543	5,35	83,1	91,1
92С270	5,24	82,4	93,0
92С281	6,08	82,6	96,2
НСР$_{0,05}$	0,79	1,20	4,17

Урожайность зерна – один из важных показателей ценности изучаемых линий. Учет и уборку использованных в опыте самоопыленных линий провели в период физиологической спелости зерна кукурузы. Лучшими по урожайности оказались линии 92С0247, 92С281, 92С0206, которые превосходили стандарты по урожайности. В среднем урожайность варьировала от 4,53 до 6,88 т/га. По зерновой продуктивности практически все линии превосходили стандарт, ее значения варьировали от 82,6 до 87,7 %.

Известно, что по мере развития производства семян и зерна эффективность защиты посевов кукурузы от прогрессирующих вредных организмов становится важным элементом технологии ее возделывания [13].

Основными вредителями и болезнями кукурузы, возделываемой в Кабардино-Балкарии, являются следующие: *Ostrinia nubilalis* – стеблевой мотылек; *Helicoverpa armigera* – хлопковая совка; *Ustilago zeae* (Link) Unger – пузырчатая головня; *Fusarium moniliforme* Sheld – фузариоз початка [14].

Результаты поражаемости болезнями и повреждаемости вредителями линий кукурузы на естественном фоне представлены в табл. 2.

Таблица 2

Устойчивость початков самоопыленных линий кукурузы к болезням и вредителям (2020–2021 гг.), %
Resistance of ears of self-pollinated maize lines to diseases and pests, 2020–2021., %

Название линий	Болезни початка		Вредители початка	
	фузариоз початка	пузырчатая головня	хлопковая совка	стеблевой мотылек
КБ 630 – st-1	86,5	74,1	89,1	80,3
92С615	85,7	93,1	68,3	68,4
92С0112	88,8	92,4	73,6	48,8
92С06146	73,6	58,5	95,0	98,1
92С0206	75,5	74,3	92,0	90,5
92С0241	81,1	84,7	87,6	95,2
92С0247	79,7	88,7	89,4	80,3
92С5183	89,4	90,2	96,8	69,1
92С267	84,5	98,1	92,1	79,1
92С543	93,8	91,8	84,5	66,7
92С270	87,0	85,3	83,4	99,5
92С281	80,1	86,6	87,5	76,7
92С5439	85,3	88,2	89,3	81,1
92С5195	84,6	88,3	87,5	80,1

В настоящее время совершенно очевидно, что рациональная стратегия селекции сельскохозяйственных культур на устойчивость к болезням и вредителям должна предусматривать расширение генетического разнообразия возделываемых сортов и гибридов. Реализация селекционно-исследовательской программы основана, прежде всего, на выявлении генетических источников ценных признаков, изучении устойчивости и создании нового высокоустойчивого исходного материала [15].

Многолетние исследования по получению устойчивых к биотическим факторам среды сортов и гибридов кукурузы показало, что в этой работе сосредоточен первостепенный залог успеха в борьбе с вредителями и болезнями. Селекция генетических источников по признакам устойчивости к вредителям и болезням является решающим фактором в создании высокоэффективных популяций кукурузы, а их обнаружение и изучение позволит свести к минимальным потери при возделывании.

В наших исследованиях по устойчивости початков кукурузы к основным болезням выделены такие линии, как 92С0112, 92С5183, 92С543, 92С5439, 92С005, 92С0112, 92С5183, 92С267, 92С543, а по устойчивости к вредителям – линии 92С06146, 92С5439, 92С5195, 92С5183, 92С267, 92С06146, 92С0206, 92С5195, 92С0241.

ВЫВОДЫ

1. Одной из основных задач селекции кукурузы является изучение линий по основным элементам продуктивности, а также устойчивости к меняющимся факторам сре-

ды. Полученные результаты показали, что фертильность пыльцы находилась в пределах 90,1–97,1%, зерновая продуктивность – 82,6–87,8%, а урожайность – 7,1–9,9 т/га.

2. Анализ самоопыленных линий собственной селекции по элементам продуктивности и устойчивости к биотическим факторам среды позволил выявить наиболее ценные для селекции образцы: 92С615, 92С0112, 92С06146, 92С0206, 92С0241, 92С0247, 92С5183, 92С267, 92С543, 92С270, 92С281 – с целью их дальнейшего вовлечения в селекционную программу ИСХ КБНЦ РАН. Научно-практическая работа по изучению линий ФАО 200–300 и созданию новых высокоурожайных гибридов кукурузы будет продолжена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Оценка* биохимического состава зерна кукурузы селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» для дальнейшего использования в АПК / И.А. Сазонова, В.Н. Титов, Ю.В. Бочкарева [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2021. – № 6 (48). – С. 1–10.
2. *Елисеев С.Л., Елисеев А.С.* Вызревание зерна кукурузы в северных районах кукурузосеяния // Пермский аграрный вестник. – 2015. – № 1 (9). – С. 11–18.
3. *Красковская Н.А., Бутовец Е.С., Даниленко И.Н.* Изучение гибридов кукурузы различных групп спелости в условиях Приморского края // Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 1 (53). – С. 20–25.
4. *Никитин С.В.* Влияние элементов технологии возделывания на урожайность гибридов кукурузы в зоне неустойчивого увлажнения: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Ставрополь, 2012. – 23 с.
5. *Study* of economically valuable traits and technological properties in maize from the Zea mays L. collection of VIR / M.R. Gonikova, V.I. Khoreva, V.G. Goldstein [et al.] // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. – 2020. – Т. 181 (4). – S. 56–64.
6. *Хачидогов А.В., Кагермазов А.М.* Экологическое сортоиспытание перспективных гибридов кукурузы в предгорной зоне Кабардино-Балкарии // Научная жизнь. – 2019. – Т 14, № 6 (94). – С. 893–909.
7. *Орлянский Н.А., Орлянская Н.А., Зубко Д.Г.* Раннеспелый гибрид кукурузы Воронежский 160 СВ // Кукуруза и сорго. – 2018. – № 2. – С. 22–26.
8. *Божко О.В.* Динамика влагоотдачи зерна у гибридов кукурузы в условиях Приморского края // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 3 (43). – С. 17–22.
9. *Development* of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N.I. Vavilov institute of plant industry (VIR) / S.P. Appaev, A.M. Kagermazov, A.V. Khachidogov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Т. 262. – P. 01010.
10. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат,1985. – 415 с.
11. *Шмараев Г.Е., Матвеева Г.В.* Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы. – Л.: ВИР, 1985. – 48 с.
12. *Вилкова Н.А., Иващенко В.Г., Фролов А.Н.* Методические рекомендации по оценке устойчивости селекционного материала кукурузы к болезням. – М., 1989. – 43 с.
13. *Шабатуков А.Х., Шипшева З.Л., Хромова Л.М.* Хлопковая совка и стеблевой кукурузный мотылек на посевах кукурузы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской республики // Научная жизнь. – 2021. – Т. 16, вып. 7. – С. 820–827.
14. *Хачидогов А.В., Кагермазов А.М., Бижоев М.В.* Оценка тест-кроссов кукурузы на устойчивость к распространенным вредителям и болезням // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14, вып. 9. – С. 1417–1423.
15. *Boyko V.N.* Field assessment of accessions from the maize collection for resistance to boil smut // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. – 2019. – Vol. 180(3). – S. 91–95.

REFERENCES

1. Sazonova I.A., Titov V.N., Bochkareva Ju.V., Bychkova V.V., *AGROJeKOINFO*, 2021, No. 6 (48), pp. 1–10. (In Russ.)
2. Eliseev S.L., Eliseev A.S., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2015, No. 1 (9), pp. 11–18 (In Russ.)

3. Kraskovskaja N.A., Butovec E.S., Danilenko I.N., *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2020, No. 1 (53), pp. 20–25. (In Russ.)
4. Nikitin S.V., *Vlijanie jelementov tehnologii vozdelyvanija na urozhajnost' gibridov kukuruzy v zone neustojchivogo uvlazhnenija* (The of elements of cultivation technology on the yield of corn hybrids in the zone of unstable moisture), Extended abstract of candidate´sthesis, Stavropol', 2012, 23 p. (In Russ.)
5. Gonikova M.R., Khoreva V.I., Goldstein V.G. [et al.], Study of economically valuable traits and technological properties in maize from the Zea mays L. collection of VIR, *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2020, T. 181 (4), pp. 56–64.
6. Hachidogov A.V., Kagermazov A.M., *Nauchnaja zhizn'*, 2019, T 14. No. 6 (94), pp. 893–909. (In Russ.)
7. Orljanskij N.A., Orljanskaja N.A., Zubko D.G., *Kukuruza i sorgo*, 2018, No. 2, pp. 22–26. (In Russ.)
8. Bozhko O.V., *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2017, No. 3 (43), pp. 17–22. (In Russ.)
9. Appaev S.P., Kagermazov A.M., Khachidogov A.V. [et al.], Development of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N.I. Vavilov institute of plant industry (VIR), *E3S Web of Conferences*, 2021, T. 262, pp. 01010
10. Dospehov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methodology of experience), Moscow: Agropromizdat, 1985, 415 p.
11. Shmaraev G.E., Matveeva G.V., *Izuchenie i podderzhanie obrazcov kollekcii kukuruzy* (Study and maintenance of samples of the corn collection), Leningrad: VIR, 1985, 48 p. (In Russ.)
12. Vilkova N.A., Ivashhenko V.G., Frolov A.N. *Metodicheskie rekomendacii po ocenke ustojchivosti selekcionnogo materiala kukuruzy k boleznjam* (Methodological recommendations for assessing the resistance of maize breeding material to diseases), Moscow, 1989. 43 p.
13. Shabatukov A.H., Shipsheva Z.L., Hromova L.M., *Nauchnaja zhizn'*, 2021, T. 16, Vyp. 7, pp. 820–827. (In Russ.)
14. Hachidogov A.V., Kagermazov A.M., Bizhoev M.V., *Nauchnaja zhizn'*, 2019, T. 14, Vyp. 9, pp. 1417–1423. (In Russ.)
15. Boyko V.N., Field assessment of accessions from the maize collection for resistance to boil smut, *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2019, Vol. 180 (3), pp. 91–95.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-56-67
УДК 631.559:631.152:519.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕГЕТАТИВНОГО ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

[1]**С.А. Родимцев**, доктор технических наук, доцент
[2]**Н.Е. Павловская**, доктор биологических наук, профессор
[2]**С.В. Вершинин**, доцент
[2]**И.В. Горькова**, доктор технических наук, доцент
[2]**И.Н. Гагарина**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

[1]*Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орел, Россия*
[2]*Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, Орел, Россия*

E-mail: rodimcew@yandex.ru

Ключевые слова: урожайность, вегетативный индекс, временные ряды NDVI, зерновые культуры, фазы вегетации, БПЛА, математическая обработка данных, прогностическая модель.

Реферат. Одна из ключевых проблем раннего прогнозирования урожайности сельхозкультур с использованием спутникового мониторинга заключается в отсутствии единых подходов к определению фенофазы достоверного показателя вегетативного индекса. Рядом работ отечественных и зарубежных исследователей формулируются различные оценки корреляционной зависимости между показателями NDVI и урожайностью. Цель настоящего исследования состояла в получении прогностических моделей урожайности пшеницы озимой и ячменя ярового с использованием показателей наиболее адекватного для формализации задач прогноза участка тренда вегетативного индекса NDVI посевов в пределах опытного хозяйства Орловского ГАУ. На основе анализа динамики изменения вегетационного индекса NDVI, по данным многолетних исследований, определены максимальные среднемноголетние значения вегетативного индекса, составляющие 0,72 для озимой пшеницы и 0,56 для ярового ячменя. Максимальные значения NDVI сезона 2021 г. для этих культур – 0,78 и 0,58. Установлено, что пики значений NDVI соответствуют фазе колошения культур при возможном варьировании от 1 до 13 дней. Коэффициенты корреляции между максимальными значениями NDVI и продуктивностью культур составили 0,79 и 0,75 для пшеницы озимой и ярового ячменя соответственно, что дает основание утверждать о возможности достоверного прогноза урожайности культур на основе данных их пиковых значений NDVI. Получены прогностические модели урожайности культур на основе полиномиальных (второй степени) функций. Достоверный прогноз урожайности расширяет область возможностей обоснованных оценок и реализации планов, направленных на поступательное развитие отдельного хозяйства, и способствует повышению продовольственной безопасности России в целом.

THE USE OF THE VEGETATIVE INDEX NDVI TO PREDICT GRAIN CROP YIELDS

[1]**S.A. Rodimtsev,** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
[2]**N.E. Pavlovskaya,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[2]**S.V. Vershinin,** Associate Professor
[2]**I.V. Gorkova,** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
[2]**I.N. Gagarina,** Ph.D. in Agricultural Science, Associate Professor

[1]*Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia*
[2]*Orel State Agrarian University named after N.N. Parakhin, Orel*

E-mail: rodimcew@yandex.ru

Keywords: yield, vegetative index, NDVI time series, grain crops, vegetation phases, UAV, mathematical data treatment, predictive model.

Abstract. The need for unified approaches to determining the phenological phase of a reliable indicator of the vegetative index is one of the critical problems of early forecasting of crop yields using satellite monitoring. Several works of domestic and foreign researchers formulate different estimates of the correlation relationship between NDVI and yield. This study aimed to obtain predictive models for the product of winter wheat and spring barley using indicators that are adequate for formalizing the tasks of predicting the trend section of the vegetative index NDVI of crops within the experimental farm of the Oryol State Agrarian University. Based on the analysis of the dynamics of the vegetation index NDVI, based on multi-year studies, the maximum mean annual values of the vegetation index, 0.72 for winter wheat and 0.56 for spring barley, were determined.The maximum NDVI values of the 2021 season for these crops are 0.78 and 0.58. It was found that the peaks of NDVI values correspond to the earing phase of crops with possible variation from 1 to 13 days. The correlation coefficients between the maximum values of NDVI and productivity of crops were 0.79 and 0.75 for winter wheat and spring barley, respectively, which suggests the possibility of reliable prediction of crop yield based on the data of their peak NDVI values. The authors obtained predictive crop yield models based on polynomial (second-degree) functions. A reliable yield forecast expands the scope of reasonable estimates and the implementation of plans aimed at the progressive development of the individual farm. Furthermore, it contributes to the food security of Russia as a whole.

В применение к задачам прогнозирования, многими исследователями отмечается высокая корреляция показателей урожайности культуры и значений ее вегетативного индекса [1–5]. Наиболее популярным и часто применяемым является нормализованный относительный вегетационный индекс NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index) [6].

Так, анализом сезонной динамики NDVI выявлены более высокие значения данного показателя в летние месяцы [10, 11]. По мнению авторов работы, это объясняется увеличением биомассы и количества хлорофилла в зеленых листьях растений [10]. При этом понижается яркость растений в видимой части спектра и возрастает в инфракрасной [12], что увеличивает расчётное значение NDVI. В противоположность последнему, за счет разрушения хлорофилла в конце вегетационного периода (осенние месяцы) отражательная способность в красной зоне спектра возрастает, а в ближней инфракрасной – уменьшается. Соответственно снижается значение вегетативного индекса.

Высокая степень взаимосвязи вегетативного индекса и количества накопленного хлорофилла в вегетирующих растениях подтверждается результатами ряда исследований [1, 13, 14]. Кроме того, отмечается значение индекса NDVI как меры фотосинтезирующей биомассы [13].

Для использования данного показателя в качестве оценки ожидаемого урожая важен выбор той фазы вегетации, NDVI которой имеет наиболее высокую степень корреляции с численным значением урожайности культуры. Следует отметить, что некоторыми авторами отмечается наличие корреляционной зависимости между интегрированными максимальными значениями NDVI и их урожайностью [2–5, 15].

Так, на основе изучения корреляционной связи между вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы всех вариантов и урожайностью культуры в различные фазы роста и развития продемонстрирована наиболее тесная взаимосвязь в начале фазы колошения. Коэффициент корреляции здесь составил 0,62 в среднем по всем годам исследований [5].

А.А. Коротков, А.Ю. Астапов [15] утверждают, что наиболее точный прогноз урожайности посевов по индексу NDVI следует ожидать в момент прохождения пика значения NDVI. Отмечается, что для посевов озимой пшеницы при возделывании по интенсивной технологии наибольшее значение NDVI достигает 0,80–0,88. При этом пик NDVI приходится на момент начала фазы колошения [16].

В наших исследованиях ставилась цель получить прогностические модели урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя на основе использования показателей наиболее адекватного для формализации задач прогноза участка тренда вегетативного индекса NDVI посевов в пределах опытного хозяйства Орловского ГАУ.

Задачами исследований являлись:

– получение, обработка и анализ ретроспективы данных NDVI по яровому ячменю и озимой пшенице;

– определение фенологических фаз развития культур, соответствующих пиковым (максимальным) значениям NDVI;

– численная оценка многолетнего корреляционного отношения максимальных значений NDVI и урожайности культур и вывод о возможности использования вегетативного индекса NDVI как показателя урожайности культур;

– выбор уравнения регрессии, отражающего зависимость урожайности культуры от значения NDVI.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Базой для проведения исследований стали поля НОПЦ «Интеграция» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Статистика NDVI-снимков за 5-летнюю ретроспективу (2016–2020 гг.) обеспечивалась спутниковыми данными, полученными с использованием геопортала «КосмосАгро». Применялись свободные от облачности (не более 10%) разновременные архивные данные ДЗЗ со съемочной системы Sentinel-2. Для аналитической обработки применялась утилита ScanEx Geomixer.

Для получения текущих данных NDVI сезона вегетации культур 2021 г. был задействован БПЛА «Агрофлай Квадро 4/17» с мультиспектральной камерой для построения вегетативных индексов.

Уравнение расчета вегетативного индекса NDVI подразумевает использование значений двух наиболее стабильных, не зависящих от прочих факторов участков кривой спектральной отражательной способности растений: видимой красной зоны спектра (0,62–0,75 мкм) и ближней инфракрасной зоны (0,75–1,3 мкм). При этом, если участок 0,62–0,75 мкм – зона максимального поглощения солнечной радиации хлорофиллом, то на участке 0,75–1,3 мкм происходит наибольшее отражение солнечной энергии клеточной структурой листовой поверхности растений [7–9]. Именно отношение этих двух показателей позволяет не только идентифицировать те или иные объекты по принадлежности их к растительному покрову, но и характеризовать стадию вегетативного процесса.

Соответственно, нормализованный разностный вегетационный индекс рассчитывали по формуле [6]:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR} - \mathrm{RED}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{RED}}, \tag{1}$$

где NIR, RED – отражение растительного покрова соответственно в ближней инфракрасной и красной областях электромагнитного спектра.

Обработку результатов биометрических расчетов по показателю «урожайность, ц/га», а также значениям NDVI проводили в программной среде Microsoft Excel. При определении среднегодовых и среднемноголетних показателей урожайности и вегетативного индекса, оценке степени корреляционной зависимости (коэффициента корреляции *k*), рассчитывались среднеарифметические и среднеквадратические отклонения, коэффициенты вариации и дисперсии по выборкам, выполнялся поиск и исключение артефактов, изучались параметры распределения вариационных рядов, погрешность расчетных значений не превышала 5%.

Анализ наступления фенофаз проводили визуальным методом и путем подсчета на учитываемой площади в пределах учетной рамки размером 0,25 м^2 (50×50 см) и разбор проб отобранных растений.

Повторность отбора образцов при оценке урожайности составляла не менее 3.

Величина достоверности аппроксимации определялась вычислением коэффициента детерминации по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_y^2}, \tag{2}$$

где σ^2, σ_y^2 – дисперсии ошибки модели и случайной величины.

Кроме того, производилась оценка точности модели с использованием показателя средней абсолютной ошибки MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Ошибка прогнозирования определялась сравнением фактического показателя урожайности $y_{i\text{факт}}$, с ее теоретическими значениями $y_{i\text{теор}}$, найденными для каждого вида функции, по формуле

$$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|y_{i\text{теор}} - yi_{\text{факт}}|}{yi_{\text{факт}}} \cdot 100, \tag{3}$$

где n – количество сравниваемых пар значений:

$y_{i\text{теор}}; yi_{\text{факт}}$ – значения показателей критерия оптимизации математической модели и фактические показатели признака, полученные в ходе эксперимента, соответственно.

Для определения метеорологических и почвенно-климатических параметров в период полевого сезона 2021 г., использовалась автоматическая метеостанция «Сокол-М» с выносным почвенным модулем БМВД.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сезонная динамика изменения индекса NDVI, по многолетним данным, иллюстрируется табл. 1. Как видно, характер изменения значений временных рядов культур аналогичен и более соответствует закону нормального распределения. Независимо от культуры, меньшие значения вегетативного индекса соответствуют зимним месяцам. В период с мая по июнь наблюдаются наиболее высокие значения NDVI. Максимальные среднемноголетние значения вегетативного индекса приходятся на июнь и составляют 0,72 для озимой пшеницы и 0,56 для ярового ячменя.

Таблица 1

Динамика изменения вегетационного индекса NDVI по данным многолетних исследований
Dynamics of changes in the vegetation index NDVI according to long-term studies

Год наблюдений	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Пшеница озимая												
2016	-	-0,02	0,30	0,26	0,55	0,71	0,44	0,39	0,36	0,28	0,26	-
2017	-0,03	-0,03	0,19	0,32	0,43	0,74	0,73	0,54	0,55	0,46	0,48	0,20
2018	-	-0,03	0,35	0,16	0,53	0,70	0,36	0,40	0,39	0,29	0,17	-
2019	-0,04	-	0,26	0,29	0,58	0,65	0,39	0,26	0,23	0,20	0,34	-
2020	-	-	0,42	0,42	0,76	0,79	0,39	0,32	0,38	0,35	0,19	0,21
2021	-	-	0,28	0,28	0,54	0,73	0,38	0,27	0,29	-	-	-
Среднемноголетние значения	-0,04	-0,03	0,33	0,29	0,57	0,72	0,45	0,36	0,37	0,27	0,28	0,21
Ячмень яровой												
2016	-0,04	-	0,18	0,19	0,36	0,55	0,53	0,42	0,32	0,22	0,2	-
2017	-0,04	-0,03	0,30	0,33	0,50	0,56	0,80	0,54	0,49	0,48	0,23	0,03
2018	-	-0,04	-	0,20	0,27	0,48	0,47	0,39	0,33	0,26	0,19	-
2019	-0,03	-	0,14	0,14	0,37	0,56	0,52	0,32	0,19	0,19	0,30	-
2020	-0,01	-	0,17	0,19	0,27	0,54	0,41	0,37	0,33	0,21	0,13	0,13
2021	-	-	-	0,15	0,27	0,69	0,49	0,30	-	-	-	-
Среднемноголетние значения	-0,04	-0,03	0,19	0,20	0,34	0,56	0,54	0,39	0,33	0,24	0,22	0,11

Табл. 2 и 3 иллюстрируют взаимосвязь наступления фенофаз культур, значений индекса NDVI, погодных и почвенно-климатических условий.

Исследованиями в полевых условиях сезона 2021 г. установлены следующие сроки и условия наступления типичных фаз развития посевов ярового ячменя/озимой пшеницы:

– фаза «3-й лист–кущение»: сумма осадков за период – 14/35 мм; средняя температура воздуха – 20,2/10,5 ºС; средний уровень ультрафиолета – 16,7/10,1 Вт/м^2;

– фаза «выход в трубку» (продолжительность – 13/31 дней): сумма осадков за период – 0/0,45 мм; средняя температура воздуха – 31,9/22,3 ºС; средний уровень ультрафиолета – 27,0/25,2 Вт/м^2;

– фаза «колошение» (продолжительность – 9/11 дней): сумма осадков за период – 3,9/0 мм; средняя температура воздуха – 26,6/25,4 ºС; средний уровень ультрафиолета – 19,2/28,9 Вт/м^2.

– фаза «цветение» (продолжительность – 15/11 дней): сумма осадков за период – 0,5/2,1 мм; средняя температура воздуха – 35,1/28,7 ºС; средний уровень ультрафиолета – 28,2/26,8 Вт/м^2;

– фаза «созревание» (продолжительность – 23/11 дней): сумма осадков за период – 0,6/5,5 мм; средняя температура воздуха – 27,6/31,3 ºС; средний уровень ультрафиолета – 13,7/28,8 Вт/м^2;

В условиях Орловской области снабжение яровых зерновых влагой считается оптимальным, когда в период «посев – всходы» выпадает 30–45 мм осадков. Результаты полевых наблюдений показали, что в период с 7 по 23 мая выпало около 25 мм осадков. Это повлекло некоторое увеличение срока всходов (11–12 дней), тогда как по многолетним данным всходы появляются на 8–9-й день.

В период «всходы – цветение» выпало 95 мм осадков, что является достаточным водоснабжением для обеспечения нормального развития посевов яровых и озимых.

В фазы развития «цветение–созревание» зерновых метеостанцией «Сокол-М» выпадение осадков зафиксировано на уровне всего 0,6 и 5,5 мм для ярового ячменя и озимой пшеницы соответственно. Тем не менее показатели запасов почвенной влаги в корнеобитаемом слое составили 67–73 мм, что является оптимальным для обеспечения формирования урожая зерновых культур.

Температурный режим и солнечная активность сезона 2021 г. в целом мало отличались от среднемноголетних показателей по Орловской области и не оказывали аномального влияния на вегетативный процесс.

В табл. 4 и 5 продемонстрированы корреляционные зависимости показателей NDVI, метеорологических и почвенно-климатических параметров вегетативного сезона 2021 г. Из представленных данных следует, что наибольшее влияние на динамику изменения вегетативного индекса оказывают уровень ультрафиолетового излучения, суммарное количество осадков, а также влажность почвы.

Таблица 2

Численные значения индекса NDVI и почвенно-климатических показателей по периодам наступления фенофаз при формировании урожая ярового ячменя сезона 2021 г.

Numerical values of the NDVI index and soil-climatic indicators by the periods of the onset of the phenological phase during the formation of the spring barley crop of the 2021 season

Показатели	Дата														
	01.06	04.06	07.06	10.06	16.06	21.06	23.06	28.06	02.07	09.07	14.07	17.07	30.07	10.08	11.08
Фенофаза развития культуры	Фаза 3-го листа				Выход в трубку			Колошение		Цветение			Созревание		
NDVI	0,47	0,51	0,55	0,55	0,74	0,72	0,69	0,68	0,67	0,61	0,55	0,49	0,36	0,26	0,22
Температура почвы, °C	19	21	22	19	29	36	22	22	25	29	29	27	25	27	28
Влажность почвы, %	35	35	29	50	42	31	53	54	57	55	53	55	59	62	62
Температура воздуха,°C	14,10	21,23	22,00	23,56	29,60	30,85	35,20	22,30	30,80	33,70	35,70	35,80	28,80	29,00	25,00
Относительная влажность, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	41	100	100	100	100
Количество осадков, мм	0	0	0	0	0	0	0	1,70	2,20	0,50	0	0	0,40	0,15	0,15
Мощность ультрафиолетового излучения, Вт/м^2	5,99	22,60	8,25	30,05	30,80	23,90	26,30	6,70	31,80	29,80	27,40	27,40	25,50	5,40	10,20
Влажность листа, %	0	1	0	3	0	1	1	5	4	1	2	3	4	2	1

Таблица 3

Численные значения индекса NDVI и почвенно-климатических показателей по периодам наступления фенофаз при формировании урожая озимой пшеницы сезона 2021 г.

Numerical values of the NDVI index and soil-climatic indicators, by the periods of the onset of phenological phases, during the formation of the winter wheat crop of the 2021 season.

Показатели	Дата														
	04.05	10.05	17.05	25.05	01.06	06.06	11.06	17.06	20.06	23.06	28.06	02.07	05.07	09.07	12.07
Фенофаза развития культуры	Кущение	Выход в трубку					Колошение		Цветение			Созревание			
NDVI	0,45	0,58	0,71	0,73	0,75	0,76	0,76	0,80	0,76	0,73	0,66	0,63	0,60	0,49	0,38
Температура почвы, °C	16	19	17	19	19	31	21	29	28	27	22	24	24	25	24
Влажность почвы, %	40	32	35	40	35	48	50	42	55	48	54	58	57	53	45
Температура воздуха, °C	9,50	16,80	29,80	24,10	20,40	20,30	23,60	27,30	32,10	35,10	22,30	31,40	27,20	33,80	32,90
Относительная влажность, %	100	49,7	40	49	100	100	100	83	100	100	100	100	100	87	97
Количество осадков, мм	0,33	0,25	0,20	0	0	0	0	0	0,10	0,30	1,70	1,50	2,10	1,80	0,10
Мощность ультрафиолетового излучения, Вт/м^2	9,00	18,63	22,63	27,10	29,20	28,40	30,20	27,60	27,20	26,30	27,20	27,20	31,00	29,50	27,50
Влажность листа, %	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0

Таблица 4

Корреляционная матрица влияющих условий вегетации ярового ячменя сезона 2021 г.
Correlation matrix of influencing growing conditions of spring barley for the 2021 season

Показатели	Температура почвы	Влажность почвы	Температура воздуха	Относительная влажность	Количество осадков	Уровень ультрафиолета	Влажность листа
NDVI	0,1	-0,42	0,22	-0,06	0,27	0,48	-0,02
Температура почвы	1,00	0,08	0,61	-0,28	-0,09	0,27	-0,13
Влажность почвы	0,08	1,00	0,46	-0,15	0,35	0,11	0,59
Температура воздуха	0,61	0,46	1,00	-0,42	0	0,64	0,17
Относительная влажность	-0,28	-0,15	-0,42	1	0,11	-0,25	0,03
Количество осадков	-0,09	0,35	0	0,11	1,00	0,03	0,68
Уровень ультрафиолета	0,27	0,11	0,64	-0,25	0,03	1,00	0,13
Влажность листа	-0,13	0,59	0,17	0,03	0,68	0,13	1,00

Таблица 5

Корреляционная матрица влияющих условий вегетации озимой пшеницы сезона 2021 г.
Correlation matrix of influencing growing conditions for winter wheat season 2021

Показатели	Температура почвы	Влажность почвы	Температура воздуха	Относительная влажность	Количество осадков	Уровень ультрафиолета	Влажность листа
NDVI	0,29	-0,03	0,07	-0,08	-0,35	0,40	-0,06
Температура почвы	1,00	0,55	0,50	0,46	0,06	0,55	-0,15
Влажность почвы	0,55	1,00	0,47	0,65	0,65	0,5	0,14
Температура воздуха	0,50	0,47	1,00	0,07	0,22	0,62	-0,27
Относительная влажность	0,46	0,65	0,07	1,00	0,25	0,25	0,09
Количество осадков	0,06	0,65	0,22	0,25	1,00	0,22	0,38
Уровень ультрафиолета	0,55	0,5	0,62	0,25	0,22	1,00	-0,09
Влажность листа	-0,15	0,14	-0,27	0,09	0,38	-0,09	1,00

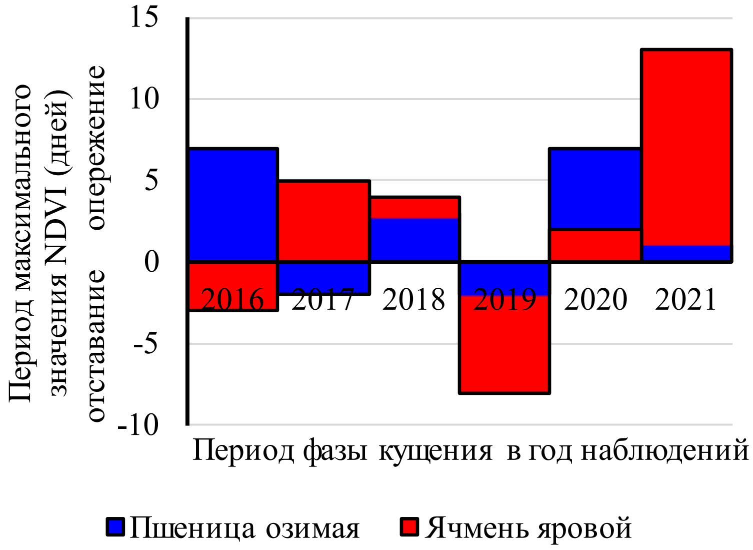


Рис. 1. Отклонения срока пиковых значений NDVI от наступления фазы начала колошения культур по годам наблюдений

Fig.1. Deviations of the period of peak NDVI values from the onset of the phase of the beginning of heading of crops by years of observation.

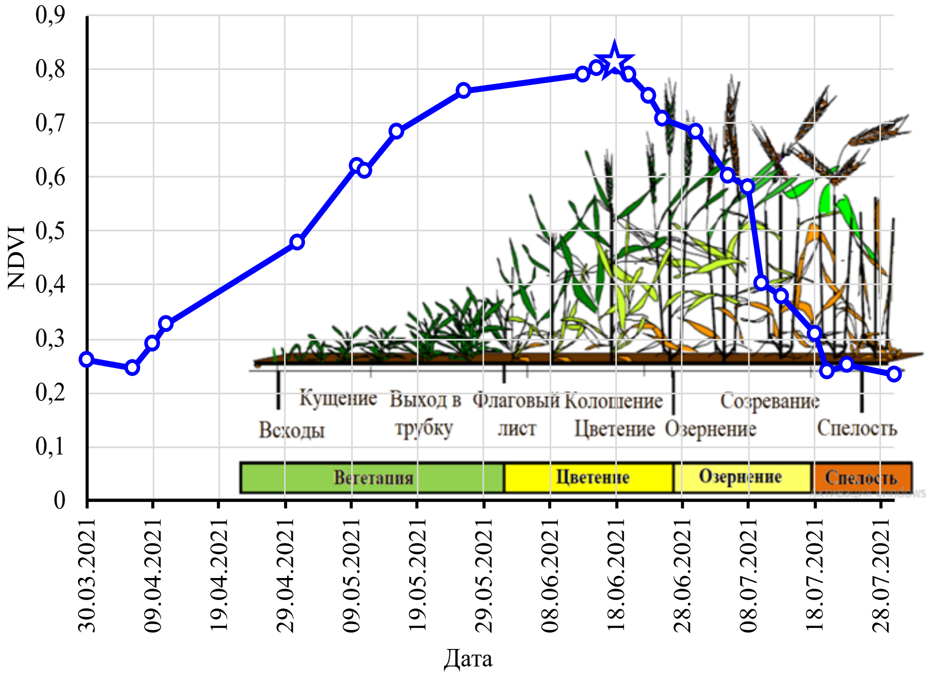


Рис. 2. Сезонная динамика вегетационного индекса NDVI по фазам развития озимой пшеницы (2021 г.) (использованы материалы [11])

Fig. 2. Seasonal dynamics of the vegetation index NDVI by phases of development of winter wheat (2021) (using materials [11])

Тренд изменения значений вегетативного индекса по фазам развития растений приведен на примере озимой пшеницы урожая 2021 г. (рис. 1). Аналогично результатам ранее выполненных исследований, значения NDVI возрастают от ранних сроков вегетации культуры к фазам колошения и цветения. Максимальное значение NDVI, равное 0,78, отмечено 18 июня, что соответствует фазе начала колошения, зафиксированной 17 июня. Данный характер динамики изменения вегетативного индекса по отношению к зафиксированным в исследованиях срокам фенофаз растений можно считать типовым для обеих культур.

Учитывая особую важность задачи оценки соответствия фазам вегетации пиковых значений NDVI, выполнен анализ их расхождений в течение всего срока наблюдений. Гистограмма, приведенная на рис. 2, дает представление о средних временных промежутках между отмеченными максимальными значениями вегетативного индекса и наступлением фазы колошения озимой пшеницы и ярового ячменя в ретроспективе 2016–2021 гг.

Как видно из рисунка, расхождения изучаемых характеристик варьируют в пределах от 1 до 13 дней. В среднем этот показатель равен 4 и 6 дням по озимой пшенице и яровому ячменю соответственно. Какой-либо закономерности отклонений в сторону опережения или отставания обнаружено не было.

Здесь все же следует отметить, что несмотря на стремление получить наиболее достоверный уровень соответствия значений вегетативного индекса наступлению сроков отдельных фенофаз, погрешность данного результата неизбежна. Она обусловлена, с одной стороны, субъективной оценкой сроков наступления очередной фазы развития растений, с другой – метеоусловиями и временным разрешением съемки, предоставляемым источником данных дистанционного зондирования Земли.

В табл. 6 сведены максимальные значения NDVI по каждому году наблюдений и соответствующие им урожайные данные.

Отмечается схожая отзывчивость на благоприятные внешние факторы одной и другой культуры. Так, максимальная урожайность озимой пшеницы по всем опытным участкам зафиксирована в 2017 г. и составила в среднем 45,58 ц/га. При этом среднее пиковое значение NDVI равнялось 0,85. В этот же период отмечена максимальная урожайность (23,21 ц/га) ярового ячменя, при максимальном значении вегетативного индекса 0,87.

Худшие условия перезимовки озимых привели к снижению урожайности пшеницы в 2019 г. (24,0–26,7 ц/га) при рекордно низких показателях NDVI (0,66–0,77) за весь период наблюдений. Данный фактор не повлиял на формирование урожая ярового ячменя. Однако предыдущий 2018 г., не являлся урожайным уже для обеих сравниваемых культур.

Таблица 6

Численные значения урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя и максимумов индекса NDVI с расчетом коэффициента корреляции по данным отдельных производственных участков в 2016–2021 гг.
Numerical values of the yield of winter wheat and spring barley and NDVI index maxima with the calculation of the correlation coefficient according to the data of individual production sites in 2016–2021

Год наблюдений	Номер участка	NDVI	Урожайность, ц/га
Пшеница озимая			
2016	25	0,79	27,46
2017	23	0,82	45,50
	26	0,89	46,32
	31	0,85	44,91
2018	36	0,73	30,76
2019	22	0,66	24,00
	33	0,77	26,71
2020	23	0,81	40,47
	24	0,80	31,53
	26	0,80	44,97
2021	38	0,78	32,10
		k = 0,79	
Ячмень яровой			
2016	27	0,84	21,22
	30	0,81	20,50
2017	54	0,87	23,21
2018	37	0,54	19,73
	38	0,50	14,02
	39	0,61	15,20
2019	27	0,57	18,16
	34	0,57	18,01
2020	13	0,63	14,26
2021	29	0,74	19,09
		k = 0,75	

По результатам корреляционного анализа обнаружена высокая степень взаимосвязи значений урожайности и максимальных значений NDVI. Коэффициенты корреляции по данным признакам составили 0,79 и 0,75 для пшеницы озимой и ярового ячменя соответственно. Последним, с достаточно высокой степенью надежности, подтверждается возможность прогноза урожайности культур на основе данных их пиковых значений NDVI, полученных в период начала фазы колошения.

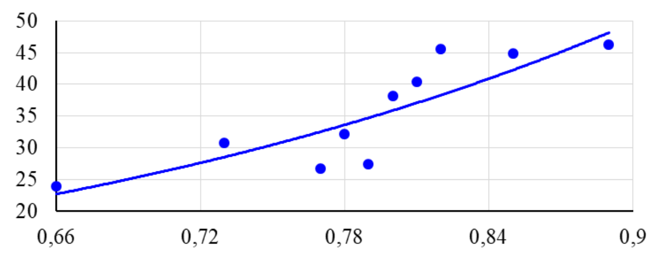
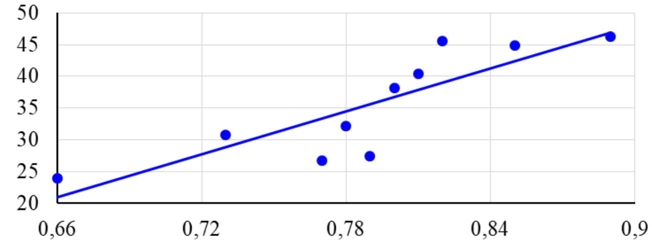
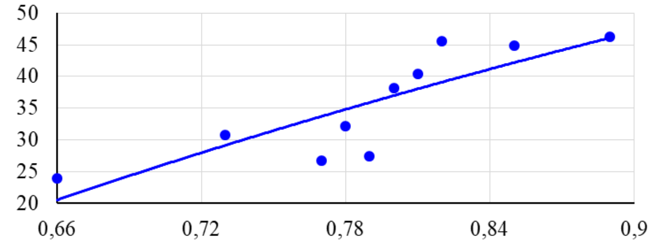
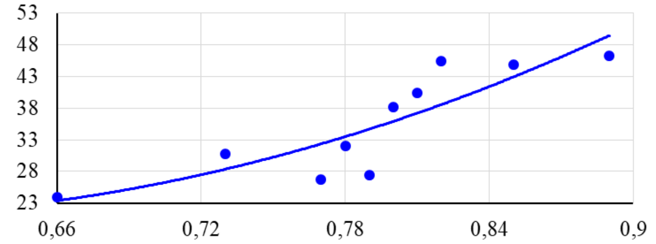
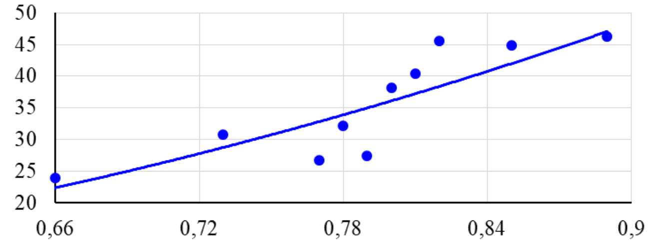
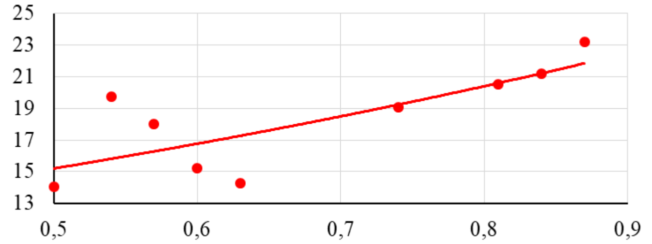
Используя данные табл. 6, получены наиболее распространенные типовые уравнения регрессии и соответствующие им графики зависимостей урожайных данных от максимальных значений NDVI культур (табл. 7).

Как видно, выражаемая коэффициентом детерминации дисперсия случайной ошибки имеет меньшие значения (наибольший коэффициент R^2) для уравнений, описываемых полиномиальными функциями. Те же модели описывают фактические ряды с меньшими средними абсолютными ошибками.

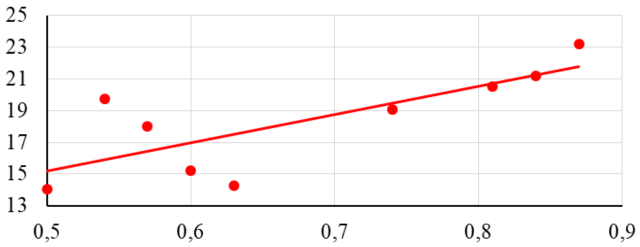
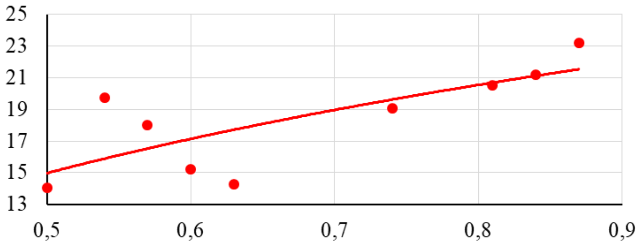
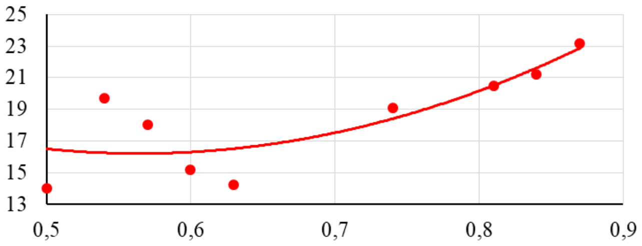
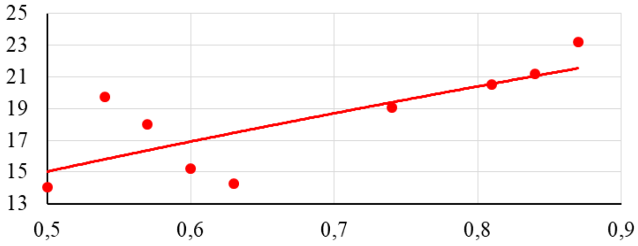
Исходя из результатов анализа достоверности сравниваемых математических моделей, искомые прогностические зависимости для изучаемых культур в условиях НОПЦ «Интеграция» Орловского ГАУ описываются следующими уравнениями:

Таблица 7

Результаты оценки параметров регрессионных моделей
Results of estimation of parameters of regression models

Вид функции и уравнение регрессии	График регрессии	Коэффициент детерминации, R^2	Средняя абсолютная ошибка модели (MAPE)
	Пшеница озимая		
1	2	3	4
Экспоненциальная $y=2{,}62e^{3{,}27x}$		0,72	10,60
Линейная $y=-53{,}49+112{,}82x$		0,71	11,30
Логарифмическая $y=56{,}07+85{,}59\ln(x)$		0,69	11,50
Полиномиальная (второй степени) $y=104{,}09-297{,}13x+264{,}91x^2$		0,74	10,30
Степенная $y=62{,}9x^{2{,}49}$		0,71	10,70
	Ячмень яровой		
Экспоненциальная $y=9{,}31e^{0{,}98x}$		0,56	8,50

Окончание табл. 7

1	2	3	4
Линейная $y=6{,}2+17{,}93x$		0,59	8,90
Логарифмическая $y=23{,}19+11{,}85\ln(x)$		0,56	9,20
Полиномиальная (второй степени) $y=38{,}9-80{,}39x+71{,}22x^2$		0,66	8,40
Степенная $y=23{,}58x^{0,65}$		0,54	8,90

– для пшеницы озимой:

$$y=104{,}09-297{,}13x+264{,}91x^2\ ; \qquad (4)$$

– для ячменя ярового:

$$y=38{,}9-80{,}39x+71{,}22x^2\ , \qquad (5)$$

где x – максимальное значение NDVI;

y – ожидаемая урожайность ц/га.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее точный прогноз урожайности посевов по индексу NDVI следует ожидать в момент прохождения пика значения NDVI, в момент начала фазы колошения.

2. Корреляционным анализом установлено, что наибольшее влияние на динамику изменения вегетативного индекса NDVI оказывают такие метеорологические параметры, как уровень ультрафиолетового излучения (0,4–0,48), суммарное количество осадков (0,27–0,35), а также влажность почвы (0,42).

3. Максимальные среднемноголетние значения вегетативного индекса составляют 0,72 и 0,56 для озимой пшеницы и ярового ячменя соответственно.

4. Изучением сезонной динамики вегетационного индекса NDVI по фазам развития культур отмечены пики значений NDVI в фазу колошения культур. Отклонения срока пиковых значений NDVI от наступления фазы начала колошения культур варьируют в пределах от 1 до 13 дней.

5. Неизбежная погрешность определения соответствия значений вегетативного индекса культуры наступлению сроков отдельных фенофаз обусловлена субъективной оценкой сроков наступления очередной фазы развития растений, а также метеоусловиями и временным разрешением съемки.

6. Коэффициенты корреляции между максимальными сезонными значениями индексов NDVI и продуктивностью составили 0,79 и 0,75 для пшеницы озимой и ярового ячменя соответственно. Этим подтверждается возможность достоверного прогноза урожай-

ности культур на основе данных их пиковых значений NDVI.

7. Получены прогностические модели урожайности культур на основе полиномиальных (второй степени) функций. Коэффициенты детерминации и средние абсолютные ошибки моделей (MAPE) составляют 0,74 и 10,30; 0,60 и 8,40 для озимой пшеницы и ярового ячменя соответственно.

Работа выполнена в рамках тематического плана-задания на выполнение ФГБОУ ВО Орловским ГАУ НИР по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2021 г. (регистрационный номер НИОКТР № 121091400023-3 от 14.09.2021.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Комаров А.А., Комаров А.А.* Оценка состояния травостоя с помощью вегетационного индекса NDVI // Известия СПбГАУ. – 2018. – №2 (51). – С. 124–129.
2. *Степанов А.С., Асеева Т.А., Дубровин К.Н.* Влияние климатических характеристик и значений вегетационного индекса NDVI на урожайность сои (на примере районов Приморского края) // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 1 (192). – С. 10–19.
3. *Письменная Е.В., Азарова М.Ю.* Прогноз урожайности озимой пшеницы в засушливой зоне Ставрополья на основе данных NDVI // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, №4. – С. 20–25.
4. *Письменная Е.В., Азарова М.Ю.* Зависимость продуктивности озимой пшеницы от показателей NDVI в засушливой зоне Ставропольского края // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2021. – Вып. 1, № 19. – С. 39–45.
5. *Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., Ерошенко Ф.В.* Связь урожайности посевов озимой пшеницы с NDVI для отдельных полей // Аграрный вестник Урала. – 2018. – № 6 (173). – С. 64–68.
6. *Huete A., Justice C., Liu H.* Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. Remote Sens Environ. – 1994. –Vol. 49. – P. 224–234.
7. *Tuddenham W.G., Le Marshall J.F.* The interpretation of NDVI data and the potential use of a differential technique for monitoring time sequential changes in vegetation cover // In Proceedings of the 2nd Australian Conference on Agricultural Meteorology. – Brisbane, Australia, 1996. – P. 57–61.
8. *Cridland S., Burnside D., Smith R.* The NDVI – use in rangeland management // In Proceeding of the 5thInternational Rangelands Congress. – Salt Lake City, Utah. – 1995. – P. 105–106.
9. *Kogan F.N.* Vegetation index for areal analysis of crop conditions // Preprints, Proc. 18th conf. of Agricultural and Forest Meteorology, West Lafayette, IN, Amer. Meteor. Soc. – 1987. – P. 103–107.
10. *Анализ* сезонной и многолетней динамики вегетационного индекса NDVI на территории государственного природного заповедника «Нургуш» / Т.А. Адамович, Г.Я. Кантор., Т.Я Ашихмина, В.П. Савиных // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – №1. – С. 18–24.
11. *Methodology* for dense high-resolution EO time series, gap Europian Commission. Horizon 2020. / G. D.'Urso, C. DeMichele, F. Vuolo, J. Garrido // Europian Union funding for Research & Innovation. – 2020.
12. *Vegetation* biomass, leaf area index, and NDVI patterns and relationships along two latitudinal transects in arctic tundra / H.E. Epstein, D.A. Walker, M.K. Raynolds [et al.]. // Abstract GC31A–0697, presented at AGU Fall Meeting. – San Francisco, CA, 2009. – Vol. 90. – P. GC31A–0697.
13. *Многолетняя* динамика NDVI-растительности различных классов тундры в зависимости от температуры и осадков / А.Г. Дегерменджи, Г.С. Высоцкая, Л.А. Сомова, Т.И. Письменная, А.П. Шевырногов // Доклады Российской академии наук. Науки о земле. – 2020. – Т. 493, № 2. – С. 103–106.
14. *Волкова Л.В., Шешегова Т.К.* Урожайность и содержание фотосинтетических пигментов в листьях яровой пшеницы при поражении септориозом // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 3 (52). – С. 17–25.

15. *Коротков А.А., Астапов А.Ю.* Вегетационный индекс NDVI для мониторинга растительности // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, № 3. – С. 131–140.
16. *Пришутов К.А., Астапов А.Ю., Рязанова Ю.А.* Применение БПЛА для оценки качества растительности // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Мичуринск: Мичуринский ГАУ, 2018. – С. 212–217.

REFERENCES

1. Komarov A.A., Komarov A.A., *Izvestija SPbGAU*, 2018, No. 2 (51), pp. 124–129. (In Russ.)
2. Stepanov A.S., Aseeva T.A., Dubrovin K.N., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2020, No. 01 (192), pp. 10–19. (In Russ.)
3. Pis'mennaja E.V., Azarova M.Ju., *Nauka i obrazovanie*, 2020, T. 3, No. 4, pp. 20–25. (In Russ.)
4. Pis'mennaja E.V., Azarova M.Ju., *Agropromyshlennye tehnologii Central'noj Rossii,* 2021, T. 1, No. 19, pp. 39–45. (In Russ.)
5. Storchak I.G., Shestakova E.O., Eroshenko F.V., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2018, No. 6 (173), pp. 64–68. (In Russ.)
6. Huete A., Justice C., Liu H., Vegetation and soil lines in visible spectral space: A concept and technique for remote estimation of vegetation fraction, *Remote Sens Environ*, 1994, Vol. 49, pp. 224–234.
7. Tuddenham W.G., Le Marshall J.F., The interpretation of NDVI data and the potential use of a technique for monitoring time sequential changes in vegetation cover, *In Proceedings of the 2nd Australian Conference on Agricultural Meteorology*, Brisbane, Australia, 1996, pp. 57–61.
8. Cridland S., Burnside D., Smith R., The NDVI – use in rangeland management, *In Proceeding of the 5thInternational Rangelands Congress*, Salt Lake City, Utah, 1995, pp. 105–106.
9. Kogan F.N., Vegetation index for areal analysis of crop conditions, *Preprints, Proc. 18th conf. of Agricultural and Forest Meteorology, West Lafayette, IN, Amer. Meteor. Soc.*, 1987, pp. 103–107.
10. Adamovich T.A., Kantor G.Ja., Ashihmina T.Ja., Savinyh V.P., *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*, 2018, No. 1, pp. 18–24.
11. D'Urso G., DeMichele C., Vuolo F., Garrido J., Methodology for dense high-resolution EO time series, gap *Europian Commission. Horizon 2020. Europian Union funding for Research & Innovation*, 2020.
12. Epstein H.E., Walker D.A., Raynolds M.K., Kelley A.M., Jia G.J., Ping C.L., Michaelson G.J., Vegetation biomass, leaf area index, and NDVI patterns and relationships along two latitudinal transects in arctic tundra, *Abstract GC31A–0697, presented at AGU Fall Meeting, San Francisco, CA*., 2009, Vol. 90, pp. GC31A–0697.
13. Degermendzhi A.G., Vysockaja G.S., Somova L.A., Pis'mennaja T.I., Shevyrnogov A.P., *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o zemle*, 2020, T. 493, No. 2, pp. 103–106. (In Russ.)
14. Volkova L.V., Sheshegova T.K., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2019, No. 3 (52), pp. 17–25. (In Russ.)
15. Korotkov A.A., Astapov A.Ju., *Nauka i obrazovanie*, 2020, T. 3, No. 3, pp. 131–140. (In Russ.)
16. Prishutov K.A., Astapov A.Ju., Rjazanova Ju.A., *Inzhenernoe obespechenie innovacionnyh tehnologij v APK* (Engineering support of innovative technologies in the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, Michurinsk: Michurinskij GAU, 2018, pp. 212–217. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-68-76
УДК 633.16.321.631.526.32:631.529

НОВЫЙ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ОМСКИЙ 103

О.А. Юсова, кандидат сельскохозяйственных наук
П.Н. Николаев, кандидат сельскохозяйственных наук
Омский аграрный научный центр, Омск, Россия
E-mail: yusova@anc55.ru

Ключевые слова: сорт, яровой ячмень, урожайность, качество зерна, сбор питательных веществ.

Реферат. В рамках выполнения Омским аграрным центром условий гранта «Создание селекционно-семеноводческих и селекционно-племенных центров в области сельского хозяйства для создания и внедрения в агропромышленный комплекс современных технологий на основе собственных разработок научных и образовательных организаций» в 2021 г. на государственное сортоиспытание передан сорт ярового ячменя Омский 103. Цель исследований – характеристика продуктивности и качества зерна нового перспективного сорта Омский 103. Исследования проведены с 2017 по 2021 г. Оптимальными по влагообеспеченности условиями характеризовался 2019 г. (ГТК = 1,10), избыточное увлажнение отмечено в 2018 г., засушливые условия – в 2017, 2020 и 2021 гг. (ГТК = 0,58–0,77). Новый перспективный сорт Омский 103 (разновидность medicum) относится к среднеспелой группе, засухоустойчив, имеет слабую восприимчивость к чёрной, каменной и пыльной головне. В родословной сорта Омский 103 присутствуют сорта и линии селекции Омского АНЦ (Паллидум 3733, Медикум 4602, Медикум 4771, Рикотензе 3928, Рикотензе 3928, Рикотензе 4432, Омский 85, Омский 89), других научных центров РФ (Белгородский К-22089, Циклон, Добрый, Олимп) и зарубежной селекции (Keystone). Преимуществами нового сорта Омский 103 по качеству зерна являются повышенное содержание белка (13,27%; +0,15% к стандарту и +0,49% к сорту Омский 102) и крахмала (56,41%; +0,62% к стандарту и +0,35% к сорту Омский 102). Положительной характеристикой сорта Омский 102 является также повышенная крупность зерна (+10,04 г к стандарту). За счет повышенной урожайности (5,36 т/га; +0,77 т/га к стандарту и +0,26 т/га к сорту Омский 102), новый перспективный сорт формирует повышенный сбор с единицы площади белка (580,8 кг/а; +12,0% к стандарту и 22,5% к Омскому 102) и крахмала (2,6 т/га; +13,0% к стандарту и 21,7% к сорту Омский 102).

A NEW HIGH-QUALITY VARIETY OF SPRING BARLEY OMSKY 103

O.A. Yusova, Ph.D. in Agricultural Science
P.N. Nikolaev, Ph.D. in Agricultural Science
Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Research Center," Omsk, Russia
E-mail: yusova@anc55.ru

Keywords: variety, spring barley, yield, grain quality, nutrient collection.

Abstract. Within the framework of the grant "Creation of selection and seed production and breeding centers in agriculture to create and implement in the agricultural sector of modern technologies based on own developments of scientific and educational organizations" in 2021, the variety of spring barley Omsky 103 was transferred for state variety testing. The research aims to characterize the productivity and grain quality of the new promising Omsky 103. The study was conducted from 2017 to 2021. Optimal moisture conditions were represented in 2019 (GTC = 1.10), excessive moisture was observed in 2018, and dry conditions in 2017, 2020, and 2021 (GTC = 0.58-0.77). The new promising variety Omsky 103 (variety medium) belongs to the intermediate array, is a droughtproof variety, and has low susceptibility to black, stone, and dust smut. In the breeding record of sort Omsky 103, there are varieties and lines of breeding of Omsk Agrarian Research Center (Pallidum 3733, Medicum 4602, Medicum 4771, Ricotense 3928, Ricotense 3928, Ricotense 4432, Omsky 85, Omsky 89), other scientific centers of Russia (Belgorod K-22089, Cyclone, Kind, Olimp) and foreign breeding (Keystone). The advantages of the new variety Omsky 103 in terms of grain quality are higher protein content (13,27%; +0,15% towards the standard and +0,49% towards the type Omsky 102) and starch (56,41%; +0,62% towards the bar and +0,35% towards the variety Omsky 102). A positive characteristic of the array Omsky 102 is also an increased grain size (+10.04 g against the standard). Due to the increased yield (5.36 t/ha; +0.77 t/ha against the norm and +0.26 t/ha against the variety Omsky 102), the new perspective variety forms an increased grain harvest per unit area of protein (580.8 kg/a; +12.0% vs. standard and 22.5% to the Omsky 102) and starch (2.6 t/ha; +13.0% vs. standard and 21.7% to the variety Omsky 102).

Зерновые культуры, используемые в кормлении сельскохозяйственных животных, содержат большое количество легкопереваримых питательных компонентов, что дает возможность балансировать рационы по энергии, протеину и отдельным минеральным веществам. Ячменное зерно (*Hordeum vulgare* L.) характеризуется толстой волокнистой оболочкой, высоким уровнем β-глюканов и просто расположенными крахмальными гранулами. Практически 65 % массы зерна этого злака приходится на крахмал, переваримость которого сельскохозяйственными животными составляет 90–95 %. Для жвачных животных ячмень является третьим наиболее легко разлагаемым злаком после овса и пшеницы. Благодаря высокой скорости ферментации крахмала обеспечивается более синхронное высвобождение энергии и азота, тем самым улучшается усвоение питательных веществ микроорганизмами и сельскохозяйственными животными [1, 2].

Селекция является динамичной наукой, стремящейся к совершенствованию. Селекционеры в научных исследованиях изучают большое количество селекционного материала, гибридных форм, дикоросов с целью дальнейшего их использования. Чем большее количество исходного материала будет применено для получения сорта, тем более широкие адаптивные свойства он получит. Индивидуальный отбор способствует тому, что будут отобраны наиболее перспективные формы, унаследовавшие от родительских сортов полезные признаки и свойства.

В настоящее время с целью стабилизации валовых сборов зерна ячменя проводится внедрение иммунных [3], высокопродуктивных, пластичных сортов с повышенной стрессоустойчивостью, отзывчивых на благоприятные погодные условия [4, 5].

Несмотря на значительные селекционные достижения Омского аграрного центра, селекционная наука должна продолжать совершенствоваться, развиваясь в связи с актуальными запросами современности. Созданные ранее сорта включаются в планы гибридизации и становятся базой для создания, что является традиционным методом [4]. Задачей селекционера является расширение сортимента, что создает возможность выбора для сельхозтоваропроизводителя.

Создание и возделывание все более урожайных и высококачественных сортов [6] и дальнейшее внедрение их в производство позволят расширить площади посева, повысит сбор зерна, снизить импортозависимость в поставках сырья и себестоимость конечной продукции, увеличить экспорт сырья [7, 8].

В этой связи цель исследований – характеристика продуктивности и качества зерна нового перспективного сорта ярового ячменя Омский 103.

В рамках выполнения Омским аграрным центром условий гранта «Создание селекционно-семеноводческих и селекционно-племенных центров в области сельского хозяйства для создания и внедрения в агропромышленный комплекс современных технологий на основе собственных разработок научных и образовательных организаций» к соглашению 09.ССЦ.21.0015 (по заявке 2021-СЦ-01-29) в рамках исполнения соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий № 075-15-2021-548 от 28.05.2021 г. в 2021 г. на государственное сортоиспытание передан сорт ярового ячменя Омский 103.

Как видно из рис. 1, родословная сорта Омский 103 довольна сложная. В ней присутствуют сорта и линии селекции как Омского АНЦ (Паллидум 3733, Медикум 4602, Медикум 4771, Рикотензе 3928, Рикотензе 3928, Рикотензе 4432, Омский 85, Омский 89), так и других научных центров РФ (Белгородский К-22089, Циклон, Добрый, Олимп). Имеется также в родословной сорт зарубежной селекции (Keystone). Примечательным является факт, что сорт Омский 103 создан с привлечением в родословную сорта озимого ячменя Циклон, который послужил для нового сорта источником повышенной урожайности.

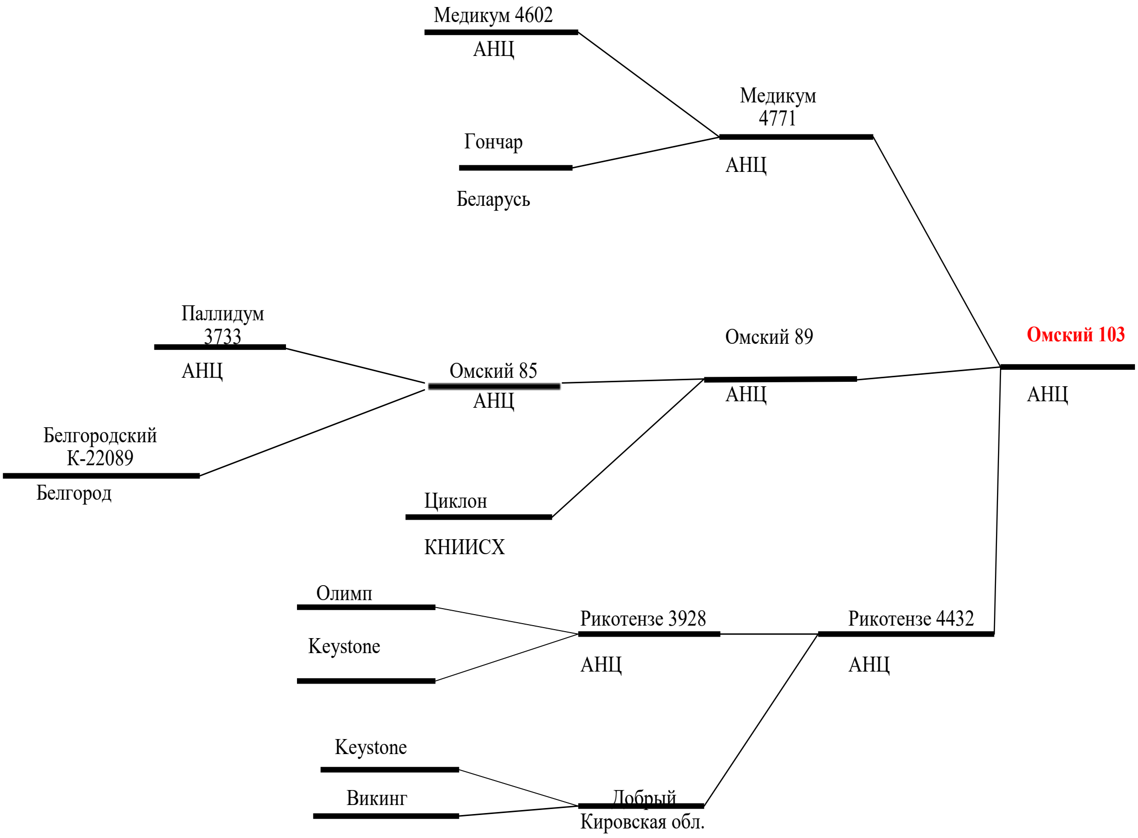


Рис. 1. Родословная сорта ячменя ярового Омский 103
Fig. 1. Breeding record of spring barley variety Omsky 103

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работу выполняли в питомниках конкурсного сортоиспытания (КСИ) на опытных полях Омского АНЦ в степной и южной лесостепной зонах с 2017 по 2021 г.

Агротехника возделывания ячменя – общепринятая для региона. Основная обработка почвы заключалась в послеуборочном лущении стерни и зяблевой вспашке. Обработка зяби состояла из закрытия влаги боронованием и последующей культивации на глубину 6–8 см. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7 на делянках площадью 10 м^2 в 4-кратной повторности при норме высева 4 млн всхожих зерен на 1 га. Предшественник – мягкая яровая пшеница.

В южной лесостепной зоне поля представлены среднемощной тяжелосуглинистой лугово-черноземной почвой. Содержание гумуса (по Тюрину) составляло 6,68–6,91 %, подвижного фосфора – 98–112 мг/кг (по Чирикову), калия – 240–310 (ГОСТ Р 58486-2019), нитратного азота (по Кочергину) – 5,3 мг/кг, сумма поглощенных оснований – 30,02 мг-экв/100 г почвы, pH$_{KCl}$ почвенного раствора – 6,6–7,0.

Наблюдения, оценки и учеты проведены согласно методике Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) [9].

Биохимический анализ качества зерна осуществляли с использованием традиционных методов и технологий [10], оценку образцов ячменя на пивоваренные качества – по ГОСТ 5060-86.

Математическая обработка данных проведена в приложении Excel для ПК [11].

Объект исследований – новый перспективный сорт ячменя Омский 103, стандартный сорт Омский 95 и последний переданный на ГСИ сорт Омский 102.

Омский 95 включен в Госреестр РФ (2006 г.) и Республики Казахстан, среднеспелый (вегетационный период 79–90 суток), устойчив к болезням и абиотическим факторам (слабовосприимчив к каменной и черной головне и средневосприимчив к пыльной, засухоустойчив, устойчив к полеганию), имеет высокий потенциал продуктивности и качества зерна.

Сорт Омский 102 относится к лесостепной экологической группе, среднеспелый (вегетационный период 77–87 дней), устойчив к полеганию, абиотическим факторам, характеризуется слабой восприимчивостью к черной и пыльной головне и средней – к каменной головне. Масса 1000 зерен 54,0–57,0 г. Сыпучесть зерна при посеве хорошая. Сорт передан на государственное сортоиспытание в 2021 г. в Уральский, Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский регионы РФ.

Климатические условия периода исследований (2017–2021 гг.) характеризовались как контрастные: оптимальные по влагообеспеченности условия наблюдались в 2019 г. (ГТК = 1,10), избыточное увлажнение отмечено в 2018 г., засушливые условия – в 2017, 2020 и 2021 гг. (ГТК = 0,58–0,77).

В 2017, 2018 гг. наблюдали недобор средних температур воздуха в течение всего периода вегетации (от -1,5 до -5,8°С по отношению к среднемноголетним данным), лишь в июне 2017 г. температура воздуха была на уровне среднемноголетней (19,6°С) (рис. 2). Повышенной температурой характеризовались май 2020–2021 гг. (+3,9°С к норме) и июль 2019–2021 гг. (+1,0…+1,8°С к среднемноголетней).

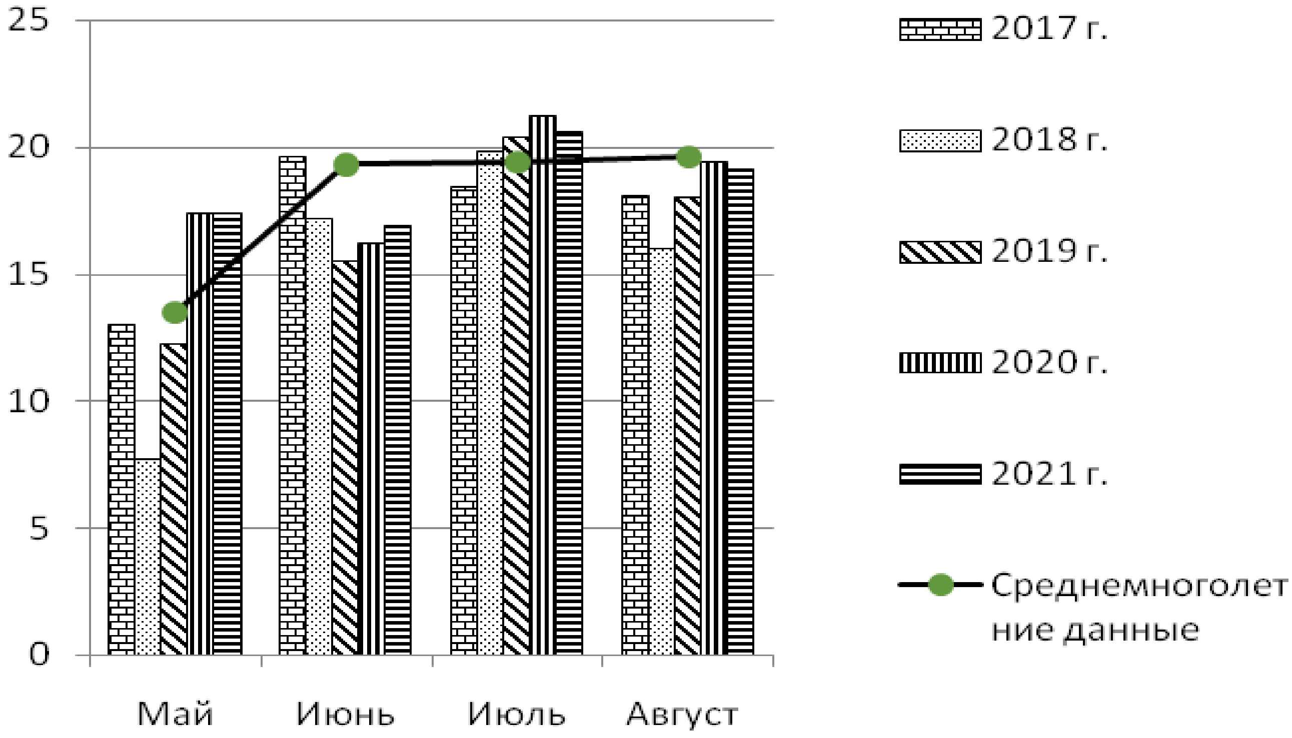


Рис. 2. Характеристика вегетационных периодов 2017–2021 гг. по средней температуре воздуха (Омская ГМОС)
Fig. 2. Characteristics of growing seasons 2017-2021 by average air temperature (Federal State Budgetary Institution Ob-Irtysh Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring)

Распределение осадков носило неравномерный характер. В 2017 г. их сумма была на уровне многолетних с мая по июль (26, 31 и 70 мм) и недостаточной в августе (23 %). В 2019–2020 гг. избыток осадков наблюдали в начальный период вегетации (май и июнь) – 126–243 % к норме на фоне их недостатка в июле и августе – 20–91 %. В 2021 г. осадки на уровне 128 % к среднемноголетним данным отмечены лишь в июне, остальные месяцы характеризовались засушливыми условиями (44–69 %) (рис. 3).

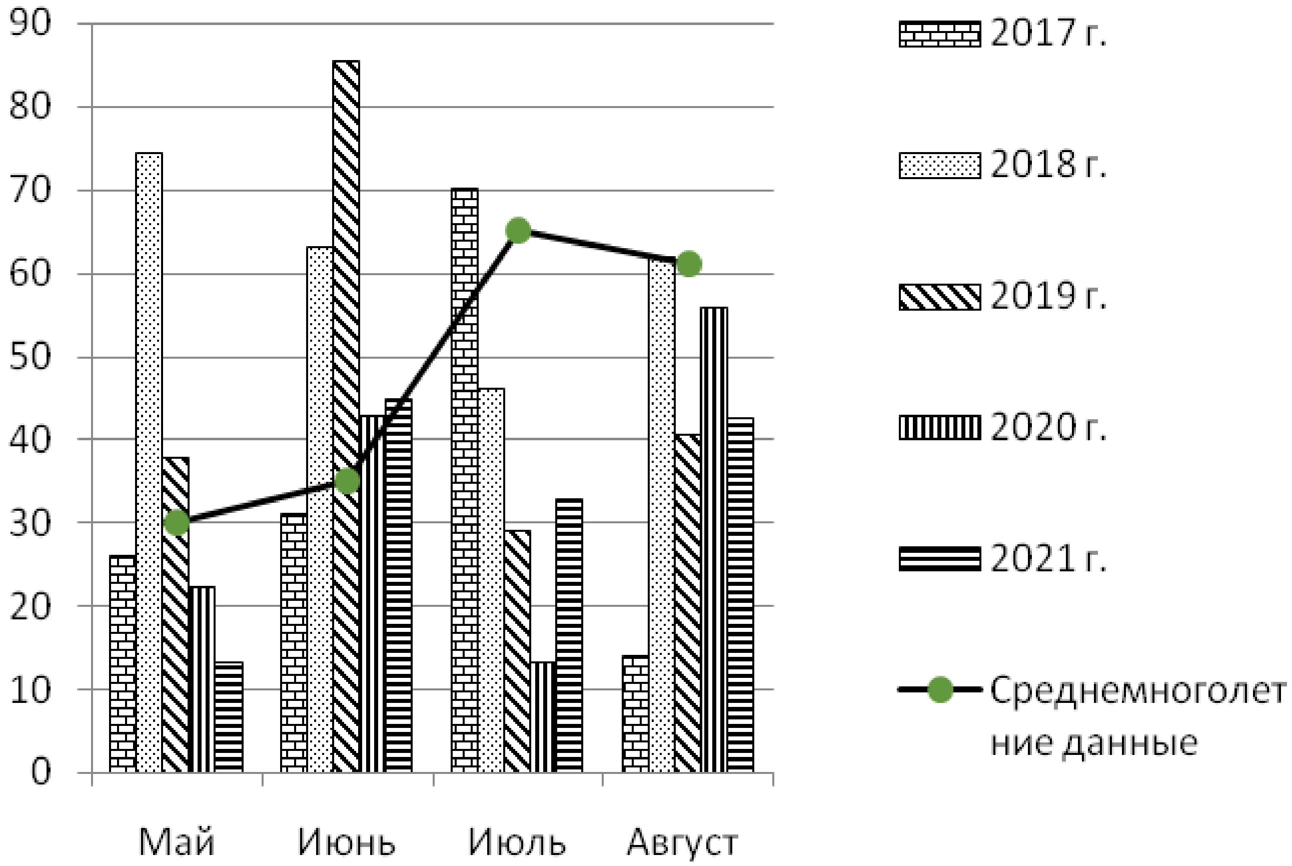


Рис. 3. Характеристика вегетационных периодов 2016–2021 гг. по сумме осадков (Омская ГМОС)

Fig. 3. Characteristics of increasing seasons 2016-2021 in terms of precipitation (Federal State Budgetary Institution Ob-Irtysh Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Новый перспективный сорт Омский 103 (разновидность medicum) относится к среднеспелой группе (вегетационный период – 77–83 суток), засухоустойчив. За годы изучения на искусственном инфекционном фоне проявил слабую восприимчивость к чёрной головне, к каменной и пыльной головне.

Агробиологические особенности сорта:

– колосья двурядные, пленчатые, остистые, соломенно-желтые, цилиндрической формы, средней длины, рыхлые;

– ости длинные (до 16 см), гладкие, расположены вдоль колоса (параллельно колосу), соломенно-желтые, средней грубости;

– зерно желтое, пленчатое, полуудлиненное; крупное; масса 1000 зерен 53,0–56,0 г;

– сорт среднерослый, высота 70-80 см, соломина прочная.

В условиях южной лесостепи Западной Сибири среднее по опыту содержание в зерне белка составило 13,06 %, максимум наблюдался в 2021 г. (14,79%) (табл. 1). Белковость зерна нового перспективного сорта Омский 103 в среднем составила 13,27% (Lim=12,21–15,22%). Наиболее высококачественное по данному признаку зерно сорт Омский 103 сформировал в 2021 г. (15,22%). В среднем за период исследований по содержанию в зерне белка новый сорт превышал стандарт на 0,15% и на 0,49 % сорт Омский 102.

Среднее содержание в зерне крахмала составило 56,09% при максимально высоком значении в 2017 г. (59,24%). Новый сорт характеризовался повышенной крахмалистостью зерна, что составило +0,95…+1,64% к стандарту с 2018 по 2021 г., + 0,33…1,97% к сорту Омский 102 с 2017 по 2019 г.

Таким образом, получена достоверная прибавка по массовой доле крахмала в зерне (+0,62% к стандарту и +0,35 % к сорту Омский 102) в среднем за период исследований.

Масличность зерна ячменя составила 1,64% в среднем за период с 2017 по 2021 г., (максимум 2,20% в 2018 г.). Содержание данного компонента зерна у сорта Омский 103 в среднем за период исследований – 1,45%, что уступает как стандарту Омский 95 (-0,45%), так и сорту Омский 102 (-0,11%). Пониженная масличность нового сорта наблюдалась на протяжении всего периода исследований (от -0,15 до -0,82% к стандарту и сорту Омский 102), за исключением 2017 и 2018 гг. по отношению к Омскому 102.

Таблица 1

Характеристика сорта ячменя Омский 103 по качеству зерна
Characteristics of the barley variety Omsky 103 in terms of grain quality

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	$\bar{x}$
Содержание белка, %						
Омский 95, st.	13,12	12,13	14,24	11,38	14,74	13,12
Омский 102	13,16	13,12	12,16	11,05	14,41	12,78
Омский 103	12,62	12,76	13,56	12,21	15,22	13,27
Среднее по году	12,97	12,67	13,32	11,55	14,79	13,06
НСР$_{05}$	0,51	0,45	0,90	0,62	0,40	-
Содержание крахмала, %						
Омский 95, st.	60,77	56,83	53,55	53,71	54,10	55,79
Омский 102	58,15	57,49	53,22	56,46	55,00	56,06
Омский 103	58,80	57,82	55,19	55,19	55,05	56,41
Среднее по году	59,24	57,38	53,99	55,12	54,72	56,09
НСР$_{05}$	1,20	0,90	1,10	1,30	0,87	-
Содержание сырого жира, %						
Омский 95, st.	1,60	2,57	2,07	1,52	1,74	1,90
Омский 102	0,78	2,00	1,83	1,61	1,60	1,56
Омский 103	1,23	2,04	1,25	1,37	1,38	1,45
Среднее по году	1,20	2,20	1,72	1,50	1,57	1,64
НСР$_{05}$	0,20	0,31	0,28	0,40	0,35	-

Среднегрупповая урожайность составила 5,36 т/га при максимально высоком ее уровне в 2019 и 2020 гг. (6,33 и 6,55 т/га) (табл. 2). Новый перспективный сорт Омский 102 характеризовался повышенной урожайностью в течение всего периода исследований (Lim = 3,0–6,9 т/га), что составляет +0,27…+1,16 т/га к стандарту и +0,13…+0,42 т/га к сорту Омский 102. В среднем за 2017–2021 гг. достоверная прибавка по урожайности составила 0,77 т/га к стандарту и 0,26 т/га к сорту Омский 102.

Масса 1000 зерен в среднем за период исследований отмечена на уровне 48,94 г. (Lim = 47,20–51,24 г). По крупности зерна новый перспективный сорт Омский 103 превосходил стандарт (на 6,62–14,47 г ежегодно, 10,04 г в среднем), но уступал либо был на уровне сорта Омский 102 (на 2,4–1,59 г с 2018 по 2020 г. и 0,2 г в среднем).

Таблица 2

Характеристика сорта ячменя Омский 103 по продуктивности
Characteristics of the barley variety Omsky 103 by productivity

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	$\bar{x}$
1	2	3	4	5	6	7
Урожайность, т/га						
Омский 95, st.	5,18	5,22	5,60	6,04	2,73	4,95
Омский 102	5,30	5,80	6,63	6,71	2,87	5,46

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Омский 103	5,72	5,99	6,76	6,90	3,00	5,72
Среднее по году	5,40	5,67	6,33	6,55	2,87	5,36
$НСР_{05}$	1,02	0,63	0,52	0,98	0,40	-
Масса 1000 зерен, г						
Омский 95, st.	43,53	43,70	41,93	40,70	41,05	42,18
Омский 102	52,20	54,91	52,45	51,65	50,90	52,42
Омский 103	58,00	53,32	48,55	49,25	52,00	52,22
Среднее по году	51,24	50,63	47,64	47,20	47,98	48,94
$НСР_{05}$	2,00	2,20	3,05	1,25	1,04	-

Ценность любого сорта при внедрении его в производство определяется не просто потенциально возможной массовой долей белков, жиров и углеводов, но и сбором данных питательных элементов с единицы площади. В связи с этим выходу питательных веществ с единицы площади уделяется особое внимание. В нашем опыте данные показатели в среднем составили: сбор белка – 580,8 кг/га, крахмала – 2,6 т/га, сырого жира – 74,0 кг/га.

Стандартный сорт Омский 95 характеризовался минимальными показателями сбора белка в течение всего периода исследований (346,1–605,0 кг/га). Отмечен также пониженный сбор крахмала (1,3 и 2,6 т/га) и сырого жира (87,9 и 69,7 кг/га) в 2019 и 2020 гг.

Положительной и очень значимой характеристикой нового перспективного сорта Омский 103 является не только высокая урожайность (как было отмечено выше), но и связанный с этим повышенный сбор питательных веществ с единицы площади.

Так, по сбору белка сорт Омский 103 ежегодно превышал стандарт (от 36,3 до 205,9 кг/га) и последний переданный на ГСИ сорт Омский 102 (+21,0…+95,0 кг/га). В среднем за период исследований прибавка составила 12% к стандарту и 22,5% к Омскому 102.

Аналогичная картина наблюдается по сбору крахмала: сорт Омский 103 ежегодно характеризовался повышенным сбором данного компонента по отношению к стандарту – от +0,1 до +0,9 т/га, или +13% в среднем за период исследований. Прибавка к сорту Омский 102 варьировала от +0,2 до +0,3 т/га с 2017 по 2019 г. (+21,7% за период исследований).

Средний сбор сырого жира у нового перспективного сорта составил 98,1 кг/га. Максимальные значения по данному показателю отмечены в 2019 и 2020 гг. (104,3 и 96,9 кг/га), что превышало стандарт Омский 95 (на 18,6 и 39,0%) и было на уровне сорта Омский 101.

Таблица 3

Характеристика сорта ячменя Омский 103 по сбору белка, крахмала и сырого жира, т/га
Characteristics of barley variety Omsky 103 in terms of protein, starch, and crude fat, t/ha

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	$\bar{x}$
1	2	3	4	5	6	7
Белок						
Омский 95, st.	584,5	544,5	605,0	521,6	346,1	520,3
Омский 102	599,8	609,3	693,3	665,2	355,7	584,7
Омский 103	620,8	657,3	788,3	727,5	392,7	637,3
Среднее по году	601,7	603,7	695,5	638,1	364,8	580,8
$НСР_{05}$	18,2	33,0	34,0	39,0	25,6	-
Крахмал						
Омский 95, st.	2,7	2,6	2,3	2,5	1,3	2,3
Омский 102	2,7	2,7	3,0	3,4	1,4	2,6
Омский 103	2,9	3,0	3,2	3,3	1,4	2,8
Среднее по году	2,8	2,8	2,8	3,1	1,4	2,6
$НСР_{05}$	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	-

Окончание табл. 3

Сырой жир						
1	2	3	4	5	6	7
Омский 95, st.	71,3	115,4	87,9	69,7	40,9	77,0
Омский 102	35,6	92,9	104,3	96,9	39,5	73,8
Омский 103	60,5	105,1	72,6	81,3	35,6	71,0
Среднее по году	55,8	104,5	88,3	82,6	38,7	74,0
НСР$_{05}$	5,4	8,2	11,5	10,2	3,5	-

Сорт Омский 103 с 2021 г. находится в государственном сортоиспытании в Уральском (9), Западно-Сибирском (10) и Восточно-Сибирском (11) регионах РФ.

ВЫВОДЫ

1. За счет повышенной урожайности (+0,77 т/га к стандарту и +0,26 т/га к сорту Омский 102) новый перспективный сорт Омский 103 имел повышенный сбор питательных веществ с единицы площади:

– сбор белка составил 637,3 кг/га (+12,0% к стандарту и 22,5% к Омскому 102);

– сбор крахмала в среднем за период исследований отмечен на уровне 2,6 т/га (+13,0% к стандарту и 21,7% к сорту Омский 102).

2. Преимущества нового сорта Омский 103 по качеству зерна и продуктивности:

– повышенное содержание в зерне белка – 13,27% (+0,15% к стандарту и +0,49 % к сорту Омский 102) в среднем за период исследований;

– повышенное содержание крахмала – 56,41% (+0,62% к стандарту и +0,35 % к сорту Омский 102);

– повышенная крупность зерна (+10,04 г к стандарту, на уровне сорта Омский 102).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сумина А.В., Полонский В.И., Количенко А.А.* Кормовая ценность зерна ячменя, выращенного в условиях юга Сибири // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. –2020. – № 3 (33). – С. 36–39.
2. *Nikkhah A.* Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy // Journal of Animal Science Biotechnology. – 2012. – Vol. 3, N 22. – P. 14–21.
3. *Powdery* mildew resistance of Barley accessions from Dagestan / R.A. Abdullaev, T.V. Lebedeva, N.V. Alpatieva [et al.] // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2021. – T. 25, N 5. – C. 528–533. – DOI: 10.18699/VJ21.059.
4. *Питоня В.Н., Питоня А.А.* Оценка адаптивности и стрессоустойчивости сортов ярового ячменя для Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. – 2022. – № 1 (116). – С. 15–18. – DOI: 10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18.
5. *Tokhetova L.A., Akhmedova G.B., Akzhunis R.A.* The use of Multivariate Factor Analysis in the Selection of spring Barley for Adaptability to Various environmental conditions // Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. – 2020. – № 4 (107). – С. 70–80.
6. *Дубовик Д.В., Чуян О.Г.* Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий // Земледелие. – 2018. – № 2. – С. 9–13.
7. *Николаев П.Н., Юсова О.А., Кремпа А.Е.* Новые перспективные линии ячменя пивоваренного направления селекции Омского аграрного научного центра // Земледелие. – 2022. – № 1. – С. 39–43.
8. *Адаптивность* нового сорта ячменя ярового Омский 101 / П.Н. Николаев, О.А. Юсова, Н.И. Аниськов [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 3 (52). – С. 48–58.
9. *Методические* указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса / сост.: И.Г. Лоскутов, О.Н. Ковалева, Е.В. Блинова. – Изд. 4-е, доп. и перераб. – СПб.: Всерос. НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова, 2012. – 63 с.
10. *Плешков Б.В.* Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1985. – 256 с.
11. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2011. – 350 с.

REFERENCES

1. Sumina A.V., Polonsky V.I., Kolichenko A.A., *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*, 2020. No. 3 (33), pp. 36–39. (In Russ.)
2. Nikkhah A., Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy, *Journal of Animal Science Biotechnology*, 2012, Vol. 3, No. 22, pp. 14–21.
3. Abdullaev R.A., Lebedeva T.V., Alpatieva N.V., Batasheva B.A., Powdery mildew resistance of Barley accessions from Dagestan, *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2021, T. 25, No. 5, pp. 528–533, DOI 10.18699/VJ21.059.
4. Pitonya V.N., Pitonya A.A., *Nauchno-agronomicheskiy zhurnal*, 2022, No. 1 (116), pp. 15–18, DOI: 10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18. (In Russ.)
5. Tokhetova L.A., Akhmedova G.B., Akzhunis R.A., The use of Multivariate Factor Analysis in the Selection of spring Barley for Adaptability to Various environmental conditions, *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*, 2020, No. 4 (107), pp. 70–80.
6. Dubovik D.V., Chuyan O.G., *Zemledeliye*, 2018, No. 2, pp. 9–13. (In Russ.)
7. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Krempa A.E., *Zemledeliye*, 2022, No. 1, pp. 39–43. (In Russ.)
8. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Aniskov N.I., Safonova I.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2019, No. 3 (52), pp. 48–58. (In Russ.)
9. Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V., *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoi kollektsii yachmenya i ovsa* (Guidelines for the study and conservation of the world collection of barley and oats), Sankt-Peterburg: Vserossiiskii NII rastenievodstva im. N.I. Vavilova, 2012, 63 p.
10. Pleshkov B.V., *Praktikum po biokhimii rastenii* (Workshop on plant biochemistry). Moscow: Kolos, 1985, 256 p.
11. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii)* (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Al'yans, 2011, 350 p.

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96
УДК 575.167

ПРОБЛЕМЫ И ВОПРОСЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

[1,2]**А.Е. Калашников**, кандидат биологических наук
[1]**А.И. Голубков**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
[1]**Н.Ф. Щегольков**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
[3]**Е.Р. Гостева**, доктор сельскохозяйственных наук

[1]*Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела Минсельхоза России, Москва, Россия*
[2]*ФИЦ комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УРО РАН, Архангельск, Россия*
[3]*Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия*

E-mail: ekagosteva@yandex.ru

Ключевые слова: племенная ценность, Хендерсон, прогнозирование факторов, линейные модели, смешанные модели, BLUP.

Реферат. Методы прогнозирования генетической ценности в скотоводстве получили широкое признание в странах с развитым животноводством, они используются и совершенствуются в непрерывной эволюции как генетиками-селекционерами, так и статистиками. Метод несмещенной линейной оценки (BLUP/BLUE) является очень гибким, так как в нем существует множество альтернатив, которые приспособлены к различным селекционным целям, видам животных, условиям производственной среды и способам вычислений. Сегодня актуален поиск новых, более быстрых и экономичных алгоритмов инвертирования доминантных и аддитивных родственных взаимоотношений между индивидуумами с помощью аддитивных матриц родства. Для этого необходимо выбрать (создать) подходящую модель отбора для решения проблемы выбраковки коров, неслучайного влияния быков-производителей, увязать это с фиксированными факторами жизненного цикла животного HYS (стадо – год – сезон, herd – year – season) и факторами предпочтительного производственного окружения. Целью данной работы является рассмотрение ряда вопросов, касающихся проблем разведения животных. Представлен обзор исторически значимого метода оценки генетической ценности крупного рогатого скота (и других видов по аналогии), основанного на многофакторных регрессных моделях, и приведены простые примеры отбора при его помощи производителей. За последнее десятилетие опубликовано множество новых методических приемов в этой области, новых программ, баз данных, патентов, обзорных статей. В соответствии с требованиями национального экономического развития представленный материал может служить руководством к изучению новых, современных методов оценки ценности животных и формированию новых селекционных индексов.

PROBLEMS AND ISSUES IN FORECASTING THE GENETIC BREEDING VALUE OF AGRICULTURAL ANIMALS

[1,2]**A.E. Kalashnikov,** Ph.D. in Biological Sciences
[1]**A.I. Golubkov,** Doctor of Agricultural Sciences, Professor
[1]**N.F. Schegolkov,** Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor
[3]**E.R. Gosteva,** Doctor of Agricultural Sciences

[1]*Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Breeding of the Ministry of Agriculture of Russia, Moscow, Russia*
[2]*N.P. Lavrov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia*
[3]*Federal State Budgetary Scientific Organization «Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region» Saratov, Russia*

E-mail: ekagosteva@yandex.ru

Keywords: breeding value, Henderson, forecasting of the factors, linear models, mixed models, BLUP.

Abstract. Methods for forecasting genetic value in cattle breeding are widely recognized in countries with developed cattle breeding. They are used and improved in continuous evolution by genetic breeders and statisticians. The unbiased linear estimation method (BLUP/BLUE) is very flexible because it has many alternatives tailored to different breeding objectives, animal species, production conditions, and calculation methods. Today it is relevant to the search for new, faster, and more economical algorithms for inverting dominant and additive kinship relationships between individuals using additive kinship matrices. For a new search, it is necessary to select (create) a suitable selection model to solve the problem of cow culling, the non-random influence of sires. Further, it is essential to relate this to the fixed factors of the animal's life cycle HYS (herd-year-season, herd-year-season) and the preferred production environment factors. The purpose of this paper is to address several issues related to the problems of animal breeding. First, an overview of a historically powerful method for assessing the genetic value of cattle (and other species by analogy) based on multifactorial regression models is presented, and simple examples of selection using it are given. Over the past decade, many new methodological techniques, programs, databases, patents, and review articles have been published in this area. By the requirements of national economic development, the material presented can serve as a guide for the study of new, modern methods of assessing the value of animals and the formation of new breeding indices.

В свое время Ч. Хендерсон был вдохновлен статьей 1933 г. Дж. Лаша «Проблема бычьего индекса в свете современной генетики» [1], в которой были поставлены вопросы, изучение которых привело к идее метода BLUP (наилучший линейный несмещенный *прогноз,* best linear unbiased[1] prediction, который проводится методом BLUE, наилучшего линейного несмещенного *вычисления,* best linear unbiased equation) и методу оценки компонентов дисперсии, смещения оценки. Статья была проиллюстрирована рядом конкретных примеров и алгоритмов, и Ч. Хендерсон унаследовал в своих статьях этот прием изложения материала. Все его публикации содержат точные и последовательно сформулированные предположения и условия, для которых применимы модели и методология алгоритмов вычислений. Цель этой статьи состоит в том, чтобы изложить основные предположения Ч. Хендерсона в области генетической оценки племенной ценности, уделив особое внимание тем проблемам, которые еще предстоит решить в будущем. В статье также отмечены усовершенствования методов линейной оценки, которые в настоящее время предложены другими исследователями.

Что понимается под выбором переменных при оценке племенной ценности животных? Выбор переменных означает выбор фенотипических (инструментально измеренных) и генотипических исходных данных, проверку их достоверности, надежности, описание выборки при помощи методов описательной статистики, фильтрацию и подготовку в заданном формате для включения в линейную модель. Это именно работа с данными, а не вариант выбора метода селекции, например, который сам по себе является переменной. Таким образом, выбор переменных – это частный случай выбора самой модели, написание первичных уравнений в скалярной или векторной форме, предположение о том, как будет выглядеть система уравнений MME в матричной форме.

Классические методы выбора переменных включают прямую работу с фенотипическими данными, обратное исключение данных и итерационный метод. Прямой выбор данных может начинаться без использования выборки фенотипических переменных, которые были известны заранее. Краеугольным камнем здесь является изначальный выбор правильного подмножества фенотипических данных, когда нужно смоделировать взаимосвязь между интересующей переменной и подмножеством потенциальных объясняющих переменных или предикторов, но существует неопределенность в отношении того, какое подмножество использовать в целом.

Важность использования переменных исходных данных в селекции и оценке племенной ценности заключается в том, насколько данная математическая модель «использует» эту переменную для получения точных прогнозов племенной ценности. Чем больше модель оценивает значимость переменной для прогнозирования, тем важнее она в модели. Взвешивание переменных может применяться во многих линейных моделях, каждая из которых использует разные показатели оценки значимости исходных данных.

Важно понимать, что переменные являются основными единицами информации, из-

---

[1] *unbiased* (англ.) переводится как несмещенный, неискаженный, объективный, есть еще его противоположность, если регрессные коэффициенты в уравнениях не имеют своих весов, – смещенный, необъективный, искаженный прогноз *biased* (англ.) – BLBE, но он не применяется в животноводстве и промышленности, т. к. неэффективен относительно генеральной совокупности данных и требует обучения модели.

учаемой и интерпретируемой в оценке и корреляциях. В частности, размер номинальных выборок по достоверности в экспериментах имеет тенденцию к завышению, особенно если выборки сформированы под заранее выбранную модель. С другой стороны, выбор переменных не оказывает большого влияния на ошибку дисперсии, если его правильно сформировать относительно категорий данных и групп, стратегии кластеризации в селекции. Переменными для генетической и фенотипической оценки могут быть только числа или величины, которые можно измерить или подсчитать.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в математической среде разработки gblup.R[2] и blup.R[3] в языке R либо программными модулями пакета SAS MIXED4 в операционной среде Unix.

Предыстория развития вычисления уравнений линейных моделей

Исторические предпосылки и открытие моделей BLUE, а также MME (уравнений смешанной модели, mixed model equation) стали результатом задач, которые поставили статистики [2]. Эта проблема была изящно решена с использованием наиболее вероятных методов производственных возможностей Дж. Лаша. Решение этой задачи привело к написанию дипломной работы Ч. Хендерсона, тема которой была посвящена попытке объединить теорию наименьших квадратов и селекционный индекс для оценки общих, специфических и материнских фенотипических способностей у свиней [3]. Впервые уравнения MME были представлены в 1949 г. [4]. Однако доказательство того, что решения для неизменных (фиксированных) эффектов совпадают с решениями, полученными из обобщенных уравнений наименьших квадратов, появилось только в 1956 г. и не было опубликовано до 1959 г. [5]. Доказательство того, что решения для случайных (рандомизированных) эффектов такие же, как критерий селекционного индекса, наряду с обобщенными решениями по методу наименьших квадратов для фиксированных эффектов, используемыми в качестве средних значений, также получено в 1956 г., но не опубликовано до 1963 г. [6]. Термин прогноза BLUP, основанный на BLUE и математической среде решений MME, был впервые опубликован в 1962 г. [7]. Эта история имела продолжение в 1973 г., когда Ч. Хендерсон опубликовал тезисы в материалах симпозиума памяти Дж. Лаша [8].

Узкое место прогноза племенной ценности

Допустим, что основная линейная модель будет иметь следующий вид:

$$y,= X\beta + Zu + e \qquad (1)$$

где *y* – вектор наблюдаемых фенотипических величин;

X – известная фиксированная матрица *n*p* с рангом *r*;

β – неизвестный вектор фиксированных (неизменных) эффектов;

Z – матрица известных фиксированных эффектов;

u и *e* – ненаблюдаемые случайные (рандомизированные) векторные переменные (случайных неизвестных ошибок) с нулевыми средними значениями.

Тогда получим следующую дисперсно-ковариационную структуру:

$$V \cdot \begin{bmatrix} u \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}, \qquad (2)$$

где матрицы *G* и *R* известны и несингулярны.

Селекционеры почти всегда предполагают, что линейная модель подходит для прогноза, и во многих ситуациях это верно. Однако нельзя игнорировать такую возможность, что нелинейные модели для прогноза в некоторых ситуациях могут быть лучше [9]. Нелинейная методология расчетов может оказаться сложной для реализации, и, следовательно, определение «лучшего» и мера того, *насколько* «лучше», будут определять, насколько *легко* вообще реализуются нелинейные методы в каждом конкретном случае.

Чтобы создать модель прогноза BLUP, нужно предсказать линейные функции *β* и *u*, скажем, в виде $K'\beta + M'u$, с помощью линейной функции *y*, т.е. *F´y*, так что математическое отношение *F´y* будет равно математическому ожиданию $K'\beta + M'u$, в котором дисперсии ошибки прогнозирования $F'y - K'\beta - M'u$ сведены к минимуму. При этом считается, что *K´β* поддается оценке. Если производные функции от дисперсии матрицы ошибок предсказания, которые включают матрицу мно-

---

[2]. https://rdrr.io/cran/pedigree/src/R/gblup.R

[3]. https://rdrr.io/cran/Phenotype/man/blup.html

[4]. https://bit.ly/3tKE95e

жителей Лагранжа (для обеспечения беспристрастности такого анализа), приравниваются к нулю, то получится решение для функции *F*.

Предсказание предстанет в виде выражения:

$$F'y = K'\hat{\beta} + M'\hat{u}, \qquad (3)$$

где векторы $\hat{\beta}$ и $\hat{u}$ – это решения системы уравнений MME по Ч. Хендерсону:

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix} \qquad (4)$$

Общее матричное выражение здесь охватывает модель по отцам (sire model, SM, BLUP-SM (модели животного (индивидуума, animal model, AM, BLUP-AM) [10] и другие модели с несколькими селекционными признаками (multiple-trait models, MTM) [11–16]. Термин «модель индивидуума» впервые опубликован в 1988 г. [17], но, конечно же, в качестве модели описан ранее, в начале 1970-х гг. [18]. Первое практическое использование BLUP-AM было отмечено в 1990 г. в сравнении показателей быков-производителей и их дочерей Северо-Востока США. В сравнении участвовало приблизительно 1200 быков-производителей голштинской породы. Оценка была проведена при помощи нескольких компьютерных программ, написанных на FORTRAN, на компьютерах IBM 360 с объемом памяти 128 кб [19–20].

Уравнения MME, указанные выше, формируются без необходимости знаний о распределении значений признака *y*. Для проверки гипотезы или оценки компонентов дисперсии по максимальному правдоподобию (REML, restricted (or residual, or reduced) maximum likelihood) предполагается, что измеряемые наблюдаемые фенотипические величины селекционного признака распределены нормально (распределение Гаусса-Лапласа). Тем не менее предполагается, что матрицы ковариации *G* и *R* представлены известными, невырожденными и положительно определенными значениями. Ранее были описаны методы, которые следует использовать для вычислений в случае, если матрицы *G* и *R* неизвестны или обе они сингулярны [8, 21–22].

Вычислительные аспекты построения уравнений MME крайне любопытны, было введено понятие эквивалентных моделей, чтобы упростить вычисления или понимание отдельных моделей. Например, принято, что две разные модели эквивалентны, если они дают одно и то же математическое ожидание и ковариационную функцию *y* [23]. Примером может служить ограниченная модель индивидуума, которая может казаться удобной в случаях, когда от одного спаривания рождается много потомства, например, у свиней, или когда оставляются очень мало особей в качестве родителей для будущих поколений животных [24].

Также предложена модель, где учтены эффекты взаимодействия между быками-производителями и стадами для учета влияния окружающей среды среди полусибсов в одном стаде [11].

Описана такая модель BLUE, где значения *cov (u, e)* не равны нулю, и показано, что для таких моделей можно записать следующую эквивалентную модель, в которой ковариационная матрица между случайным вектором модели и остаточным вектором равна нулю.

Проблема включения предварительной (предполагаемой) информации

Еще одной проблемой в прогнозировании племенной ценности является предсказание $K'\beta + M'u$ за счет $F'y + S'\hat{\beta}$, где $E \cdot (K'\beta + M'u) = E \cdot \left(F'y + S'\hat{\beta}\right)$, а диагональ при этом $V\left(K'\beta + M'u - F'y - S'\hat{\beta}\right)$ – минимизирована.

Вектор $S'\hat{\beta}$ является априорной несмещенной оценкой $S\,'\,\beta$, которая оценена независимо от функции *y* и $V\left(\hat{\beta}\right) = P$, что сингулярным не является. Результат решения уравнений MME для этой проблемы:

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X + P^{-1} & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y + P^{-1}\hat{\beta} \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix} (5)$$

Таким образом, могут быть учтены сделанные ранее оценки фиксированных эффектов, таких как различия между породами, различия в возрасте отела и различия по половому признаку. Следует обратить внимание на то, что если P^{-1} равно нулю, то решение для функции β полностью вытекает из исходных данных по продуктивности, а если элементы P^{-1} велики, то решения становятся похожими на предыдущие величины. Аналогичные выражения можно вывести в контексте теории Байеса, он удобен тем, что в нем нет необходимости различать фиксированные и случайные факторы среды [25].

Правые части уравнений MME также содержат априорную информацию о значениях функции *u*. Если для векторов $\hat{\beta}$ и $\hat{u} = 0$ не существует априорной информации, то в уравнениях она содержится:

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X + P^{-1} & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y + P^{-1}\hat{\beta} \\ Z'R^{-1}y + G^{-1}\hat{u} \end{bmatrix} (6)$$

Эти уравнения могут применяться для оценки животных внутри заданного стада.

Если для этих особей известна племенная ценность их предков по всем другим стадам, то данная информация также может быть включена в эти уравнения для заданного стада. Это отличается от изначального подхода Ч. Хендерсона, в котором теория селекционного индекса (как матрицы коэффициентов, так и правая часть уравнений) использовалась только при внутристадной оценке молочных коров [26, 27].

Смещенный (искаженный) прогноз племенной ценности

В 1987 г. была отмечена возможность того, что смещенные предсказания могут не иметь существенной значимости в моделировании процессов в животноводстве, т. е. может существовать такое несмещенное предсказание, которое имеет меньшую среднеквадратичную ошибку, чем смещенное. Эта возможность нашла отражение в системе следующих уравнений [15, 28, 29]:

$$\begin{bmatrix} X'_1R^{-1}X_1 & X'_1R^{-1}X_2P & X'_1R^{-1}Z \\ PX'_2R^{-1}X_1 & PX'_2R^{-1}X_2P+P & PX'_2R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X_1 & Z'R^{-1}X_2P & Z'R^{-1}Z+G^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\alpha}_2 \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'_1R^{-1}y \\ PX'_2R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix} \quad (7)$$

В этих выражениях матрица X разбита на (X, X_2), $\beta' = (\beta'_1 \beta'_2)$ и $P = \tilde{\beta}_2 \beta'_2$, так что $\hat{\beta}_2 = P\hat{\alpha}_2$, и $\tilde{\beta}_2$ является априорным значением β_2. Важно отметить, что решения для $\hat{\beta}_2$ пропорциональны $\tilde{\beta}_2$, вектору априорных значений, которые используются для формирования матрицы P, и это свойство было сочтено нежелательным [30]. Байесовские методы вычислений могут здесь оказаться предпочтительнее, чем использование сложных уравнений, и могут позволить получить более точные решения по прогнозу BLUP в смысле, что среднеквадратичная ошибка будет меньше [30]. Предвзятые (смещенные) оценки в прогнозе также могут быть сформированы простым добавлением константы к диагональным элементам для фиксированных факторов в модели уравнений MME.

Если использовать смещенные оценки, то необходимо применять методы измерения систематической ошибки и вычисления среднеквадратичных ошибок [31]. Если можно было бы показать, что систематическая ошибка в оценке невелика, то тогда распространение необъективного прогноза генетических качеств особей оказалось приемлемым для быков-производителей. Однако это могло бы иметь юридические последствия.

Матрицы родственных отношений (родства)

Историческими предпосылками важного открытия, касающегося быстрого метода вычисления обратной матрицы отношений исходя из списка отдельных родословных не инбредной популяции [32], было нахождение численных способов вычисления матриц родства.

Модель оценки быков-производителей Северо-Востока США была изменена в 1975 г. таким образом, чтобы включить в анализ отношения между быками на основе их предков по отцу и дедушке по материнской линии (модель grandsire, MGS), и хотя использование аддитивных генетических отношений в генетических оценках было шагом вперед, это привело к нескольким новым проблемам [17, 33, 34].

Первой возникшей проблемой было влияние родственных отношений на генетические групповые взаимодействия. Групповые различия за счет многих лет применения искусственного осеменения были значительно меньше по величине, чем это наблюдалось ранее в моделях без искусственного осеменения. Дискуссии доходили до того, что если бы имелась полная информация о родословной для каждого быка, то проще поколения «слить», и каждого такого быка отнести к одному и тому же «фиксированному» базовому поколению, – настолько эти групповые различия в США могли быть близкими к нулю.

Однако, поскольку отношения основывались только на основании информации об отце, групповые решения отражали различия в выборе метода селекции по материнской родословной [34]. Одновременно был решен вопрос учета инбридинга в обратной матрице отношений, который требовал хронологической упорядоченности данных о предках [35]. Был разработан быстрый метод нумерации отношений до их инверсии, который включал коэффициенты инбридинга. Этот алгоритм оказался очень полезным для мониторинга показателей инбридинга, особенно в небольших популяциях. Как только известен коэффициент инбридинга, за этим сразу следует вычисление правильных обратных элементов.

Скорость сходимости итерационных алгоритмов вычислений для получения решений уравнений смешанной модели при включении в расчет матриц отношений изменилась не к лучшему. Без матрицы взаимосвязей решение для быков обычно достигалось после 15 циклов итерации от начальных значений ценности, равных нулю. После ввода дополнительных недиагональных элементов в отцовской части MME вследствие изменения обратной матрицы отношений, необходимое количество раундов итераций увеличилось.

Возросло и число итераций, необходимых для достижения сходимости с моделью индивидуума (BLUP-AM), поскольку вышло так, что диагональные элементы в MME больше не доминировали вне диагоналей. В итоге пришлось изменить стратегии для решения MME, и оригинальная модель Ч. Хендерсона уже не подходила. Тридиагмализация, технология разреженных матриц, повторные итерации исходных данных, коэффициенты релаксации, рекурсивное трансформирование обратной матрицы, APY – это далеко не все процедуры, которые приходится заводчикам использовать сегодня [36, 37].

Генетическая группировка животных по связям между ними

На практике самые большие проблемы при использовании аддитивных генетических отношений заключаются в *невозможности* проследить родословную *каждого* индивидуума до общего базового поколения и гарантировать то, что животные базовой популяции представляют не отобранную группу особей. Если основная популяция животных возникла в случае их селекции, то необходимо изменить обратную матрицу родства с учетом отбора животных [38, 39]. Решения системы уравнений MME в случае игнорирования генетического базиса (референтной популяции животных) будут, конечно же, похожи на результаты без учета этого факта, но здесь стоит проявить осторожность при интерпретации.

Например, в таком случае рекомендуется использовать матрицу планирования эксперимента с пометками об изменении поколений, а отсутствие полных родословных у каждого из животных необходимо соотнести с базисом, его генетическими группами [40]. Например, можно использовать фантомных родителей, которых затем можно сгруппировать по году рождения их потомства (или другим параметрам), немного изменив уравнения MME [17, 41]. Эта информация изменит и матрицу родственных отношений, где для каждого индивидуума потребуется количество неизвестных родителей – m, и тогда:

$$x = \frac{4}{m+2}. \qquad (8)$$

Затем величина x добавляется к диагональному элементу индивидуума, $x/2$ – к элементам родителей (или родительским группам), и $x/4$ – к диагональным и недиагональным элементам родителей.

Решения для аддитивных генетических эффектов индивидуума в уравнениях MME представляют собой оценку функций групповых эффектов для животных плюс их собственные аддитивные генетические эффекты (как отклонения от группового среднего). Функция групповых эффектов, включенных в решение каждого индивидуума, зависит от частичных знаний о родстве. Если в группе у родителей отсутствуют данные по полу или дате рождения их потомков, и эти неизвестные коровы и быки сгруппированы отдельно, то это часто объединяется в единую группу в уравнениях, т. к. эти данные похожи, и в результате они оцениваются при помощи отдельной матрицы коэффициентов в уравнениях MME.

Дать определение, какие функции групповых эффектов можно оценить, – непростая задача. Для того, чтобы уменьшить число фантомных групповых уравнений, предложено разбивать группы для неизвестных быков-производителей и коров по годам. Если задавать разные интервалы между поколениями для быка и коровы, то это тоже может устранить проблему. Животных, у которых неизвестны оба родителя, как отец, так и мать, тоже можно отнести к одной и той же фантомной группе. Это новый метод работы с отобранными животными генетического базиса, если их родословные неполные [39].

Было также показано, что в рамках концепции фантомных группировок напрямую меняется обратная матрица отношений [41]. Новое предложение концепции состоит в том, чтобы позволить каждому фантомному животному быть отдельной группой и иметь только одного потомка. Кроме того, тогда каждую особь можно проследить вплоть до ее генетического базиса, в котором все животные изначально считаются не отобранными (а фантомные животные вставляются в матрицу там, где это необходимо).

Чтобы учесть выбранных ранее фантомных животных после смены поколения «зеро» – «0», при формировании измененной инверсии необходимо использовать матрицу отношений. Каждое фантомное животное в этой матрице будет рассматриваться как «настоящее», а оба его родителя будут при этом фантомными. Таким образом, фантомные животные в этом предложении будут как бы случайными эффектами. Если поколение базиса удалено от текущих животных на 50 поколений, то файл родословной может содержать уже очень большое число фантомных животных. К счастью, нет необходимости строить инверсию в файле родословной для всех и «реальных» и фантомных животных, т. к. фантомные могут «поглотиться» в будущем и перейти в «реальные». Это требует соблюдения правил для создания соответствующей «поглощенной», модифицированной обратной матрицы отношений исключительно для «реальных» животных. Однако при этом для каждого «реального» индивидуума, для которого неизвестны один или оба родителя, должно быть известно число поколений, на сколько оно удалено от поколения «0».

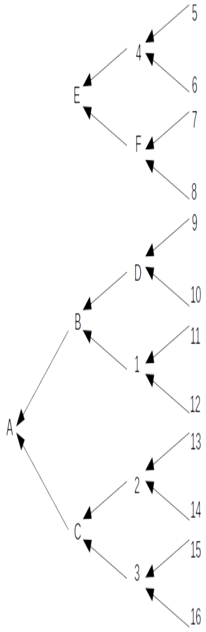


Рис. 1. Пример прослеживания родства животных относительно популяции «зеро» – «0»
Fig. 1. Example of tracing the kinship of animals relative to the “zero” - “0” population

Рассмотрим пример родословной (рис. 1), где фантомных животных обозначим цифрами, а «реальных» – буквами. Животные с 5-го по 16-е пусть образуют поколение «0». В табл. 1 приведена информация о каждом «реальном» животном, где *M* – число неизвестных родителей, *t* – число поколений, удаленных из базиса.

Таблица 1

Данные родства «реальных» животных
Relation data for “real” animals

Животное	Бык	Корова	m	t
A	0	0	0	3
B	0		1	2
C			2	2
D			2	1
E		0	1	2
F			2	1

Введем правила расчета для «поглощенных» животных, и модифицируем инверсию следующим образом:

– если величины m=0, тогда x=2, и x, $\frac{-x}{2}$, $\frac{x}{4}$ добавляем к соответствующей позиции в инверсии, как указано ранее;

– если величины m=2, тогда x=1, вычисляем $w = \frac{(2^t-1)}{(2^{t+1}-1)}$, добавляем (x - w) к диагонали для этого индивида;

– если величины m=1, тогда x=4 / 3, вычисляем $p = \left[x - \frac{(2^{t-1}-1)}{(2^t-1)}\right]^{-1}$ и добавляем $\left(x - \frac{4p}{9}\right)$ к диагонали индивида, $\left(\frac{-x}{2} + 2\frac{p}{9}\right)$ к диагонали «известного» родителя по диагонали и $\left(\frac{x}{4} - \frac{p}{9}\right)$ к известной диагонали «известного» родителя.

Результаты инверсии для «реальных» животных показаны в табл. 2.

Таблица 2

Результат инверсии для «реальных» животных
The result of the inversion for “real” animals

	A	B	C	D	E	F
A	2	-1	-1	0	0	0
B	-1	0	0	0	0	0
C	-1	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	8/9

Самая трудная часть этого метода заключается в определении изначально базисного поколения и количества поколений, после которых каждое животное будет удалено из базиса. Трудность вытекает из предположений о средних интервалах между поколениями для быков-производителей, коров, матерей быков и матерей коров [41]. В свое время для североамериканской популяции молочного скота считалось, что подходящим базисным поколением могут быть животные, рожденные до 1945 г. Необходимо обратить внимание, что по мере увеличения количества поколений – *t*, удаленных от базиса,

$$w = \frac{(2^t - 1)}{(2^{t+1} - 1)}, \tag{9}$$

где *w* приближается к значению 0,5.

Таким образом, вместо того чтобы пытаться подсчитать количество поколений, стоит далее предположить, что любые новые животные, появившиеся в данных продуктивности в 1990 г., отошли от базиса на много поколений вперед. Необходимо дальнейшее изучение этого метода, т. к. могут возникнуть проблемы при решении уравнений путем итерации, поскольку, как показано в предыдущем примере, некоторые из диагональных элементов обратной матрицы отношений могут оказаться меньше единицы.

Неаддитивные генетические эффекты

Разработка новых моделей индивидуума для оценки неаддитивных генетических эффектов основана на выражении [42, 43]

$$y = X\beta + Zg + e, \tag{10}$$

здесь обозначения функций *y*, *Xp*, *Z* и *e* уже описаны ранее, а *g* – вектор суммарных генетических эффектов животных, который можно определить, например, как сумму аддитивных эффектов (*a*), аддитивности аддукции (*aa*), доминирования (*d*), доминирования за счет доминирования (*dd*), доминантный (*ad*), аддитивности за счет действия доминантных генов (*ad*), каждый из которых предполагается независимым от других эффектов. Ковариационная матрица *g* неинбредной популяции при этом находится в равновесии по сцеплению и равна матрице *M*, а именно:

$$M = V(a) + V(aa) + V(d) + V(dd) + V(ad) \tag{11}$$

И если *A* – матрица вычислений отношений, а *D* – доминантная матрица генетических отношений, тогда

$$M = A\sigma_a^2 + A \otimes A\sigma_{aa}^2 + D\sigma_d^2 + D \otimes D\sigma_{dd}^2 + A \otimes D\sigma_{ad}^2 \tag{12}$$

где $\otimes$ – произведение по Адамару.

Тогда

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + M^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^{-1}R^{-1}y \\ Z^{-1}R^{-1}y \end{bmatrix} \tag{13}$$

Далее, рассчитав решение для вектора $\hat{g}$, получим

$$\hat{a} = AM^{-1}\hat{g}; \hat{d} = DM^{-1}\hat{g}; \tag{14}$$

$$aa = (A \otimes A) \cdot M^{-1}\hat{g}; dd = (D \otimes D) \cdot M^{-1}\hat{g}; ad = (A \otimes D) \cdot M^{-1}\hat{g} \tag{15}.$$

Проблема вычислений в этой модели заключается в сложности вычисления матрицы M^{-1}, так как классические правила вычисления матриц A^{-1} к M^{-1} неприменимы. Таким образом, потребуется сильная инверсия плеча матрицы *M* или необходимо построить эквивалентную систему уравнений MME, которая не потребует инверсии матрицы. Были предприняты также попытки оценить генетические эффекты доминирования и генетическую изменчивость доминирования на основании данных по продуктивности молочного скота, у которого путем переноса эмбрионов были созданы большие группы линейных потомков [22].

Обратное значение матрицы *D* можно вычислить, конвертируя *D* в диагональную матрицу, состоящую из блоков, которые достаточно малы для того, чтобы их можно было инвертировать напрямую. На данный момент нет простых и понятных правил, как проводить инверсию матрицы *D* по данным списка родословных, но существуют разработки моделей, основанных на матрице родства гамет, которая допускает инбридинг [44]. С другой стороны, разрабатываются все новые процедуры для прямого вычисления инверсии ($A \otimes A$), где матрица *A* основана на отношениях быков и MGS [45]. В будущем, скорее всего, будут разработаны более эффективные алгоритмы для инвертирования ковариационных матриц для различных типов воздействия генов, до того момента, как у нас появятся подходящие для применения этих методов данные. Тем не менее предположение о равновесии сцепления должно быть упрощено при помощи соответствующих процедур, разработанных для вычисления корректных ковариационных матриц и основанных на способах инвертирования аддитивной генетической матрицы отношений.

Критерии выбора стратегий селекции

Важной областью будущих исследований для селекционеров-зоотехников является разработка новых процедур прогноза племенной ценности, которые должным образом учтут различные виды предвзятости при выборе стратегии селекции [11, 46, 47]. Отбор, по определению, – это любой процесс, естественный или искусственный, который препятствует выживанию или размножению одних особей или позволяет это делать другим. Ключом к пониманию предвзятости, вызванной отбором, является точное описание самого процесса, который может осуществляться по элементам функций *y*, *u* и *e* или по их комбинациям.

Смысл выбора элементов функций *u* и *e* трудно осознать, потому что они являются ненаблюдаемыми. Отбор может быть как прямым, так и косвенным, через коррелированную переменную, скажем, например, функцию *w*, или комбинацию переменных. Отбор может быть описан линейными функциями, происходящими от *y*, *w* или *y* и w, или нелинейными функциями. Таким образом, описание процесса выбора животных требует определения переменной или переменных, на основе которых принимаются решения, и правил или принципов принятия этих решений. Это непростая задача. Используя дефиниции, определяющие функцию *w* как вектор информации о всех кандидатах животных, которые доступны для отбора, такие, что функция *w* коррелирует с величинами функций *y*, *u* или *e*, следующим образом:

$$E\begin{bmatrix} y \\ u \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \\ d \end{bmatrix} \qquad (16)$$

$$V\begin{bmatrix} y \\ u \\ e \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & R & C_{yw}C_w \\ G & 0 & & \end{bmatrix} \qquad (17)$$

Матрицы *G*, *R*, C_{yw}, C_{uw}, C_{ew}, и C_w содержат известные значения параметров перед отбором, при этом решено описывать процессы отбора как функции выбраковки *w*, скажем, *L´w*. Разработан ряд различных матриц *L´* для решения конкретных задач, но явных указаний по формированию *L´* в общем контексте не существует. Большинство примеров матриц *L´* были такими, что строки матрицы *L´* добавляли к нулю, и, следовательно, каждая строка описывала как бы «разницу» в элементах *w* между выбранной особью (или группой особей) от тех особей, которые были выбракованы. Для иллюстрации предположим, что *w* – вектор длиной 7 и что первые три индивидуума предпочтительнее остальных четырех. Тогда матрица *L´*, которая отражала бы эти решения, выглядела бы так:

$$L' = \frac{1}{4}\cdot\begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 4 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 4 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \qquad (18)$$

Если бы три отобранных индивида были выбраны как группа, а не по отдельности, то матрица *L´* бы выглядела так:

$$L' = \frac{1}{12}\cdot[444 - 3 - 3 - 3 - 3] \qquad (19)$$

Если бы функция *w* представляла отдельных коров, а анализ проводился через модель SM, то использование вышеуказанной выбраковки для учета селекции могло бы привести к очень схожим значениям прогноза племенной ценности для быков. Если, однако, анализ проводился бы на модели AM, то использование выбраковки по группам по сравнению с выбраковкой по отдельности могло бы привести к различным величинам прогноза племенной ценности коров, поскольку выбраковка учитывала бы не индивидуальные различия, а была бы скорректирована на среднюю разницу для группы из трех выбранных коров. Таким образом, правило отбора и модель анализа могут иметь решающее значение при устранении предвзятости отбора из прогноза племенной ценности.

В случае принятия модели отбора по Пирсону можно было бы применить многомерную нормальность для получения результатов, представленных в 1985 г. [46, 48], сделав заключения:

$$B = C_{yw}L;\, B_u = C_{uw}L;\, B_e = C_{ew}L;\, H = L'C_wL. \qquad (20)$$

Если учитывать «условные» ожидания в контексте условно заданного отбора на величину функции *w*, тогда это отличалось бы от условно заданной вектором *L´w*. Термин «условный» не следует использовать в этом контексте. Матрицы ожидания и ковариации *W*, учитывающие выбор (обозначаются E_S и V_S), равны:

$$E_s\cdot\begin{bmatrix} y \\ u \\ e \\ L'w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} BH^{-1}\alpha \\ B_uH^{-1}\alpha \\ B_eH^{-1}\alpha \\ \alpha \end{bmatrix} \qquad (21)$$

$$V_s\cdot\begin{bmatrix} u \\ e \\ L'w \end{bmatrix} \qquad (22)$$

Здесь матрицы $H_0 = H^{-1}(H - HS)H^{-1}$, величина α и матрица H_S – это средние значения и дисперсии заданной выборки особей. Как правило, значения α и H_S получить трудно, не предполагая определенного типа отбора (например, отбор по усечению) и зная интенсивность отбора.

В животноводстве селекция усечением представляет стандартный метод отбора для разведения в следующем поколении. Животных ранжируют по их фенотипической ценности по некоторым признакам, например, по молочной продуктивности, и воспроизводят самый высокий процент. Эффекты усеченного отбора для непрерывного селекционного признака могут быть смоделированы стандартным уравнением модели с использованием величин параметров наследуемости и усеченных нормальных распределений. Для бинарного признака можно легко смоделировать модель с выбором порога. Это считается простым и эффективным методом разведения. В количественной генетике это метод отбора, используемый в генетических алгоритмах для выбора потенциальных решений – кандидатов для рекомбинации, смоделированных после выбора метода разведения. При усеченном отборе решения кандидаты упорядочиваются по их пригодности, и некоторая их доля *p* (например, *p*=1/2, 1/3 и т. д.) наиболее приспособленных особей отбирается и воспроизводится 1/*p* раз. Выбор усечения менее сложен, чем другие методы селекции, и используется на практике не часто, а лишь в генетическом алгоритме селекции.

Уравнения смешанной модели [46], в которых учтены вышеуказанные ожидания, примут вид:

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z & X'R^{-1}B_e \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z+G^{-1} & Z'R^{-1}B_e-G^{-1}B_u \\ B_e'R^{-1}X & B_e'R^{-1}Z-B_u'G^{-1} & B_e'R^{-1}B_e+B_u'G^{-1}B_u \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\hat{\beta}\\ \hat{u}\\ \hat{t}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}X'R^{-1}y\\ Z'R^{-1}y\\ B_e'R^{-1}y\end{bmatrix} \quad (23).$$

Замечательной особенностью данной модели является то, что матрица H_S и величина α в ней не проявляются и, следовательно, они не нужны для получения несмещенных прогнозов. Однако решения функции $\hat{t}$ даются вычислением функции $H^{-1}\alpha$.

Проблема селекции с моделью Пирсона заключается в природе предполагаемого процесса выбора особей [48]. Предположим, что есть две коровы (А и В) с записями продуктивности, и они ранжированы на основе базиса их записей как А>В. Если бы эту ситуацию симулировали в рамках модели Пирсона, то наблюдались бы только те примеры, в которых соблюдается условие А>В, и они были бы приняты в повторном исследовании выборки. Это отличает модель от таких схем выбора, где ранжирование А>В, а иногда В>А. Таким образом, здесь ранжирование животных является случайным, и, следовательно, соответствующие матрицы плана эксперимента в модели будут определяться тоже случайно [49, 50].

Последний процесс формирования выборки кажется более реалистичным, чем тот, который предполагается в модели Пирсона и используется в моделях Хендерсона. Но учитывая тот факт, что обычно имеется только одна единственная выборка данных, то процесс их выбора, наблюдаемый при повторной выборке, тоже может быть предметом обсуждения других существующих сегодня альтернатив [46, 49, 50].

Выбраковка коров

Рассмотрим случай с пятью коровами, прошедшими первую лактацию, из которых у двух была вторая. Трем коровам в одних условиях вводили лекарство bST (бычий соматотропин), а двум – нет (табл. 3). Модель без учета других воздействий окружающей среды будет следующей:

$$y_{ijk} = \mu + b_i + a_j + p_j + e_{ijk}\ , \qquad (24)$$

где y_{ijk} – наблюдаемые значения удоя;

μ – современное групповое среднее (фиксированное);

b_i – эффект от лечения bST (фиксированный);

a_j – аддитивный генетический эффект животного (случайный, рандомизированный);

p_j – фиксированный (постоянный) эффект коровы от окружающей среды (случайный);

e_{ijk} – остаточный эффект (случайный) ошибки модели.

Пусть *a*, *p* и *e* – это векторы аддитивных генетических, постоянных экологических и остаточных эффектов соответственно, тогда:

$$V(a) = A\sigma_a^2 \qquad (25)$$

где $A = \frac{1}{16}\cdot\begin{bmatrix}16 & 8 & 2 & 3 & 8\\ 8 & 16 & 2 & 3 & 8\\ 2 & 2 & 17 & 4 & 12\\ 3 & 3 & 4 & 16 & 2\\ 8 & 8 & 12 & 2 & 18\end{bmatrix}$

и σ_a^2 являются аддитивной генетической дисперсией.

$$V(p) = I\sigma_p^2; V(e) = I\sigma_e^2, \qquad (26)$$

где σ_p^2 – постоянная дисперсия окружающей среды;

σ_e^2 – остаточная дисперсия ошибки.

Если наследуемость равна 0,25, а повторяемость 0,5, тогда

$$k_a = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2}; k_p = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2}. \qquad (27)$$

Предположим, что отбор проводился в первые лактации, так что *w*=*y*, и отбор относится к типу *L´y*. Соответствующая матрица *L´* может быть такой:

$$L' = \frac{1}{4}\cdot\begin{bmatrix}-1 & 4 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0\\ -1 & -1 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0\end{bmatrix} \quad (28)$$

для *y´* = (5800 6100 5700 6300 5900 6200 6200)

$$L'y = \begin{bmatrix}175{,}0\\ 425{,}0\end{bmatrix} \qquad (29)$$

Чтобы получить соответствующую систему решений MME для типа отбора $L'y$, мы имеем:

$$B_e = Cov(e, L'y) = RL; B_u = Cov(u, L'y) = GZ'L \quad (30)$$

Тогда:

$$X'R^{-1}B_e = X'L; Z'R^{-1}B_e - G^{-1}B_u = \\ = 0; B_e{}'R^{-1}B_e + B_uG^{-1}B_u = L'(ZGZ' + R)L = L'VL$$

$$B_e{}'R^{-1}y = L'y \quad (31)$$

Уравнения разрешаются так:

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z & X'R^{-1}Z & X'L \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + A^{-1}\lambda_a & Z'R^{-1}Z & 0 \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z & Z'R^{-1}Z + I\lambda_p & 0 \\ L'X & 0 & 0 & L'VL \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{a} \\ \hat{p} \\ \hat{t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \\ L'y \end{bmatrix}$$

где $\lambda_a = \sigma_a^{-2}$ и $\lambda_p = \sigma_p^{-2}$.

Таблица 3

Пример данных для выбраковки коров
Example of data for culling cows

Корова	Лечение заболевания	Удой, кг	
		лактация 1	лактация 2
1	Да	5800	
2	Да	6100	6200
3	Да	5700	
4	Нет	6300	6200
5	Нет	5900	

Решения для этого примера, наряду с решениями без учета отбора и решений с использованием матрицы $L'y$', для групп отобранных животных приведены в табл. 4. Решения, учитывающие такой отбор, не приводят к каким-либо изменениям в ранжировании, лишь незначительно отличаются по абсолютной величине прогноза от решений, не учитывающих тип отбора. Решения для функции *t*, по которым вычисляют $H^{-1}\alpha$, представляют собой модификации матрицы $L'y$', скорректированные с учетом различий в группах с лечением bST по сравнению с группами без лечения, но с учетом родства между коровами. Решения с двумя методами учета типа отбора меньше отличаются друг от друга, чем от решений, целиком игнорирующих селекцию.

Симуляция с соответствующим процессом выбора данных является необходимой для определения того, какой метод учета выбраковки коров следует использовать. В этом примере матрицы $L'X$ не были нулевыми, поскольку одно животное было выбрано из группы, получавшей терапию, и одно животное – из необработанной группы. Матрица $L'X$ также не была бы нулевой, если бы в модель были включены ковариаты. Также выбраковка коров могла быть полностью проигнорирована, если бы $L'X$ была нулевой, например, если бы отбор полностью находился в пределах подклассов с фиксированными эффектами.

Таблица 4

Решения прогноза выбраковки коров с учетом двух методов отбора (индивидуальный и групповой) и без учета отбора
Decisions of culling forecast with consideration of two selection methods (individual and group) and without regard for selection

Решение для метода	Метод селекции		
	Без учета метода, кг	Индивидуальный базис, кг	Групповой базис, кг
bST и без	-226,92	-142,94	-159,21
Аддитивное генетическое окружение			
Корова 1	-12,27	-18,09	-16,96
Корова 2	30,42	30,43	30,43
Корова 3	-62,04	-64,86	-64,32
Корова 4	41,34	51,54	49,56
Корова 5	-59,73	-60,34	-60,22
Неизменное окружение			
Корова 1	-23,07	-35,96	-33,46
Корова 2	62,32	61,07	61,31
Корова 3	-39,82	-53,70	-51,01
Корова 4	50,13	64,68	61,94
Корова 5	-49,56	-36,19	-38,73
t_1		298,96	468,15
t_2		328,34	

Ассоциации между стадами и быками-производителями

Многие модели прогноза племенной ценности быков-производителей учитывали влияние эффектов «стадо – год – сезон» (HYS), которые логично считать случайной величиной. Из-за возможности того, что лучшие быки связаны с лучшим стадом коров, эффекты HYS рассматривались в уравнениях MME как фиксированные эффекты. Показано, что ожидания от быков были равны ожиданиям истинной ценности быков в соответствии с заданной моделью отбора.

Для стран с небольшим размером стад существует множество подклассов HYS, где участвуют только 3 или менее телок в первой лактации и фиксированные эффекты HYS. В большинство подклассов в таких случаях не будет вноситься никакая информация в уравнения для быка вследствие поглощения уравнений HYS. Предполагается, что в таких странах связь между быками не существует и просто принято считать эффекты HYS случайными величинами. Если же связь действительно существует, то эффекты HYS также можно считать случайными, но селекционеру придется признать, что исходные решения по прогнозу не будут полностью объективными и, возможно, не будут иметь меньшую среднеквадратичную ошибку.

Пример показывает, что модели, разработанные для одной страны (и ситуации) не могут быть непосредственно перенесены в другие страны (и ситуации), универсальной модели для всех стран или пород не существует. Была определена связь между быками и эффектами HYS как связь между истинной племенной ценностью производителей и истинными эффектами HYS, причем оба из которых не наблюдаемы. В определении линейной модели это будет матрица $L'u$ типа отбора, где функция u будет вектором истинных эффектов HYS:

$$y = Xb + Za + Fh + e\,, \qquad (33)$$

где y – вектор наблюдаемой продуктивности;

b – вектор фиксированных эффектов;

a – случайный вектор аддитивных генетических эффектов индивидуума (быка-производителя);

h – случайный вектор эффектов HYS;

e – случайн$y = Xb + Za + Fh + e$ых эффектов;

X, Z и F – соответствующие матрицы инцидентности (бинарного отношения между двумя различными типами объектов).

В ситуации отсутствия отбора

$$V(a) = A\sigma_a^2; V(h) = I\sigma_h^2; V(e) = I\sigma_e^2 \qquad (34)$$

Если $w = h$, то матрица L' может состоять из s строк для s быков с потомством в этих HYS-подклассах, и каждая строка в матрице будет отражать «различие» в величинах истинных эффектов HYS тех подклассов, в которых каждый бык имел потомство от тех подклассов, в которых самец не имел потомства. Каждый бык-производитель должен иметь по крайней мере один подкласс, в котором у него нет потомства, чтобы вообще было сформировано определение матрицы L'. Вероятно, будут такие быки, которые в прошлом имели потомков, которые принадлежат на самом деле к одним и тем же подклассам, тогда для них две строки в L' будут идентичны. Точно так же некие два быка могут иметь потомство в точно противоположных подклассах, тогда для них два ряда в L' будут одинаковыми, за исключением знака. В L' в итоге должна быть включена лишь одна строка. Если бы все быки имели потомство во всех подклассах, тогда не было бы необходимости учитывать неслучайную связь производителей с HYS.

Для выбора типа $L'u$ и модели, приведенной выше, рекомендуется использовать следующие уравнения:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'F & 0 \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}k_s & Z'F & 0 \\ F'X & F'Z & F'F + Ik_a & -L \\ 0 & 0 & -L' & L'Lk_h^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{s} \\ \hat{h} \\ \hat{t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ F'y \\ 0 \end{bmatrix} (35).$$

Рассмотрим в качестве примера данные (табл. 5) по коровам 5 вариантов HYS от 4 быков. Эти данные были проанализированы на 5 моделях $y = Xb + Za + Fh + e$ля некоторых эффектов приведены в табл. 5 Одна из моделей игнорировала быка в ассоциации с HYS, и эффекты HYS в анализе были случайными. Во второй модели эффекты HYS рассматривались как фиксированные, а в третьей модели использовались уравнения, где матрица L' формировалась как

$$L' = \frac{1}{6} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 & -3 & -3 \\ 2 & 2 & -3 & 2 & -3 \\ -2 & -2 & -2 & 3 & 3 \\ -3 & 2 & 2 & -3 & 2 \end{bmatrix} \qquad (36)$$

с одним рядом на каждого быка. В этом примере строки для быков 1 и 3 совпадают, за исключением знака, поэтому строка 3 была для этой модели при анализе исключена. Последние две модели описывают связь между генотипами животных (*a*) и эффектами HYS (*h*) посредством ковариации:

$$V \cdot \begin{bmatrix} h \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_h^2 & S\sigma_{ah} \\ S'\sigma_{ah} & A\sigma_a^2 \end{bmatrix} \quad (37)$$

Предположим, что для всех моделей

$$\sigma_a^2 = 0{,}25\sigma_y^2; \sigma_h^2 = 0{,}375\sigma_y^2;$$
$$\text{и } \sigma_{ah} = 0{,}03\sigma_y^2, \text{ и } \sigma_{ah} = 0{,}20\sigma_y^2 \quad (38)$$

Матрица *S* будет эквивалентна *F´Z*. Аддитивные генетические племенные ценности коров, записанных в HYS, коррелируют с этими эффектами. Первая модель получилась аналогичной двум последним моделям, за исключением того, что ковариация между *a* и *h* считалась равной 0. Решения для 5 моделей оценки эффектов HYS и быка (выраженные как отличия от первого эффекта HYS и первого быка соответственно) значительно различались. Поскольку ковариация между *a* и *h* увеличилась, то диапазон различий по быкам и эффектам HYS уменьшился, однако рейтинг быков и эффектов HYS при этом не изменился. В модели с эффектами HYS, выбранными фиксированными, так и с использованием уравнения (19) привело к переоценке быков 2 и 3 в первой модели, что и в данном случае привело к увеличению различий в эффектах HYS.

Таблица 5

Пример данных для производителей по проблеме «стадо – год – сезон» (HYS)

Sample data for producers on the herd - year - season (HYS) problem

HYS	Номер быка	Номер коровы	Удой по 1-й лактациии, кг
1	1	5	6100
1	1	6	6300
1	2	7	5800
2	1	8	6500
2	2	9	6000
2	4	10	5000
3	1	11	6400
3	1	12	6200
3	4	13	5200
4	2	14	5900
4	2	15	5700
4	3	16	5600
5	3	17	5500
5	3	18	5800
5	4	19	5400
5	4	20	5100

В случае выбора – какая из моделей наиболее подходит для этого решения – необходимо исходить из того, какая модель лучше всего описывает процесс формирования выборки эксперимента. Модель ковариации допускает среднюю степень ассоциации для всех типов HYS и животных. На практике степень ассоциации генотипов животных с эффектами HYS может различаться для разных стад и может не иметь линейной зависимости. Использование ковариационной модели требует инверсии (33), что исключает использование быстрого метода для инвертирования матрицы отношений.

Рассмотрение эффектов HYS как фиксированных объясняет систематическую ошибку (смещение) в генетических оценках животных, но этот прогноз не обязательно будет лучшим. С другой стороны, формирование матрицы *L´* и решение (31) может быть очень затратным. Степень смещения, возникающего в генетической оценке, если эта ассоциация игнорируется, не была количественно определена.

Оценка смещения анализа при выборе животных

Естественным следствием высоких цен на сперму и эмбрионы генетически более совершенных особей является то, что часто наблюдается предвзятость к потомству таких животных (PREF, animal preferences), т. е. потомство обеспечивается более благоприятной средой при кормлении и содержании, чем потомство животных среднего или ниже среднего уровня ценности. Выявление и учет PREF-животных невозможны без ежедневного наблюдения за ними в каждом стаде. Когда PREF были идентифицированы впервые, было предложено удалить их записи из базы данных. Некоторые PREF можно рассматривать как результат отбора по остаточным эффектам, например, в линейной модели, или, по крайней мере, в качестве остатка, в котором бы такие животные получали измененную селекционером оценку [46].

Существует простой подход к решению проблемы, заключающийся в добавлении в модель групп с PREF и назначении коров в эти группы. Простым способом группировки может быть цена спермы их быков-производителей на момент зачатия этой особи. Все потомство одного быка не будет (и не должно быть) отнесено к одной и той же группе PREF. Обычно цена спермы быка меняется по мере того, как бык переходит от начальной фазы выборки к своей первой оценке племенной ценности, и к оценке, основанной на дочерях второго цикла осеменения. Для реализации этой модели записи о ценах на сперму быков необходимо накапливать, а затем объединять с данными о регистрации данных по продуктивности их дочерей в соответствии с датой отела. Это очень сложная задача, требующая сотрудничества всех станций искусственного осеменения и РИСЦ, т. к. ведение и существование полных прайс-листов на всех быков в настоящее время сомнительно. Анализ на модели AM для PREF-групп (очень похоже на пример с эффектом групп лечения коров) может предоставить вычисление различий от среднего при лечении на коров в каждой группе с поправкой на все другие эффекты, используемые в модели. Затем эти различия могут быть проверены на значимость и достоверность. Кроме того, коровы, которые подвергались предпочтительному лечению, будут приспособлены для этого лечения, и это может быть эффектом группы PREF, к которой они были отнесены. Тот факт, что мы не знаем, с какими коровами обращались более предпочтительно, не поможет нам определить, какие коровы все еще переоценены.

Создание больших полнородственных групп коров путем эмбриотрансфера может потребовать формирования групп PREF на основе ценности обоих родителей (быка-производителя и матери-донора), а не только быка. Если недоступна информация о ценах на сперму, то для оценки производственных селекционных признаков возможна группировка коров на основе оценки типа их отцов и матерей. Простая стратегия заключалась бы в использовании типов классификации самой коровы. Однако если существует генетическая связь между типом и продуктивностью, то стратегия использования типовых данных для быков-производителей, матерей или коровы не может применяться. Предвзятое обращение можно также рассматривать как связь между аддитивными генетическими эффектами животных и остаточными эффектами, с которыми можно справиться вышеописанными алгоритмами оценки производственных селекционных признаков.

ВЫВОДЫ

1. Детали генетической оценки животных описаны в монографии [15], и в настоящее время все исследования в области селекции и воспроизводства сельскохозяйственных животных основаны на этих алгоритмах. При этом вопрос о непредвзятости оценки племенной ценности остается открытым. Важным открытием являлись способы инвертирования матрицы аддитивных генетических отношений. Это привело к применению моделей индивидуума (AM) для племенной генетической оценки и исследованию неаддитивных генетических эффектов. Учет инбридинга и отбора животных генетического базиса, а также уместность фиктивных родительских групп в отношениях решается при помощи матриц генетических и неаддитивных генетических отношений.

2. Данная область исследований при становлении племенной оценки при помощи BLUP в России будет очень значимой, но в техническом исполнении сложной и трудной. Вычисление генетических параметров и племенной ценности по данным о субъектах также вызовет сложности в методологии [4]. Ключевым моментом будет точное описание методологии выбора животных и данных по ним, правил выбора и предполагаемых моделей селекции. Основной вклад, охватывающий широту тем и оказавший большое влияние на все области математической статистики в животноводстве, стали результатом усилий одного человека, Чарльза Хендерсона, и мировая прикладная наука о животноводстве навсегда останется у него за это в долгу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Lush J.L.* The bull index problem in the light of modern genetics // Journal of Dairy Science. – 1933. – Vol. 16, N 6. – P. 501–522. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(33)93369-X.
2. *Mood A.M.F.* Introduction to the Theory of Statistics. – 1950. – P. 1–17.
3. *Henderson C.R.* Estimation of general, and maternal combining abilities in crosses among inbred lines of swine. – Iowa State University, 1948. – P. 25–27.
4. *Henderson C.R.* Estimation of changes in herd environment // J. Dairy Sci. – 1949. – Vol. 32, N 8. – P. 706–706.
5. *Misztal I., Stein Y., Lourenco D.A.L.* Genomic evaluation with multibreed and crossbred data // JDS Communications. – 2022. – P. 1-10. – https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0177.
6. *Barwick S.A., Henzell A.L.* Development successes and issues for the future in deriving and applying selection indexes for beef breeding // Australian Journal of Experimental Agriculture. – 2005. – Vol. 45, N 8. – P. 923–933. – https://doi.org/10.1071/EA05068.
7. *Misztal I., Aggrey S.E., Muir W.M.* Experiences with a single-step genome evaluation // Poultry science. – 2013. – Vol. 92, N 9. – P. 2530–2534. – https://doi.org/10.3382/ps.2012-02739.
8. *Shook G.E.* Major advances in determining appropriate selection goals // Journal of Dairy Science. – 2006. – Vol. 89, N 4. – P. 1349–1361. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72202- 0.
9. *Methods* for genomic evaluation of a relatively small genotyped dairy population and of genotyped cow information in multiparity analyses / D.A.L. Lourenco, I. Misztal, S. Tsuruta [et al.] // Journal of dairy science. – 2014. – Vol. 97, N 3. – P. 1742–1752. https://doi.org/10.3168/jds.2013-6916.
10. *Genetic* parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP / E.J. Oliveira, F.A. Santana, L.A. Oliveira [et al.] // Genetics and Molecular Research. – 2014. – Vol. 13, N 3. – P. 6683–6700. – http://dx.doi.org/10.4238/2014.August.28.13.
11. *Genomic* evaluation of cattle in a multi-breed context / M.S. Lund, G. Su, L. Janss [et al.] // Livestock Science. – 2014. – Vol. 166. – P. 101–110. – https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.05.008.
12. *Henderson C.R.* General of linear model techniques for sire evaluation // Journal of Dairy Science. – 1974. – Vol. 57, N 8. – P. 963–972. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)84993-3.
13. *Henderson C.R.* Comparison of alternative sire evaluation methods // Journal of Animal Science. – 1975. – Vol. 41, N 3. – P. 760–770. – https://doi.org/10.2527/jas1975.413760x.
14. *Henderson C.R.* Best linear unbiased prediction of breeding values not in the model for records // Journal of Dairy Science. – 1977. – Vol. 60, N 5. – P. 783–787. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83935-0.
15. *L.R.* Application of random regression models in animal breeding // Livestock Production Science. – 2004. – Vol. 86, N 1–3. – P. 35–45. – https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00151-9.
16. *Henderson C.R., Quaas R.L.* Multiple trait evaluation using relatives' records // Journal of Animal Science. – 1976. – Vol. 43, N 6. – P. 1188–1197. – https://doi.org/10.2527/jas1976.4361188x.
17. *Quaas R.L.* Additive genetic model with groups and relationships / /Journal of Dairy Science. – 1988. – Vol. 71, N 5. – P. 1338–1345. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79691-5.
18. *Generalized* estimation of the BLUP in ects models: A comparison with ML and REML / C.R. Yu, K.H. Zou, M.O. Carlsson, S. Weerahandi // Communications in Statistics-Simulation and Computation. – 2015. – Vol. 44, N 3. – P. 694–704. – https://doi.org/10.1080/03610918.2013.790445.
19. *L.R.* CR Henderson: Contributions to predicting genetic merit //Journal of dairy science. – 1991. – Vol. 74, N 11. – P. 4052–4066. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78601- 3.
20. *Calus M.P.L., De Haas Y., Veerkamp R.F.* Combining cow and bull reference populations to increase accuracy of genomic prediction and genome-wide association studies // Journal of Dairy Science. – 2013. – Vol. 96, N 10. – P. 6703–6715. – https://doi.org/10.3168/jds.2012-6013.
21. *Gianola D., Foulley J.L., Fernando R.L.* Prediction of breeding values when variances are not known // Génétique sélection évolution. – 1986. – Vol. 18, N 4. – P. 485–498.

22. *Yang H., Su G.* Impact of phenotypic information of previous generations and depth of pedigree on estimates of genetic parameters and breeding values // Livestock Science. – 2016. – Vol. 187. – P. 61–67. – https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.03.001.
23. *Henderson C.R.* Equivalent linear models to reduce computations // Journal of Dairy Science. – 1985. – Vol. 68, N 9. – P. 2267–2277. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81099-7.
24. *Quaas R.L., Pollak E.J.* Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs // Journal of Animal Science. – 1980. – Vol. 51, N 6. – P. 1277–1287. – https://doi.org/10.2527/jas1981.5161277x.
25. *Gianola D., Fernando R.L.* Bayesian methods in animal breeding theory // Journal of Animal Science. – 1986. – Vol. 63, N 1. – P. 217–244. – https://doi.org/10.2527/jas1986.631217x.
26. *Henderson C.R.* Use of all relatives in intraherd prediction of breeding values and producing abilities // Journal of Dairy Science. – 1975. – Vol. 58, N 12. – P. 1910–1916. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84808-9.
27. *Van Vleck L.D.* Derivation of Henderson's method of incorporating insemination sire evaluations into intraherd prediction of breeding values //Journal of Dairy Science. – 1982. – Vol. 65, N 2. – P. 284–286. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82190-5.
28. *Chen X., Liang H., Wang Y.* Total positivity of recursive matrices // Linear Algebra and its Applications. – 2015. – Vol. 471. – P. 383–393. – https://doi.org/10.1016/j.laa.2015.01.009.
29. *Misztal I., Legarra A.* Invited review: computation strategies in genomic selection // Animal. – 2017. – Vol. 11, N 5. – P. 731–736. – DOI:10.1017/S1751731116002366.
30. *Misztal I., Aggrey S.E., Muir W.M.* Experiences with a single-step genome evaluation // Poultry science. – 2013. – Vol. 92, N 9. – P. 2530–2534. – https://doi.org/10.3382/ps.2012-02739.
31. *Henderson C.R.* Simple method to compute biases and mean squared errors of linear estimators and predictors in a selection model assuming multivariate normality // Journal of Dairy Science. – 1988. – Vol. 71, N 11. – P. 3135–3142. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79914-2.
32. *Henderson C.R.* A simple method for computing the inverse of a numerator relationship matrix used in prediction of breeding values // Biometrics. – 1976. – P. 69–83. – https://doi.org/10.2307/2529339.
33. *Darvasi A.* Experimental strategies for the genetic dissection of complex traits in animal models // Nature genetics. – 1998. – Vol. 18, N 1. – P. 19–24.
34. *Pollak E.J., Quaas R.L.* of group in sire evaluation models // Journal of Dairy Science. – 1983. – Vol. 66, N 7. – P. 1503–1509. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81965-1.
35. *Quaas R.L.* Computing the diagonal elements and inverse of a large numerator relationship matrix // Biometrics. – 1976. – P. 949–953. – https://doi.org/10.2307/2529279.
36. *Misztal I., Legarra A., Aguilar I.* Using recursion to compute the inverse of the genomic relationship matrix // Journal of dairy science. – 2014. – Vol. 97, N 6. – P. 3943–3952. – https://doi.org/10.3168/jds.2013-7752.
37. *Misztal I.* Restricted maximum likelihood estimation of variance components in animal model using sparse matrix inversion and a supercomputer // Journal of Dairy Science. – 1990. – Vol. 73, N 1. – P. 163–172. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78660-2.
38. *Henderson C.R.* Best linear unbiased prediction using relationship matrices derived from selected base populations // Journal of Dairy Science. – 1985. – Vol. 68, N 2. – P. 443–448. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80843-2.
39. *Assessing* the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes / H. Eding, R.P. Crooijmans, M.A. Groenen [et al.] // Genetics Selection Evolution. – 2002. – Vol. 34, N 5. – P. 613–633. – https://doi.org/10.1051/gse:2002027.
40. *Methods* for genomic evaluation of a relatively small genotyped dairy population and of genotyped cow information in multiparity analyses / D.A.L. Lourenco, I. Misztal, S. Tsuruta [et al.] // Journal of dairy science. – 2014. – Vol. 97, N 3. – P. 1742–1752. – https://doi.org/10.3168/jds.2013-6916.
41. *Genomic-polygenic* and polygenic predictions for milk yield, fat yield, and age at calving in Thai multibreed dairy population using genic and functional sets of genotypes / T. Laodim, M.A.

Elzo, S. Koonawootrittriron [et al.] // Livestock Science. – 2019. – Vol. 219. – P. 17–24. – https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.008.
42. *Zhou J.* Advances in Pedigree Analysis: Hardy-Weinberg Equilibrium, Strain Imputation, and Angeles, 2011.
43. *Ahlborn-Breier G., Hohenboken W.D.* Additive and nonadditive genetic on milk production in dairy cattle: evidence for major individual heterosis // Journal of Dairy science. – 1991. – Vol. 74, N 2. – P. 592–602. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78206-4.
44. *Smith S.P., Mäki-Tanila A.* Genotypic covariance matrices and their inverses for models allowing dominance and inbreeding // Genetics Selection Evolution. – 1990. – Vol. 22, N 1. – P. 65–91.
45. *VanRaden P.M., Hoeschele I.* Rapid inversion of additive by additive relationship matrices by including sire-dam combination // Journal of dairy science. – 1991. – Vol. 74, N 2. – P. 570–579. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78204-0.
46. *L.R.* CR Henderson: Contributions to predicting genetic merit // Journal of Dairy Science. – 1991. – Vol. 74, N 11. – P. 4052–4066. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78601-3.
47. *Kahneman D., Thaler R.H.* Anomalies: Utility maximization and experienced utility // Journal of economic perspectives. – 2006. – Vol. 20, N 1. – P. 221–234. – DOI: 10.1257/089533006776526076.
48. *Single-step* genomic evaluation using multitrait random regression model and test-day data / M. Koivula, I. Strandén, J. Pösö [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2015. – Vol. 98, N 4. – P. 2775–2784. – https://doi.org/10.3168/jds.2014-8975.
49. *Likelihood* estimation of quantitative genetic parameters when selection occurs: models and problems / D. Gianola, R.L. Fernando, S. Im [et al.] // Genome. – 1989. – Vol. 31, N 2. – P. 768–777. – https://doi.org/10.1139/g89-136.
50. *Gianola D., Im S., Fernando R.L.* Prediction of breeding value under Henderson's selection model: a revisitation // Journal of dairy science. – 1988. – Vol. 71, N 10. – P. 2790–2798. – https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79873-2.
51. *Single* Step, a general approach for genomic selection / A. Legarra, O.F Christensen, I. Aguilar [et al.] // Livestock Science. – 2014. – Vol. 166. – P. 54–65. – https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.029.

REFERENCES

1. Lush J.L., The bull index problem in the light of modern genetics, *Journal of Dairy Science*, 1933, Vol. 16, No. 6, P. 501–522, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(33)93369-X.
2. Mood A.M.F., *Introduction to the Theory of Statistics*, 1950, pp. 1–17.
3. Henderson C.R., *Estimation of general, and maternal combining abilities in crosses among inbred lines of swine*, Iowa State University, 1948, pp. 25–27.
4. Henderson C.R. Estimation of changes in herd environment, *J. Dairy Sci*, 1949, Vol. 32, No. 8, pp. 706–706.
5. Misztal I., Stein Y., Lourenco D.A.L., Genomic evaluation with multibreed and crossbred data, *JDS Communications*, 2022, pp. 1–10, https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0177.
6. Barwick S.A., Henzell A.L., Development successes and issues for the future in deriving and applying selection indexes for beef breeding, *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2005, Vol. 45, No. 8, pp. 923–933, https://doi.org/10.1071/EA05068.
7. Misztal I., Aggrey S.E., Muir W.M., Experiences with a single-step genome evaluation, *Poultry science*, 2013, Vol. 92, No. 9, pp. 2530–2534, https://doi.org/10.3382/ps.2012-02739.
8. Shook G.E., Major advances in determining appropriate selection goals, *Journal of dairy science*, 2006, Vol. 89, No. 4, pp. 1349–1361, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72202-0.
9. Lourenco D.A.L., Misztal I., Tsuruta S., Aguilar I., Ezra E., Ron M., Weller J.I., Lourenco D.A.L. [et al.], Methods for genomic evaluation of a relatively small genotyped dairy population and effect of genotyped cow information in multiparity analyses, *Journal of dairy science*, 2014, Vol. 97, No. 3, pp. 1742–1752, https://doi.org/10.3168/jds.2013-6916.
10. Oliveira E.J., Santana F.A., Oliveira L.A., Santos V.S. Oliveira E.J. [et al.], Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP, *Genetics*

and Molecular Research, 2014, Vol. 13, No. 3, pp. 6683–6700, http://dx.doi.org/10.4238/2014.August.28.13.

11. Lund M.S., Su G., Janss L., Guldbrandtsen B., Brøndum R.F., Lund M.S. [et al.] Genomic evaluation of cattle in a multi-breed context, *Livestock Science*, 2014, Vol. 166, pp. 101–110, https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.05.008.
12. Henderson C.R., General of linear model techniques for sire evaluation, *Journal of Dairy Science*, 1974, Vol. 57, No. 8, pp. 963–972, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)84993-3.
13. Henderson C.R., Comparison of alternative sire evaluation methods, *Journal of Animal Science*, 1975, Vol. 41, No. 3, pp. 760–770, https://doi.org/10.2527/jas1975.413760x.
14. Henderson C.R., Best linear unbiased prediction of breeding values not in the model for records, *Journal of Dairy Science*, 1977, Vol. 60, No 5, pp. 783–787, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83935-0.
15. L.R., Application of random regression models in animal breeding, *Livestock Production Science*, 2004, Vol. 86, No. 1–3, pp. 35–45, https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00151-9.
16. Henderson C.R., Quaas R.L., Multiple trait evaluation using relatives' records, *Journal of animal science*, 1976, Vol. 43, No. 6, pp. 1188–1197, https://doi.org/10.2527/jas1976.4361188x.
17. Quaas R.L., Additive genetic model with groups and relationships, *Journal of Dairy Science*, 1988, Vol. 71, No. 5, pp. 1338–1345, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79691-5.
18. Yu C.R., Zou K.H., Carlsson M.O., Weerahandi S., Generalized estimation of the BLUP in mixed-models: A comparison with ML and REML, *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 2015, Vol. 44, No. 3, pp. 694–704, https://doi.org/10.1080/03610918.2013.790445.
19. L.R. CR Henderson: Contributions to predicting genetic merit, *Journal of dairy science*, 1991, Vol. 74, No. 11, pp. 4052–4066, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78601-3.
20. Calus M. P.L., De Haas Y., Veerkamp R.F., Combining cow and bull reference populations to increase accuracy of genomic prediction and genome-wide association studies, *Journal of Dairy Science*, 2013, Vol. 96, No. 10, pp. 6703–6715, https://doi.org/10.3168/jds.2012-6013.
21. Gianola D., Foulley J. L., Fernando R.L., Prediction of breeding values when variances are not known, *Génétique sélection évolution*, 1986, Vol. 18, No. 4, pp. 485-–498.
22. Yang H., Su G., Impact of phenotypic information of previous generations and depth of pedigree on estimates of genetic parameters and breeding values, *Livestock Science*, 2016, Vol. 187, pp. 61–67, https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.03.001.
23. Henderson C.R., Equivalent linear models to reduce computations, *Journal of Dairy Science*, 1985, Vol. 68, No. 9, pp. 2267–2277, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81099-7.
24. Quaas R.L., Pollak E.J., Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs, *Journal of Animal Science*, 1980, Vol. 51, No. 6, pp. 1277–1287. https://doi.org/10.2527/jas1981.5161277x.
25. Gianola D., Fernando R.L., Bayesian methods in animal breeding theory, Journal of Animal Science, 1986, Vol. 63, No. 1, pp. 217–244, https://doi.org/10.2527/jas1986.631217x.
26. Henderson C.R., Use of all relatives in intraherd prediction of breeding values and producing abilities, *Journal of Dairy Science*, 1975, Vol. 58, No. 12, pp. 1910–1916, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84808-9.
27. Van Vleck L.D., Derivation of Henderson's method of incorporating insemination sire evaluations into intraherd prediction of breeding values, *Journal of Dairy Science*, 1982, Vol. 65, No. 2, pp. 284–286, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82190-5.
28. Chen X., Liang H., Wang Y., Total positivity of recursive matrices, *Linear Algebra and its Applications*, 2015, Vol. 471, pp. 383–393. https://doi.org/10.1016/j.laa.2015.01.009.
29. Misztal I., Legarra A., Invited review: computation strategies in genomic selection, *Animal*, 2017, Vol. 11, No. 5, pp. 731–736, doi:10.1017/S1751731116002366.
30. Misztal I., Aggrey S.E., Muir W.M., Experiences with a single-step genome evaluation, *Poultry science*, 2013, Vol. 92, No. 9, pp. 2530–2534, https://doi.org/10.3382/ps.2012-02739.
31. Henderson C.R., Simple method to compute biases and mean squared errors of linear estimators and predictors in a selection model assuming multivariate normality, *Journal of Dairy Science*, 1988, Vol. 71, No. 11, pp. 3135–3142, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79914-2.

32. Henderson C.R., A simple method for computing the inverse of a numerator relationship matrix used in prediction of breeding values, *Biometrics*, 1976, pp. 69–83. https://doi.org/10.2307/2529339.
33. Darvasi A., Experimental strategies for the genetic dissection of complex traits in animal models, *Nature genetics*, 1998, Vol. 18, No. 1, pp. 19–24.
34. Pollak E.J., Quaas R.L., of group in sire evaluation models, *Journal of Dairy Science*, 1983, Vol. 66, No. 7, pp. 1503–1509, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81965-1.
35. Quaas R.L., Computing the diagonal elements and inverse of a large numerator relationship matrix, *Biometrics*, 1976, pp. 949–953, https://doi.org/10.2307/2529279.
36. Misztal I., Legarra A., Aguilar I., Using recursion to compute the inverse of the genomic relationship matrix, *Journal of dairy science*, 2014, Vol. 97, No. 6, pp. 3943–3952, https://doi.org/10.3168/jds.2013-7752.
37. Misztal I., Restricted maximum likelihood estimation of variance components in animal model using sparse matrix inversion and a supercomputer, *Journal of Dairy Science*, 1990, Vol. 73, No. 1, pp. 163–172, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78660-2.
38. Henderson C.R., Best linear unbiased prediction using relationship matrices derived from selected base populations, *Journal of Dairy Science*, 1985, Vol. 68, No. 2, pp. 443–448, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80843-2.
39. Eding H., Crooijmans R.P., Groenen M.A., Meuwissen T.H. Eding H. [et al.], Assessing the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes, *Genetics Selection Evolution*, 2002, Vol. 34, No. 5, pp. 613–633, https://doi.org/10.1051/gse:2002027.
40. Lourenco D.A.L., Misztal I., Tsuruta S., Aguilar I., Ezra E., Ron M., Weller J.I., Lourenco D.A.L. [et al.], Methods for genomic evaluation of a relatively small genotyped dairy population and effect of genotyped cow information in multiparity analyses, *Journal of dairy science*, 2014, Vol. 97, No. 3, pp. 1742–1752, https://doi.org/10.3168/jds.2013-6916.
41. Laodim T., Elzo M.A., Koonawootrittriron S., Suwanasopee T., Jattawa D., Genomic-polygenic and polygenic predictions for milk yield, fat yield, and age at calving in Thai multibreed dairy population using genic and functional sets of genotypes, *Livestock Science*, 2019, Vol. 219, pp. 17–24, https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.008.
42. Zhou J., *Advances in Pedigree Analysis: Hardy-Weinberg Equilibrium, Strain Imputation, and* , University of California, Los Angeles, 2011.
43. Ahlborn-Breier G., Hohenboken W.D., Additive and nonadditive genetic on milk production in dairy cattle: evidence for major individual, *Journal of Dairy science*, 1991, Vol. 74, No. 2, pp. 592–602, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78206-4.
44. Smith S.P., Mäki-Tanila A., Genotypic covariance matrices and their inverses for models allowing dominance and inbreeding, *Genetics Selection Evolution*, 1990, Vol. 22, No. 1, pp. 65–91.
45. VanRaden P.M., Hoeschele I., Rapid inversion of additive by additive relationship matrices by including sire-dam combination *Journal of dairy science*, 1991, Vol. 74, No. 2, pp. 570–579, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78204-0.
46. L.R., CR Henderson: Contributions to predicting genetic merit, *Journal of dairy science*, 1991, Vol. 74, No. 11, pp. 4052–4066, https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78601-3.
47. Kahneman D., Thaler R.H., Anomalies: Utility maximization and experienced utility, Journal of economic perspectives, 2006, Vol. 20, No. 1, pp. 221–234, DOI: 10.1257/089533006776526076.
48. Koivula M., Strandén I., Pösö J., Aamand G.P., Mäntysaari E.A., Koivula M. [et al.], Single-step genomic evaluation using multitrait random regression model and test-day data, *Journal of Dairy Science*, 2015, Vol. 98, No. 4, pp. 2775–2784, https://doi.org/10.3168/jds.2014-8975.
49. Gianola D., Fernando R.L., Im S., Foulley J.L., Gianola D. [et al.], Likelihood estimation of quantitative genetic parameters when selection occurs: models and problems, *Genome*, 1989, Vol. 31, No. 2, pp. 768–777, https://doi.org/10.1139/g89-136.
50. Gianola D., Im S., Fernando R.L., Prediction of breeding value under Henderson's selection model: a revisitation, *Journal of dairy science*, 1988, Vol. 71, No. 10, pp. 2790–2798., https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79873-2.

51. Legarra A., Christensen O.F., Aguilar I., Misztal I., Legarra A. [et al.], Single Step, a general approach for genomic selection, *Livestock Science*, 2014, Vol. 166, pp. 54–65, https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.029.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-97-104
УДК636.2.034

МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ КРАСНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ С РАЗНЫМ ПРОДУКТИВНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

[1]**А.И. Голубков,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник
[2]**Л.В. Ефимова,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник
[1]**А.А. Голубков,** кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
[3]**С.В. Ермолаев,** директор
[4]**Н.М. Сазонова,** главный зоотехник

[1]*Красноярская лаборатория по разведению крупного рогатого скота ФГБНУ ВНИИ племенного дела, п. Солонцы Красноярского края, Россия*
[2]*Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия*
[3]*ООО «Вермикулит», Красноярск, Россия,*
[4]*ЗАО «Светлолобовское», с. Светлолобово Красноярского края, Россия*

E-mail: ljubow_wal@mail.ru

Ключевые слова: молочная продуктивность, красно-пестрая порода, продуктивное долголетие, интенсификация производства молока, затраты на производство молока и прироста живой массы, экономическая эффективность.

Реферат. Изучены структура стада и признаки молочной продуктивности коров красно-пестрой породы с разной продолжительностью их производственного использования. Установлено, что в структуре стада преобладают коровы в возрасте до трех отелов (70,25%). С возрастом коров в отелах от 4 до 10 поголовье коров сокращается за каждую лактацию на 0,7–4,27%. Наиболее многочисленной является группа коров в возрасте 1-го отела (33,68%), малочисленной – группа коров в возрасте 10 отелов (0,55%). Динамика удоя у коров положительной была от 1-й к 3-й лактации на 5,6%. С увеличением возраста в лактациях от 4-й до 7-й удои уменьшились на 0,48–9,9%. Наибольший удой отмечен у коров 3-й лактации (6580 кг), который превышал среднее значение удоя по стаду на 9,1%. Минимальный удой был у коров 10-й лактации (5637 кг), к удою по стаду меньше на 6,6%. Содержание жира в молоке в среднем по лактациям было выше стандарта породы на 0,35 процентных пункта, или 9,2%, содержание белка в молоке – на 0,13 процентных пункта, или 4,3%.Степень реализации продуктивного потенциала коров зависит от уровня продуктивности, полученной за весь их продуктивный период. Средняя молочная продуктивность красно-пестрых коров в стаде племрепродуктора за последние 3 года составила 6048 кг молока при продуктивном использовании 2,8 лактации. Фактический надой в среднем на корову за продуктивный период составил 16934 кг молока при возможном 24192 кг, т.е. недополучено 7258 т молока на сумму 214546 руб. при цене реализации 29,56 руб/кг молока. На все подконтрольное поголовье недополучено в среднем за год 105386 ц молока на 3115210 руб.

MILK PRODUCTIVITY OF RED-AND-WHITE CATTLE WITH DIFFERENT PRODUCTIVE USE

[1]**A.I. Golubkov,** Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Scientific Associate
[2]**L.V. Efimova,** Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher
[1]**A.A. Golubkov,** Ph.D. in Agricultural Sciences, Senior researcher
[3]**S.V. Ermolaev,** Director
[4]**N.M. Sazonova,** Chief Animal Sciences Technician

[1]*Federal State Budgetary Scientific Institution*
All-Russian Research Institute of Breeding, Solontsy settlement, Krasnoyarsk Region, Russia
[2]*Krasnoyarsk Scientific Research Institute of Agriculture - a separate subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia,*
[3]*Vermiculite LLC, Krasnoyarsk, Russia,*
[4]*JSC "Svetlobovskoye", Svetlobovo village, Krasnoyarsk Krai, Russia*

E-mail: ljubow_wal@mail.ru

Keywords: milk productivity, red-and-white cattle, productive longevity

Abstract. In the article, the authors studied the structure of the herd and the signs of milk productivity of Red-and-White cattle with different durations of production use. It was found that cows dominate the herd structure under three calves (70.25%). As cows age into calves of 4 to 10, the cow population decreases per lactation by 0.7 to 4.27%. The most numerous is the group of cows at the age of 1 calving (33.68%), and the least numerous is the group of cows at the age of 10 calvings (0.55%). The dynamics of milk yield in cows was positive from the 1st to the 3rd lactation by 5.6%. With increasing age in lactations 4 to 7, milk yields decreased by 0.48-9.9%. The authors noted the highest milk yield in cows of the 3rd lactation (6580 kg), which exceeded the average milk yield for the herd by 9.1%. The minimum milk yield was in cows of the 10th lactation (5637 kg), to the herd's milk yield less by 6.6%. The fat content in milk was, on average, 0.35 percentage points higher than the breed standard, or 9.2%; the protein content in milk was 0.13 percentage points higher, or 4.3%. The degree of realization of the productive potential of cows depends on the level of productivity obtained over their entire production period. The average milk productivity of red-and-white cows in the breeding herd over the past three years was 6048 kg with productive use of 2.8 lactations. The average milk yield per cow during the effective period was 16934 kg, while the possible 24192 kilograms, 7258 tons of milk, were missed, worth 214546 rubles. The selling price is 29.56 rubles/kg of milk. For all controlled livestock, there was an average annual shortfall of 105386 ct of milk worth 3115210 rubles.

Молочное скотоводство края представляет производителям молока хорошие возможности по увеличению его производства за счет улучшения условий кормления и содержания животных, внедрения современных технологий доения. Однако основным препятствием реализации этих возможностей на молочных комплексах является низкий срок продуктивного долголетия высокопродуктивных молочных коров [1, 2].

В современном молочном скотоводстве интенсивная технология производства молока и его экономическая эффективность зависят от разведения высокопродуктивных животных, обладающих высокой способностью к адаптации, устойчивых к заболеваниям и пригодных к длительному хозяйственному использованию [3, 4]. Высокопродуктивные коровы требуют более тщательного внимания к обеспечению их потребностей в питательных веществах для своевременной корректировки рационов кормления [5].

Увеличение продолжительности продуктивного использования коров является одним из резервов повышения продуктивности стада и рентабельности отрасли [6–8]. Долголетнее использование коров связано с темпом ремонта стада и интенсивностью отбора [9]. Внедрение интенсивных технологий содержания, кормления и доения коров на современных молочных комплексах, а также улучшение селекционно-племенной работы со стадом способствовали увеличению уровня молочной продуктивности коров в мире за последние 50 лет более чем в 2 раза. Одновременно это привело к снижению среднего возраста коров в стаде до 2–3 лактаций за счет преждевременной выбраковки коров, т. е. коровы не доживают до 4–5-й лактаций, когда достигается наивысшая продуктивность и окупаются затраты на выращивание телок, нетелей и содержание продуктивных коров [10]. Среди причин ранней выбраковки коров выделяют: нарушение обмена веществ, снижение воспроизводительной способности, непригодность к машинному доению и заболевания, связанные с невозможностью коров адаптироваться к интенсивной технологии [11], а также нарушением условий кормления, содержания и доения [12].

Поэтому в современных условиях долголетие коров остается одним из основных критериев оценки пригодности их к промышленной технологии[13–14]. Только длительное использование коров в продуктивном периоде позволяет получить высокую экономическую и селекционно-генетическую эффективность разведения молочных коров и снизить затраты на выращивание и содержание животных.

Цель исследований – изучить структуру стада и молочную продуктивность коров разной продолжительности производственного использования в стаде племрепродуктора ЗАО «Светлолобовское».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научные исследования провели в племрепродукторе ЗАО «Светлолобовское» Новоселовского района Красноярского края на поголовье коров (1452 головы) красно-пестрой породы крупного рогатого скота. Была сформирована выборка данных зоотехнического и племенного учета программы

«СЕЛЭКС. Молочный скот» изучаемого поголовья скота. Продуктивность коров определяли по общепринятым методикам. Результаты исследований обработаны биометрически по Г.Ф. Лакину [15] и с помощью программы «Биометрический анализ количественных признаков» [16]. Расчёт разности между групп осуществлялся по t-критерию Стьюдента для неравночисленных групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для селекционера наибольший интерес в селекционной работе со стадом представляет динамика продуктивности коров в отелах и законченных лактациях. Сравнительная характеристика молочной продуктивности коров за 305 дней лактации в разрезе отёлов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Молочная продуктивность коров по отелам в среднем за лактацию
Milk productivity of cows by calves on average per lactation

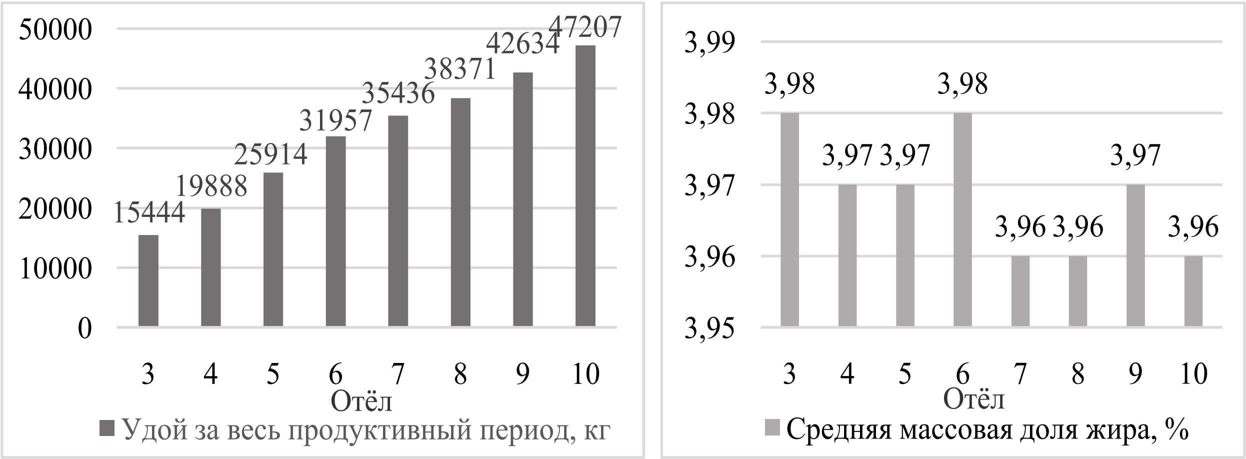
Лактация	Удой, кг	Массовая доля в молоке, %		Лактация	Удой, кг	Массовая доля в молоке, %	
		жира	белка			жира	белка
3-й отел (n=967)							
1	4991±110	3,96±0,02	3,07±0,01	1	4457±170	3,95±0,03	3,06±0,01
2	5154±121	3,98±0,01	3,08±0,01	2	4682±192	3,96±0,01	3,06±0,02
3	5299±119	3,99±0,02	3,09±0,02	3	4885±184	3,97±0,04	3,06±0,01
4-й отел (n=419)				4	4909±189	3,95±0,01	3,07±0,03
1	4475±125	3,96±0,03	3,08±0,02	5	5052±184	3,97±0,02	3,07±0,02
2	4947±122	3,97±0,01	3,06±0,01	6	5015±174	3,97±0,03	3,08±0,01
3	5287±118	3,98±0,02	3,07±0,03	7	4989±162	3,98±0,01	3,08±0,02
4	5179±116	3,98±0,02	3,07±0,02	8	4382±177	3,95±0,02	3,08±0,03
5-й отел (n=359)							
1	4843±167	3,96±0,04	3,08±0,01	1	4197±201	3,96±0,02	3,06±0,02
2	5080±164	3,97±0,02	3,06±0,02	2	4521±180	3,97±0,01	3,05±0,03
3	5348±178	3,96±0,03	3,07±0,01	3	4368±187	3,97±0,03	3,05±0,01
4	5348±139	3,98±0,01	3,06±0,02	4	4824±183	3,96±0,02	3,06±0,02
5	5295±130	3,98±0,02	3,07±0,03	5	4958±186	3,98±0,01	3,06±0,01
6-й отел (n=674)				6	4909±137	3,97±0,02	3,07±0,02
1	4666±137	3,96±0,03	3,06±0,02	7	4971±142	3,96±0,02	3,07±0,03
2	5025±126	3,95±0,01	3,08±0,04	8	4805±169	3,96±0,03	3,07±0,03
3	5200±136	3,98±0,02	3,06±0,01	9	4681±177	3,98±0,01	3,05±0,01
4	5466±177	3,97±0,01	3,07±0,01				
5	5507±154	4,00±0,03	3,08±0,02	1	4197±196	3,96±0,02	3,06±0,01
6	5303±152	3,99±0,02	3,07±0,02	2	4521±184	3,97±0,03	3,06±0,02
7-й отел (n=466)				3	4768±177	3,98±0,02	3,05±0,03
1	4812±174	3,95±0,02	3,06±0,01	4	4824±169	3,96±0,02	3,05±0,03
2	4960±181	3,95±0,03	3,07±0,02	5	4958±157	3,96±0,02	3,06±0,04
3	5122±169	3,95±0,03	3,08±0,02	6	4909±162	3,98±0,03	3,07±0,01
4	5104±173	3,96±0,02	3,07±0,03	7	4971±171	3,97±0,01	3,07±0,02
5	5190±170	3,98±0,02	3,06±0,02	8	4805±182	3,96±0,01	3,07±0,02
6	5194±159	3,98±0,03	3,08±0,03	9	4681±170	3,93±0,02	3,08±0,02
7	5194±163	3,98±0,02	3,07±0,01	10	4573±183	3,93±0,01	3,08±0,01

Сравнительным анализом молочной продуктивности коров в разрезе отёлов за ряд лактаций установлено, что в условиях племрепродуктора ЗАО «Светлолобовское» наибольший удой за 305 дней лактации имели коровы в возрасте 6 отелов по 5-й законченной лактации – 5507 кг, а наименьший удой –коровы в возрасте 10 отелов по 1-й лактации – 4197 кг молока. Во всех возрастных группах у коров удой в отелах увеличивался от 1-й лактации к последней в среднем на 6,2–18,1%. Удой коров по 3-му отелу увеличился от 1-й к 3-й лактации на 6,2% (td=1,90), по 4-му – от 1-й к 3-й на 18,1% (P>0,999), по 5-му – от 1-й к 3-й на 10,4% (P>0,95), по 6-му – от 1-й к 5-й на 18,0% (P>0,999), по 7-му – от 1-й к 3-й на

6,4% (td=1,28), по 8-му – от 1-й к 5-й на 13,3% (P>0,95), по 9-му и 10-му – от 1-й к 5-й лактациям на 18,1% (P>0,99). По массовой доле жира и белка разница между коровами разных возрастов была несущественной. Массовая доля жира составляла от 3,95 до 4,00%, белка – от 3,05 до 3,09%.

О степени реализации продуктивного потенциала коров судят по уровню продуктивности, полученной за весь период их продуктивного использования.

Характеристика коров по всем завершённым лактациям показана на рисунке.



Молочная продуктивность коров за весь продуктивный период
Milk productivity of cows for the whole productive period

Величина пожизненного удоя у коров последовательно повышалась с увеличением числа законченных лактаций (разница была статистически значимой при P>0,999). Так, у коров, завершивших 4-ю лактацию, по отношению к коровам, имеющим 3 законченные лактации, удой был больше на 28,8%, коров 5-й лактации к коровам 4-й лактации – на 30,3%, коров 6-й лактации к коровам 5-й лактации – на 23,3%, коров 7-й лактации к коровам 6-й лактации – на 10,9%, коров 8-й лактации к коровам 7-й лактации – на 9,3%, коров 9-й лактации к коровам 8-й лактации – на 10,1%, коров 10-й лактации к коровам 9-й лактации – на 10,7%.

При этом по качественным показателям молока между коровами с разным количеством завершённых лактаций статистически незначимой разницы не обнаружено. У коров с 3 и 6 завершёнными лактациями содержание жира в молоке в среднем за лактацию составило 3,98%, у коров с 4, 5 и 9 лактациями – 3,97%, у коров с 7, 8 и 10 лактациями – 3,96%. Содержание белка в молоке у коров с 3 лактациями в среднем составило 3,08%, с 10 лактациями – 3,06, в остальных случаях – 3,07%.

На уровень молочной продуктивности коров влияет много факторов, в том числе возраст в лактациях. В настоящее время средний возраст коров в лактациях составляет 2,8, и ежегодно этот показатель сокращается. Общее количество коров 1–3-й лактации составило 1020 голов, или 70,25% от общего поголовья коров в стаде (табл. 2).

Таблица 2

Среднее поголовье и молочная продуктивность коров красно-пестрой породы в разрезе лактаций за последние три года
Average herd size and milk productivity of red-and-white cattle by lactation for the last three years

Лактация	Поголовье коров по лактациям		Удой за 305 дней лактации, кг	Массовая доля в молоке, %	
	гол.	%		жира	белка
1	2	3	4	5	6
1	489	33,68	$5819 \pm 115^{**(4)}$	4,16±0,02	3,15±0,01
2	339	23,35	$5928 \pm 118^{**(4)}$	4,16±0,01	$3{,}12 \pm 0{,}01^{*(1)}$
3	192	13,22	6174±184	4,13±0,02	$3{,}11 \pm 0{,}02^{*(1)}$

Окончание табл.2

1	2	3	4	5	6
4	170	11,71	6580±237	4,14±0,05	3,11±0,01*(1)
5	113	7,78	6244±219	4,14±0,04	3,12±0,01
6	90	6,20	6251±116	4,13±0,07	3,11±0,05
7	28	1,93	6062±137	4,12±0,06	3,11±0,02
8	14	0,96	6035±184	4,10±0,05	3,11±0,01
9	9	0,62	6080±197	4,12±0,03	3,10±0,01
10 и старше	8	0,55	5637±117	4,16±0,02	3,11±0,01
Итого в среднем	1452	100	6048±149	4,15±0,03	3,13±0,01

*(1) Разница с 1-й группой достоверна при Р>0,95,

**(4) Разница с 4-й группой достоверна при Р>0,99.

С возрастом коров в лактациях от 3-й к 10-й поголовье коров сокращается за каждую лактацию на 0,07–4,27%. Наиболее многочисленной в стаде является группа коров в возрасте 1-й лактации (33,68%).

Молочная продуктивность у коров за последние три года существенно повысилась и в среднем составила: удой – 6048 кг, массовая доля жира и белка – соответственно 4,15 и 3,13%. Динамика удоя от 1-й к 3-й лактации была положительной: от 1-й к 2-й лактации он увеличился на 1,87%, от 2-й к 3-й – на 4,15%. В последующем, с увеличением возраста коров от 4-й лактации до 7-й удой, уменьшался на 0,11–7,29%. Наибольший удой отмечен у коров 4-й лактации (6580 кг молока), что статистически значимо больше, чем у коров 1-й и 2-й лактаций, соответственно на 761 и 652 кг (Р>0,99), а также больше среднего значения удоя коров по стаду на 8,8%. Минимальный удой (5637 кг) был у коров 10-й лактации, что меньше среднего уровня по стаду на 6,8%.

Выявленные тенденции динамики удоя обусловлены физиологическими закономерностями формирования молочной продуктивности коров. Возраст коров в лактациях оказал значимое влияние на массовую долю белка в молоке. Так, наибольший показатель был у коров 1-й лактации (3,15%). При этом статистически значимые различия были только при сравнении показателей 1-й лактации со 2, 3 и 4 –й разница составила 0,03-0,04 процентных пункта (Р>0,95). По массовой доле жира разница между группами была статистически незначимой. Коровы стада характеризовались высокими показателями по массовой доле жира и белка в молоке, превышение над стандартом породы по массовой доле жира в среднем составило 9,2%, по массовой доле белка – 4,3%. Достигнутые высокие показатели удоя коров и жирномолочности в перспективе следует закрепить в стаде племрепродуктора с помощью направленной селекции.

Анализ фактической и потенциально возможной продуктивности для возмещения расходов на выращивание тёлки и содержание нетели показал следующее: удой красно-пестрых коров за последние три года в среднем по стаду составил 6048 кг молока, средняя продолжительность их продуктивного использования – 2,8 лактации, фактическая продуктивность коровы за продуктивный период – 16934, а должна быть 24192 кг (корова окупает затраты на ее выращивание и содержание за 4 лактации). Таким образом, племенной репродуктор недополучил 7258т молока в расчете на 1 корову на сумму 214546 руб. при цене реализации 29,56 руб/кг молока. На все подконтрольное поголовье в среднем недополучено за год 105386 ц молока на 3115210 руб. Вероятными причинами недополучения возможной продуктивности коров в хозяйстве были следующие: переуплотнение коровников до 15% при содержании коров в зимний период, несбалансированность рациона по питательным веществам, низкое качество заготовленных кормов в хозяйстве.

В табл. 3 показаны затраты на производство молока по элементам затрат и экономические показатели эффективности его производства. Наибольшую долю по удельному весу в затратах занимали корма (33,1%), наименьшую – горючее (0,4%). Себестоимость 1 ц производства молока за 3 года в среднем составила 2227 руб., рентабельность производства – 33,48%.

Таблица 3

Экономические показатели племенного репродуктора по производству молока в 2019–2021 гг.
Economic indicators of a breeding reproducer for milk production in 2019-2021

Показатель	2019 г.	2020 г.	2021 г.	В среднем по годам	Удельный вес, %
Затраты, тыс. руб.	282590	254053	287815	274819	100
В том числе					
оплата труда	55880	58034	65523	59812	21,8
корма	99400	78182	95187	90923	33,1
электроэнергия	10966	14284	15453	13568	4,9
горючее	2072	88	688	949	0,4
ветеринарные препараты	9122	14333	16327	13261	4,8
содержание основных средств	4921	40173	47549	30881	11,2
амортизация	40111	34131	33950	36064	13,1
страхование и др.	60097	13537	13083	28906	10,7
Себестоимость 1 ц, руб.	2246	2021	2413	2227	
Цена реализации 1 ц, руб.	2894	2995	2978	2956	
Рентабельность, %	28,85	48,19	23,41	33,48	

Для обеспечения экономической эффективности промышленного производства молока в племрепродукторе ЗАО «Светлолобовское» необходимо провести комплекс мероприятий, направленных на увеличение срока продуктивного использования коров в стаде, довести плотность размещения коров до оптимальных показателей, корма готовить в соответствующие фазы развития растений, заготавливать полнорационные кормосмеси. Создание оптимальных условий для содержания, кормления, поения и доения коров будет способствовать увеличению молочной продуктивности и срока продуктивного использования коров в стаде, удешевлению себестоимости выращивания телок, нетелей и эксплуатации коров за счет более раннего их введения в основное стадо. Увеличение продолжительности продуктивного периода на 1,2 года, до оптимального их возраста при разведении красно-пестрой породы (4 лактации), позволит хозяйству уменьшить себестоимость производства 1 ц молока на 291 руб/ц, повысить эффективность молочного животноводства.

ВЫВОДЫ

1. Наибольший удой за 305 дней лактации имели коровы в возрасте 6 отёлов по 5-й лактации (5507 кг), наименьший – в возрасте 10 отёлов по 1-й лактации (4197 кг).

2. Пожизненный удой у коров от лактации к лактации увеличивался на 9,3–30,3%, но качественные показатели молока не зависели от возраста коров.

3. За последние три года удой коров увеличился и достиг 6048 кг, средняя продолжительность продуктивного использования – 2,8 лактации, фактический надой за период продуктивного использования – 16934 кг при возможном 24192 кг, недополучено 7258 т молока на сумму 214546 руб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анистенок С.В., Тулинова О.В.* Срок продуктивного использования и прибыльность выбывших коров // Вопросы нормативно-правового регулирования ветеринарии. – 2013. – № 4. – С. 20–24.
2. *Шуварин М.В., Савруков Н.Т.* Некоторые экономические аспекты повышения продуктивности и срока использования молочных коров // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2019. – Т. 8, № 1 (26). – С. 406–409.

3. *Гордеева А.К., Захаров Н.Б.* Влияние технологических параметров на продолжительность жизни и пожизненную продуктивность коров черно-пестрой породы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2010. – № 4(16). – С. 32–36.
4. *Яранцева С.Б.* Увеличение периода хозяйственного использования коров породы сибирячка // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2017. – Т. 47, № 5 (258). – С. 57–63.
5. *Головань В.Т., Босых И.Н.* Рецепты долголетия коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 1 (42). – С. 139–147.
6. *Амерханов Х., Стрекозов Н.* Научное обеспечение конкурентности молочного скотоводства // Молочное и мясное скотоводство. Специальный выпуск по молочному скотоводству. – 2012. – № S1. – С. 2–5.
7. *Горохов Н.И., Неустроев М.П., Романова В.В.* Проблемы сохранения продуктивного долголетия коров в условиях Якутии // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 5. – С. 72–73.
8. *Продуктивное* долголетие коров и анализ причин их выбытия / И.А.Тихомиров, В.К. Скоркин, В.П. Аксенова, О.Л. Андрюхина // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2016. – № 1 (21). – С. 64–72.
9. *Грашин В.А., Грашин А.А.* Продуктивное долголетие коров в зависимости от кровности // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 6 (44). – С. 123–125.
10. *Басонов О.А., Кочеткова О.Е.* Продуктивное долголетие коров бурой швицкой породы в зависимости от интенсивности их развития // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Актуальные проблемы животноводства: материалы междунар. науч.-практ. конф. в честь 5-летия Центра российско-белорусского сотрудничества, дополнительного образования, содействия трудоустройству обучающихся. – Нижний Новгород, 2020. – С. 200–204.
11. *Васильева О.К.* Динамика показателей продуктивного долголетия коров в сельскохозяйственных предприятиях России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 60. – С. 80–87.
12. *Скворцова Е.Г., Неверова О.П., Чепуштанова О.В.* Продуктивное долголетие коров черно-пестрой породы и причины их выбытия // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 5 (184). – С. 54–61.
13. *Русских Т.А., Бычкова В.А., Юдин В.М.* Продуктивное долголетие коров черно-пестрой и холмогорской пород // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 1 (25). – С. 123–130.
14. *Продуктивное* долголетие и выбытие коров при разных способах содержания в промышленных условиях / Д. Абылкасымов, Н.П. Сударев, С.В. Чаргеишвили, О.В. Абрампальская // Сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 1 (14). – С. 28–33. – DOI: 10.25930/2687-1254/004.1.14.2021.
15. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: учебник. – М.: Высшая школа, 1990. – С. 115.
16. *Свидетельство* № 2021619580. Российская Федерация. Биометрический анализ количественных признаков: программа для ЭВМ / Ефимова Л.В.; правообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». – № 2021618613; заявл. 04.06.2021; опубл. 15.06.2021, Бюл. № 6. 165 Мб.

REFERENCES

1. Anistenok S.V., Tulinova O.V., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya veterinarii*, 2013, No. 4, pp. 20–24. (In Russ.)
2. SHuvarin M.V., Savrukov N.T., *Azimut nauchnykh issledovanij: ehkonomika i upravlenie*, 2019, T. 8, No. 1 (26), pp. 406–409. (In Russ.)
3. Gordeeva A.K., Zakharov N.B., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet),* 2010, No. 4 (16), pp. 32–36. (In Russ.)

4. YArantseva S.B., *Sibirskij vestnik sel'skokhozyajstvennoj nauki,* 2017, T. 47, No. 5 (258), pp. 57–63. (In Russ.)
5. Golovan' V.T., Bosykh I.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet),* 2017, No. 1 (42), pp. 139–147. (In Russ.)
6. Amerkhanov KH., Strekozov N., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. Spetsial'nyj vypusk po molochnomu skotovodstvu,* 2012, No. S1, pp. 2–5. (In Russ.)
7. Gorokhov N.I., Neustroev M.P., Romanova V.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2012, No. 5, pp. 72–73. (In Russ.)
8. Tikhomirov I.A., Skorkin V.K., Aksenova V.P., Andryukhina O.L., *Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva,* 2016, No. 1 (21), pp. 64–72. (In Russ.)
9. Grashin V.A., Grashin A.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, No. 6 (44), pp. 123–125. (In Russ.)
10. Basonov O.A., Kochetkova O.E., *Mekhanizatsiya i sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva. Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyajstvennoj produktsii. Aktual'nye problemy zhivotnovodstva* (Mechanization and of agricultural production. Innovative technologies for the production and processing of agricultural products. Actual problems of animal husbandry), Proceedings of the international conference, in honor of the 5th anniversary of the Center for Russian-Belarusian cooperation, additional education, promotion of students' employment, Nizhny Novgorod, 2020, pp. 200–204. (In Russ.)
11. Vasil'eva O.K., *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2020, No. 60, pp. 80–87. (In Russ.)
12. Skvortsova E.G., Neverova O.P., CHepushtanova O.V., *Agrarnyj vestnik Urala,* 2019, No. 5 (184), pp. 54–61. (In Russ.)
13. Russkikh T.A., Bychkova V.A., YUdin V.M., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2019, No. 1 (25), pp. 123–130. (In Russ.)
14. Abylkasymov D., Sudarev N.P., CHargeishvili S.V., Abrampal'skaya O.V., *Sel'skokhozyajstvennyj zhurnal*, 2021, No. 1 (14), pp. 28–33, DOI: 10.25930/2687-1254/004.1.14.2021. (In Russ.)
15. Lakin G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya shkola, 1990, p. 115. (In Russ.)
16. *Svidetel'stvo № 2021619580*. Rossijskaya Federatsiya. Biometricheskij analiz kolichestvennykh priznakov: programma dlya EHVM, № 2021618613; zayavl. 04.06.2021; opubl. 15.06.2021, Byul. № 6. 165 Mb. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-105-112
УДК 619:616.15:636.03:636.52/.58:612.57

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРТЕРМИИ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУР-НЕСУШЕК

Л.И. Дроздова, доктор ветеринарных наук, профессор, ведущий научный сотрудник
С.В. Малков, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
А.С. Красноперов, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
О.Ю. Опарина, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
А.И. Белоусов, доктор ветеринарных наук, старший научный сотрудник

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

E-mail: marafon.86@list.ru

Ключевые слова: птицеводство, куры-несушки, температурный стресс, гематологические показатели, кормовая добавка, дрожжи.

Реферат. Исследования проведены в период 2020–2021 гг. на базе отдела экологии и незаразной патологии животных Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Существенные увеличения температуры окружающей среды оказывают в промышленном птицеводстве закономерные и акцидентные воздействия на все процессы в живом организме птиц, влияют на их направленность и интенсивность. Изучено применение кормовых добавок, содержащих высушенные живые дрожжи различных вариантов и концентраций, перед тепловым стрессом и после его воздействия на изменения живой массы тела кур-несушек, массы снесенных яиц, количественных и качественных характеристик лейкоцитарной формулы крови. Значительное увеличение концентрации эритроцитов и гемоглобина в период теплового стресса регистрировали у птиц контрольной группы – 18,1 и 25,5%, что свидетельствовало о начале продолжительного адаптационного процесса. Существенное увеличение отношения количества гетерофилов к лимфоцитам (Г/Л) отмечали также у особей контрольной группы – на 44,2% (0,62 ед.), что подтверждало напряженность всех процессов в организме. На фоне стресс-фактора в крови кур-несушек контрольной, 1-й и 2-й опытных групп возрастало общее количество лейкоцитов – в 1,4; 1,2 и 1,3 раза соответственно, что происходило за счёт выброса в кровоток незрелых гетерофилов и оттока лимфоцитов в периферические ткани. При применении кормовых добавок гепатопротективного действия у кур 1-й и 2-й групп отмечали лучшую стрессоустойчивость к 48-часовой гипертермии, что подтверждалось закономерными физиологическими изменениями уровня гетерофилов, базофилов, моноцитов и Г/Л, свойственными для периода срочной адаптации и поддержания иммунного гомеостаза.

EFFECT OF HYPERTHERMIA ON HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND PRODUCTIVITY OF LAYING HENS

L.I. Drozdova, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Leading Researcher
S.V. Malkov, Ph.D. in Veterinary Sciences, Senior Researcher
A.S. Krasnoperov, Ph.D. in Veterinary Sciences, Senior Researcher
O. Oparina, Ph.D. in Veterinary Sciences, Senior Researcher
A.I. Belousov, Doctor of Veterinary Sciences, Senior Researcher

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

E-mail: marafon.86@list.ru

Keywords: poultry farming, laying hens, temperature stress, hematological parameters, feed additive, yeast.

Abstract. Studies were conducted in the period 2020-2021 based on the department of ecology and noncontagious pathology of animals of the Ural Veterinary Research Institute - a structural subdivision of FSBSI “UFARC UB RAS” (Federal State Budgetary Scientific Institution “Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”). Significant increases in ambient temperature in industrial poultry farming have natural and incidental effects on all processes in the living organism of birds, affecting their direction and intensity. We studied the use of feed additives containing dried live yeast of different variants and concentrations before and after heat stress on changes in the live body weight of laying hens, the importance of laid eggs, and quantitative and qualitative characteristics of the blood leukocyte formula. The authors registered a significant increase in the concentration of erythrocytes and hemoglobin in birds of the control group - 18.1 and 25.5% during the period of heat stress, which indicated the beginning of a long adaptation process.

Furthermore, the authors noted a significant increase in the ratio of the number of heterophils to lymphocytes (g/l) and in individuals of the control group by 44.2% (0.62 units), which confirmed the intensity of all processes in the body. During the study, the authors note that the total number of leukocytes increased against the background of a stress factor in the blood of laying hens of the control, 1st, and 2nd experimental groups - 1.4, 1.2, and 1.3 times, respectively. This increase occurs due to the release of immature heterophils into the bloodstream and the outflow of lymphocytes into peripheral tissues. The authors note the best stress resistance to 48-hour hyperthermia when using feed additives of hepatoprotective action in chickens of the 1st and 2nd groups reported the best stress resistance to 48-hour hyperthermia. This stress resistance is confirmed by regular physiological changes in the level of heterophils, basophils, monocytes, and G/L, characteristic of the period of urgent adaptation and maintenance of immune homeostasis.

На протяжении последних 20 лет среднегодовая температура воздуха в России превышает нормативные показатели, в связи с чем организм сельскохозяйственных животных и птицы не успевает адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды [1].

Птицеводство – это одна из самых чувствительных к действию теплового стресса отраслей животноводства ввиду физиологических особенностей организма кур.

Температурные колебания окружающей среды зачастую приводят к значительным убыткам на птицеводческих предприятиях. При этом культивирование новых высокопродуктивных кроссов, зачастую не термотолерантных, усугубляет актуальность проблемы повышения уровня стрессоустойчивости сельскохозяйственной птицы [2]. Поэтому в условиях промышленного птицеводства важными являются не только оптимизация комплекса технологических способов вентиляции и увлажнения, но и применение новых кормовых добавок с адаптогенным и антитоксическим действием.

Высокая температура воздуха мобилизует организм и вовлекает в ответную реакцию большое количество эффекторных систем. Поэтому изучение нивелирования негативного влияния температурного стресса на физиологические параметры, поведенческие реакции, продуктивность, гематологические и биохимические показатели является значимым аспектом научно-исследовательской работы [3–5].

Важным критерием, отражающим состояние органов, систем и тканей, остаётся углублённый анализ как отдельных клеток лейкограммы, так и их соотношения в динамике срочной и долгосрочной адаптации к температурному стресс-фактору [6–12].

Цель исследования – оценить влияние температурного стресса на продуктивность кур-несушек и изменчивость гематологических показателей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в период 2020–2021 гг. на базе отдела экологии и незаразной патологии животных Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках государственного задания в соответствии с Программой ФНИ государственных академий наук по направлению 4.2.1.5 «Разработка технологий прижизненного управления качеством животноводческого сырья для получения высококачественных и безопасных продуктов питания».

Объектом наблюдений являлись куры-несушки промышленного стада яичного кросса Декалб Уайт 36-недельного возраста с живой массой тела 1319,0–1411,0 г (n=30) и яйценоскостью 0,78–0,83 яйца на голову в день.

Для исследования влияния высоких температур на гематологические показатели крови кур были сформированы 3 группы: контрольная и 2 опытные (по 10 голов в каждой). Подбор птиц в группы и их маркировку проводили за 7 дней до начала эксперимента. Содержание напольное, в групповых клетках, в соответствии с нормативами содержания и кормления для кросса Декалб Уайт.

При моделировании теплового стресса температуру окружающего воздуха в помещении для содержания кур поднимали с 18,0±2,0 до 28,0±2,0^{o}С. Продолжительность стресс-периода – 48 ч.

Для коррекции негативного влияния гипертермии на организм экспериментальных птиц к основному рациону курам 1-й опытной группы вводили кормовую добавку с высушенными живыми дрожжами *Saccharomyces cerevisae* var. *boulardii* не менее $10 \cdot 10^9$ КОЕ/г в количестве 100 мг на голову, курам 2-й опытной группы вводили комплексную кормовую добавку гепатопротективного действия со следующими компонентами: высушенные кормовые дрожжи, аскорбиновая кислота, холин, метионин, хелат марганца, хелат меди, хелат цинка в количестве 200 мг на голову (табл. 1).

Таблица 1

Схема опыта
Experience scheme

Показатели	Контрольная группа	1-я опытная группа	2-я опытная группа
Контроль клинического состояния	Ежедневно		
Контроль физиологических параметров (температура тела, частота сердечных сокращений, частота дыхательных движений, живая масса тела)	Трехкратно: за 7 дней до стресса, в период стресса и через 7 дней после стресса		
Отбор проб крови			
Применение кормовой добавки	Нет	Ежедневно в течение 7 дней до стресса, в период стресса, 7 дней после стресса	

Мазки крови готовили сразу после её взятия. Для подсчета количества эритроцитов, лейкоцитов использовали окраску по Фриед и Лукачевой в модификации И.А. Болотникова, разведение 1 : 200. Измерение гемоглобина крови проводили колориметрическим методом Сали. Лейкоцитарную формулу подсчитывали в мазках крови, окрашенных по Май-Грюнвальду-Гимза. Учет результатов проводили визуально на микроскопе Olympus BX 43 (Olympus, Япония).

Цифровой материал исследований был обработан математическими методами с использованием специального пакета программ Microsoft Office с определением среднеарифметических значений и стандартного отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ фоновых параметров клинического состояния птиц показал соответствие физиологическим нормам согласно возрастным критериям кросса. Гематологические показатели у кур-несушек также соответствовали физиологическим нормам: эритроциты – 2,54±0,19 10^{12}/л, гемоглобин – 72,5±6,11 г/л, лейкоциты – 24,40±1,52 10^9/л, базофилы – 0,70±0,09%, эозинофилы – 6,12±0,21%, сегментоядерные псевдоэозинофилы – 27,65±1,95%, лимфоциты – 64,65±5,35% и моноциты – 0,85±0,06%.

В течение 7 дней до начала моделируемого температурного стресса клиническое состояние и поведенческие реакции особей опытных групп не отличались от таковых в контрольной группе.

В период температурного воздействия у кур регистрировали снижение двигательной активности и поедаемости кормов, жажду, угнетение, вялость. Перо становилось влажным и взъерошенным. Кроме того, температура тела поднималась до 43,6^{o}С, а частота дыхательных движений увеличивалась до 32,9–41,1 ед. Наиболее отчётливо эти изменения наблюдали у особей контрольной группы.

При повышенной температуре окружающей среды сокращение живой массы тела выявляли во всех группах, но более существенное – у особей 2-й опытной группы (– 5,7%) (рис. 1). Масса яйца снижалась у птицы контрольной и 2-й опытной группы на 0,8 и 0,6% соответственно. Противоположная картина отмечалась у несушек 1-й группы – увеличение составило 2,9% (57,2 г) (рис. 2).

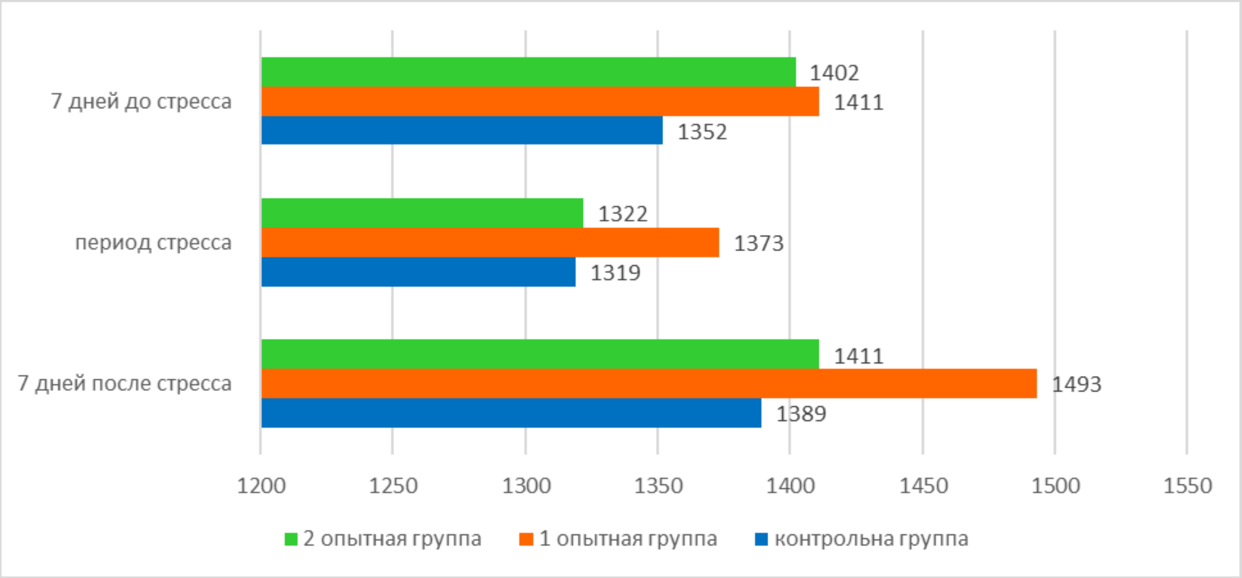


Рис. 1. Живая масса тела кур-несушек в период эксперимента
Fig. 1. Live weight of laying hens during the experiment

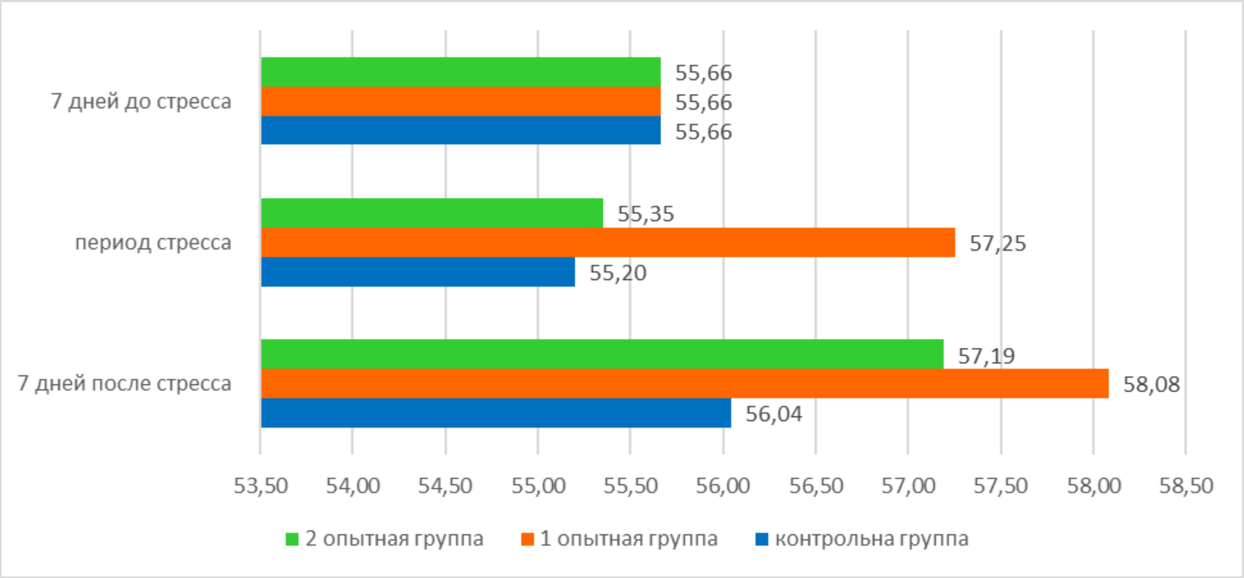


Рис. 2. Масса яйца в период эксперимента
Fig. 2. Egg weight during the experiment

Во время двухдневного температурного воздействия отмечали увеличение содержания эритроцитов в контрольной группе на 18,1%, в 1-й опытной – на 12,6%, концентрации гемоглобина в контрольной группе – на 25,5%, в 1-й опытной группе – на 6,9% (табл. 2). Возможно, данные изменения красных клеток крови происходили за счет сохранения целостности мембранных структур и оптимизации процессов гемопоэза. Отклонения показателей 2-й опытной группы не имели статистической значимости. Следовательно, локомоции эритроцитарного пула происходили одновременно с существенным возрастанием циркуляции в крови общего количества лейкоцитов у кур-несушек контрольной, 1-й и 2-й групп в 1,4; 1,2 и 1,3 раза соответственно. Это являлось следствием выброса в кровоток незрелых форм гетерофилов и миграции лимфоцитов в периферические ткани кур. Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, изучавших температурные стрессы птиц [13–15]. На фоне нарастания уровня гетерофилов в 1,3 раза, базофилов – в 1,8 и моноцитов в 1,5 раза в крови птиц контрольной группы наблюдали тенденцию к сокращению эозинофилов в 1,6 раза и лимфоцитов в 1,1 раза. Аналогичные изменения были выявлены в крови 1-й и 2-й опытных групп, но с меньшей степенью интенсивности (см. табл. 2).

Таблица 2

Гематологические показатели кур-несушек в период эксперимента
Hematological parameters of laying hens during the experiment

Гематологические показатели	Группа	Фон, 18° С	Стресс	После стресса
Эритроциты	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	2,54±0,19	3,00±0,25 2,86±0,18 2,50±0,03	2,37±0,18 2,50±0,15 2,65±0,24
Гемоглобин	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	72,5±5,26	91,00±6,27 77,50±2,89 76,25±3,78	81,25±2,87 73,50±5,26 73,25±4,43
Лейкоциты	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	24,40±1,89	33,75±2,79 30,25±2,54 31,50±2,84	34,25±2,38 27,50±2,58 30,00±2,66
Гетерофилы	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	27,65±2,09	35,75±3,40 28,85±2,09 29,50±2,61	31,50±1,91 25,25±2,55 26,75±2,99
Эозинофилы	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	6,12±0,56	3,75±0,22 5,75±0,42 5,00±0,31	3,75±0,37 6,75±0,52 6,75±0,41
Базофилы	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	0,70±0,04	1,25±0,10 2,05±0,17 1,50±0,06	1,20±0,08 3,50±0,21 0,75±0,44
Моноциты	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	0,85±0,05	1,25±0,11 1,50±0,05 1,00±0,11	1,55±0,15 1,05±0,06 1,45±0,07
Лимфоциты	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	64,65±4,21	58,00±4,55 61,85±4,28 63,00±3,50	62,00±4,08 63,45±5,87 64,30±5,31
Г/Л, у.е.	Контрольная 1-я опытная 2-я опытная	0,43±0,02	0,62±0,02 0,46±0,02 0,47±0,02	0,51±0,02 0,40±0,03 0,41±0,03

Так, у кур 1-й опытной группы моделирование температурного стресса привело к увеличению синтеза пула базофилов в 2,9 раза и моноцитов в 1,8 раза, а во 2-й опытной группе – к повышению уровня базофилов в 2,1 раза и моноцитов в 1,2 раза, сопровождающему редукцией объёма эозинофилов в 1,2 раза. Локомоции объёма гетерофилов и лимфоцитов практически не отличались от фоновых величин [14, 16].

Кроме того, было установлено максимальное увеличение отношения количества гетерофилов к лимфоцитам (Г/Л) у особей контрольной группы – на 44,2% (0,62 ед.), что подтверждало высокую степень стрессируемости и усиление эндогенной интоксикации организма. Полученные результаты совпали с мнениями других авторов [17, 18]. У кур 1-й и 2-й групп с применением кормовых добавок корректирующего действия соотношение Г/Л возросло на 7,0 и 9,3% соответственно. Эти изменения лейкоцитарного состава крови и соотношения Г/Л свидетельствовали о стрессовом состоянии и различной степени напряженности протекания адаптационных процессов во всех группах кур.

Через 7 суток после окончания теплового воздействия физиологические параметры и пейзаж гемограммы кур-несушек претерпевали характерные аберрации, свойственные периодам срочной или продолжительной адаптации к условиям гипертермии.

Во всех экспериментальных группах наметилась тенденция к сокращению значений Г/Л и возвращению показателей лейкоформулы к уровню первоначальных. Так, у кур-несушек 1-й опытной группы наблюдали реверсию эозинофилов и лимфоцитов, снижение соотношения Г/Л и дальнейшее увеличение базофилов, что свидетельствует о более быстрой стабилизации гомеостаза. Во 2-й опытной группе локомоции в уровне Г/Л, эозинофилов, лимфоцитов, базофилов и моноцитов соответствовали периоду срочной адаптации организма.

У птиц контрольной группы окончание экспериментального периода характеризовалось незначительным восстановлением значений Г/Л, гетерофилов, лимфоцитов с сохранением в прежнем объёме эозинофилов, базофилов, моноцитов, что подтверждало вывод о продолжительной адаптации организма к температурному воздействию. Выявленные изменения тождественны данным других ученых, изучавших высокотемпературные воздействия [17, 19–22].

Результаты гематологических исследований и продуктивности характеризовали различную степень адаптационных реакций организма кур-несушек на температурный стресс-фактор, который подтверждался изменениями живой массы тела и массой снесенных яиц. Через 7 дней после стресса живая масса тела особей 2-й опытной и контрольной групп восстановилась до уровня фоновых значений, а в 1-й превысила таковые на 5,8%. Увеличение массы яйца было зарегистрировано только в 1-й и 2-й опытных группах на 4,3 и 2,8%.

Зарегистрированные изменения в лейкоцитарной формуле и уровне Г/Л у кур-несушек опытных групп позволяют судить об определенном положительном эффекте применённых кормовых добавок для сохранения эффективности иммунной системы, нормализации энергетического обмена и способности к более интенсивной мобилизации адаптационных процессов к тепловому воздействию.

ВЫВОДЫ

1. Температурное воздействие на организм кур-несушек привело к комплексу изменений клинических и физиологических параметров, а в конечном итоге – к развитию стресса.

2. Интегральным маркером для диагностики и прогнозирования, а также для усовершенствования реабилитационных мероприятий, снижения напряженности стрессового состояния в условиях интенсивного промышленного птицеводства может служить определение соотношение количества гетерофилов к лимфоцитам наряду с полным анализом лейкограммы.

3. Установленные вариации Г/Л и значений гемограммы при температурном стресс-факторе без коррекции отдельных систем привели к существенной напряженности адаптационных возможностей организма и продолжительному восстановлению гомеостаза.

4. Применение кормовых добавок курам опытных групп позволило снизить негативную нагрузку от температурного стресса, сохранить физиологические параметры и проду ктивность несушек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Факторы* микроклимата и их влияние на организм молодняка крупного рогатого скота / И.А. Шкуратова, Н.А. Верещак, А.И. Белоусов [и др.] // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2019. – № 4. – С. 114–118.
2. *Radical* response: of heat stress-induced oxidative stress on lipid metabolism in the avian liver / N.K. Emami, S. Dridi, U. Jung [et al.] // Antioxidants. – 2021. – T. 10, N 1. – P. 1–15.
3. *The microbiota*-gut-brain axis during heat stress in chickens: a review / C. Cao, M.A. Cline, E.R. Gilbert [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2021. – T. 12, Apr. – P. 752265.
4. *Островский В.К., Мащенко А.В., Янголенко Д.В.* Показатели крови и лейкоцитарного индекса интоксикации в оценке тяжести и определении прогноза при воспалительных, гнойных и гнойно-деструктивных заболеваниях // Клиническая лабораторная диагностика. – 2006. – № 6. – С. 128–132.
5. *Щитковская Т.Р.* Гематологические и биохимические показатели крови у цыплят-бройлеров при скармливании в рационе хелатов меди и кобальта с метионином в сочетании с L-карнитином // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. – 2011. – Т. 208. – С. 371–376.
6. *Бусловская Л.К., Ковтунетко А.Ю., Беляева Е.Ю.* Адаптация кур к факторам промышленного содержания // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2010. – № 21 (92), вып. 13. – С. 96–102.
7. *Донник И.М., Шкуратова И.А.* Молекулярно-генетические и иммунно-биохимические маркеры оценки здоровья сельскохозяйственных животных // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87, № 4. – С. 362–366.
8. *Забудский Ю.И.* Проблемы адаптации в птицеводстве // Сельскохозяйственная биология. – 2002. – № 6. – С. 80–85.

9. *Зубарева Е.В.* Влияние интенсивной тепловой нагрузки на морфометрические показатели и функциональную активность лейкоцитов крови крыс // Научный результат. Серия: Физиология. – 2014. – № 1. – С. 27–34.
10. *Ломако В.В.* Влияние разных режимов охлаждения (краниоцеребральной и иммерсионной гипотермии, поверхностных ритмических и экстремальных холодовых воздействий) на лейкоцитарные показатели крови крыс // Проблемы криобиологии и криомедицины. – 2018. – № 28 (4). – С. 293–310.
11. *Изменения* функциональной активности лейкоцитов в условиях острого перегревания организма / С.В. Надеждин, М.З. Федорова, Н.А. Павлов [и др.] // Научные ведомости. Биология. – 2008. – № 43 (3). – С. 5–11.
12. *Харлап С.Ю., Дерхо М.А., Середа Т.И.* Особенности лейкограммы цыплят в ходе развития стресс-реакции при моделированном стрессе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (52). – С. 103–105.
13. *Повышение* стрессоустойчивости молодняка кур яичного кросса при использовании биологически активных веществ перед инкубацией / И.И. Кочиш, И.С. Луговая, Т.О. Азарнова [и др.] // Доклады Российской Академии наук. Науки о жизни. – 2020. – Т. 494. – С. 491–495.
14. *Сайфутдинова Л.В., Дерхо М.А.* Лейкоциты и их информативность в оценке напряженности стресс-реакции у кур-несушек // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1 (75). – С. 136–139.
15. *Царев П.Ю.* Характеристика лейкоцитов крови цыплят в условиях температурного стресса // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 1 (136). – С. 83–88.
16. *Цыганова С.В.* Влияние гиподинамии на продуктивные показатели птицы // БИО. – 2014. – № 12 (171). – С. 8–11.
17. *Донник И.М., Дерхо М.А, Харлап С.Ю.* Клетки крови как индикатор активности стресс-реакций в организме цыплят // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 5 (135). – С. 68–71.
18. *Campo J.L., Prieto M.T., Dávila S.G.* of housing system and cold stress on heterophilto-lymphocyte ratio, asymmetry, and tonic immobility duration of chickens // Poultry Science. – 2008. – Vol. 87, N 4. – P. 621–626.
19. of ascorbic acid and acetylsalicylic acid supplementation on performance of broiler chicks exposed to heat stress / S.M. Naseem, Y.B. Anwar, A. Ghafoor [et al.] // International Journal of Poultry Science. – 2005. – Vol. 4. – P. 900–904.
20. *Леткин А.И.* Лейкоцитарные индексы крови кур-несушек при неспецифическом стрессорном синдроме // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2 (184). – С. 102–108.
21. *Ayo J.O., Ogbuagu N.E.* Heat stress, haematology and small intestinal morphology in broiler chickens: insight into impact and antioxidant-induced amelioration // World's Poultry Science Journal. – 2021. – T. 77, N 4. – P. 949–968.
22. *Морфологический* и биохимический состав крови цыплят-бройлеров при введении в рацион разработанного агрегативно-устойчивого витаминно-минерального комплекса на основе селена в условиях смоделированного теплового стресса / В.А. Оробец, Е.А. Соколова, Е.С. Кастарнова [и др.] // Ветеринария Кубани. – 2020. – № 2. – С. 24–26.

REFERENCES

1. Shkuratova I.A., Vereshchak N.A., Belousov A.I., Malkov S.V., Krasnoperov A.S., Oparina O.Yu., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2019, No. 4, pp. 114–118. (In Russ.)
2. Emami N.K., Dridi S., Jung U., Voy B., Radical response: of heat stress-induced oxidative stress on lipid metabolism in the avian liver, *Antioxidants*, 2021, Vol. 10, No. 1, pp. 1–15.
3. Cao C., Cline M.A., Gilbert E.R., Chowdhury V.S., The microbiota-gut-brain axis during heat stress in chickens: a review, *Frontiers in Physiology*, 2021, Vol. 12, No. Apr, pp. 752265.
4. Ostrovskii V.K., Mashchenko A.V., Yangolenko D.V., *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*, 2006, No. 6, pp. 128–132. (In Russ.)

5. Shchitkovskaya T.R., *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Baumana*, 2011, Vol. 208, pp. 371–376. (In Russ.)
6. Buslovskaya L.K., Kovtunetko A.Yu., Belyaeva E.Yu., *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya Estestvennye nauki*, 2010, No. 21 (92), Issue. 13, pp. 96–102. (In Russ.)
7. Donnik I.M., Shkuratova I.A., *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2017, Vol. 87, No. 4, pp. 362–366. (In Russ.)
8. Zabudskii Yu.I., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2002, No. 6, pp. 80–85. (In Russ.)
9. Zubareva E.V., *Nauchnyi rezul'tat. Seriya: Fiziologiya*, 2014, No. 1, pp. 27–34. (In Russ.)
10. Lomako V.V., *Problemy kriobiologii i kriomeditsiny*, 2018, No. 28 (4), pp. 293–310. (In Russ.)
11. Nadezhdin S.V., Fedorova M.Z., Pavlov N.A., Zubareva E.V., *Nauchnye vedomosti. Biologiya*, 2008, No. 43 (3), pp. 5–11. (In Russ.)
12. Kharlap S.Yu., Derkho M.A., Sereda T.I., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No. 2 (52), pp. 103–105. (In Russ.)
13. Kochish I.I., Lugovaya I.S., Azarnova T.O., Naidenskii M.S., Antipov A.A., Petrova Yu.V., Anshakov D.V., Zolotukhina E.A., *Doklady Rossiiskoi Akademii nauk. Nauki o zhizni*, 2020, Vol. 494, pp. 491–495. (In Russ.)
14. Saifutdinova L.V., Derkho M.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 1 (75), pp. 136–139. (In Russ.)
15. Tsarev P.Yu., *Vestnik KrasGAU*, 2018, No. 1 (136), pp. 83–88. (In Russ.)
16. Tsyganova S.V., *BIO*, 2014, No. 12 (171), pp. 8–11. (In Russ.)
17. Donnik I.M., Derkho M.A, Kharlap S.Yu., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2015, No. 5 (135), pp. 68–71. (In Russ.)
18. Campo J.L., Prieto M.T., Dávila S.G., of housing system and cold stress on heterophilto-lymphocyte ratio, g asymmetry, and tonic immobility duration of chickens, *Poultry Science*, 2008, Vol. 87, No. 4, pp. 621–626.
19. Naseem S.M., Anwar Y.B., Ghafoor A., Aslam A., Akhter S., of ascorbic acid and acetylsalicylic acid supplementation on performance of broiler chicks exposed to heat stress, *International Journal of Poultry Science*, 2005, Vol. 4, pp. 900–904.
20. Letkin A.I., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 2 (184), pp. 102–108. (In Russ.)
21. Ayo J.O., Ogbuagu N.E., Heat stress, haematology and small intestinal morphology in broiler chickens: insight into impact and antioxidant-induced amelioration, *World's Poultry Science Journal*, 2021, Vol. 77, No. 4, pp. 949–968.
22. Orobets V.A., Sokolova E.A., Kastarnova E.S., Sevost'yanova O.I., *Veterinariya Kubani*, 2020, No. 2, pp. 24–26. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-113-121
УДК 577.118:636.4

СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ В ПАРЕНХИМАТОЗНЫХ ОРГАНАХ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЛАНДРАС

О.А. Зайко, кандидат биологических наук
Т.В. Коновалова, старший преподаватель
В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор
Е.В. Камалдинов, доктор биологических наук, доцент
М.В. Стрижкова, кандидат биологических наук
М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, профессор
А.И. Желтиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Н.Н. Кочнев, доктор биологических наук, профессор
А.А. Плахова, доктор биологических наук, доцент
Л.А. Осинцева, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Ключевые слова: медь, печень, почки, селезенка, легкие, свиньи, ландрас.

Реферат. Приведены результаты оценки уровня меди в печени, почках, легких и селезенке свиней ландрасской породы. Исследования выполнены на клинически здоровых шестимесячных животных, выращенных в крупном свиноводческом хозяйстве Алтайского края. Условия содержания животных соответствовали стандартным, использовалось типовое для мясного откорма кормление. Элементный анализ проб паренхиматозных органов выполнялся с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии с пламенной и электротермической атомизацией. Обработку данных проводили с использованием Microsoft Office Excel и языка программирования R в среде анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). Установлено, что распределение в случае аккумуляции меди в почках и легких отличалось от нормального, дисперсии не гомогенны. На основании среднего значения и медианы установлен возрастающий ранжированный ряд содержания меди в органах: селезенка < легкие < почки < печень, в числовом выражении: 1 : 1,1 : 6,4 : 7,5. Показатели меди, охарактеризованные медианой, в печени, почках, легких и селезенки составили соответственно 6,25; 5,02; 0,88 и 0,83 мг/кг. Большая однородность характерна для аккумуляции меди в легких и селезенке. С помощью критерия Краскела-Уоллиса установлено, что аккумуляция меди значимо различается в исследуемых органах ($H = 80{,}03$, $df = 3$, $p < 0{,}0001$). Попарное сравнение продемонстрировало значимые отличия для пар: «печень – легкие» ($p < 0{,}0001$), «почки – легкие» ($p < 0{,}0001$), «печень – селезенка» ($p < 0{,}0001$), «почки – селезенка» ($p < 0{,}0001$). Кластерный анализ выявил две группы: «легкие – селезенка» и «печень – почки», значимо отличающиеся уровнем аккумуляции меди. Полученные данные могут использоваться для расчета соответствующих нормативных показателей содержания меди в печени, почках, легких и селезенке свиней ландрасской породы в условиях Западной Сибири.

COPPER CONTENT IN PARENCHYMATOUS ORGANS OF LANDRACE PIGS

O.A. Zaiko, Ph.D. in Biological Sciences
T.V. Konovalova, Senior Lecturer
V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor
E.V. Kamaldinov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
M.V. Strizhkova, Ph.D. in Biological Sciences
M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences, Professor
A.I. Zheltikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
N.N. Kochnev, Doctor of Biological Sciences, Professor
A.A. Plakhova, Doctor of Biological Sciences, Professor
L.A. Osintseva, Doctor of Biological Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Keywords: copper, liver, kidneys, spleen, lungs, pigs, Landrace.

Abstract. Results of the evaluation of copper levels in the liver, kidneys, lungs, and spleen of Landrace pigs are presented. Studies were performed on clinically healthy six-month-old animals bred in a large pig farm in Altai Krai. Animal housing conditions were standard, typical for meat-fattening feeding was used. The authors performed an elemental analysis of samples of parenchymal organs using atomic absorption spectrometry with flame and electrothermal atomization. The data were processed using Microsoft Office Excel and the R programming language in the RStudio data analysis environment version 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). It was found that the distribution in the case of copper accumulation in the kidneys and lungs was different from usual, and the dispersions were not homogeneous. Based on the mean value and median, the authors established an increasing ranked series of the copper content in the organs: spleen < lungs < kidneys < liver, in numerical terms: 1: 1.1: 6.4: 7.5. Median copper values in the liver, kidneys, lungs, and spleen were 6.25; 5.02; 0.88; and 0.83 mg/kg, respectively. More excellent uniformity is characteristic of copper accumulation in the lungs and spleen. Using the Kraskell-Wallis criterion, we found that the collection of copper varies significantly in the organs under study ($H = 80.03$, $df = 3$, $p < 0.0001$). Pairwise comparison showed significant differences for pairs: “liver - lungs” ($p < 0.0001$), “kidneys - lungs” ($p < 0.0001$), “liver - spleen” ($p < 0.0001$), “kidneys - spleen” ($p < 0.0001$). Cluster analysis revealed two groups: “lungs - spleen” and “liver - kidneys,” which differ significantly in the level of copper accumulation. The data obtained can be used to calculate the corresponding standard values of the copper content in the liver, kidneys, lungs, and spleen of Landrace pigs under the conditions of Western Siberia.

В окружающей среде присутствует большое разнообразие химических элементов из-за естественных причин и как следствие деятельности человека, что приводит к широкому распространению их в пищевой цепи [1]. Токсичность тяжелых металлов может зависеть от того, какие это химические элементы, доз, путей попадания в организм, а также возраста, пола, особенностей питания, генетических характеристик макроорганизма [2]. Тяжелые металлы потенциально нарушают деятельность органов и систем, вызывая изменение биохимических показателей крови [3].

Медь является важным биологическим элементом, но ее большие количества могут представлять опасность для человека, животных и растений [4]. Металл участвует в различных ферментативных реакциях, являясь донором и переносчиком электронов, что необходимо для обеспечения способности клеток активно использовать кислород [5]. Дефицит меди имеет множественное влияние на органы и системы, например, на костный мозг и обеспечение им функции кроветворения, что может представлять собой проблему общественного здравоохранения [6, 7]. Негативное воздействие избытка меди может быть обусловлено способностью вытеснять другие ионы из состава белков, нарушая их функцию, вызывать ряд токсических эффектов, приводить к нейродегенерации. Известен ряд нарушений, связанных с отклонениями в содержании меди в организме человека, например, болезнь Менкеса и болезнь Вильсона [5].

Для металлов с умеренной токсичностью, но широко распространенных в окружающей среде, существуют более высокие риски воздействия на организм животных и человека. В эту группу входят Sn, Cu, Ni и Co [1].

Качество животноводческой продукции должно быть обусловлено ее полезными свойствами для человека [8]. Продукты питания являются одним из основных источников химических элементов для населения. По этой причине необходим постоянный мониторинг в отношении отдельных металлов для предотвращения избытка истинно токсичных представителей, микроэлементов или недостатка эссенциальных [9]. Основными источниками меди для человека являются мясо, такие субпродукты, как почки и печень, некоторые морепродукты, каши, орехи [10].

Наравне с традиционным подходом, подразумевающим оценку хозяйственно полезных признаков сельскохозяйственных животных [11, 12], в современных условиях набирает обороты комплексное исследование интерьера и управление состоянием здоровья животных в рамках экологичного животноводства и мониторинга [13–16]. Для этого необходимы специальные навыки и время для контроля и наблюдения за системой, что возможно на крупных животноводческих предприятиях. Это особенно оправданно на территориях, близких к крупным городским агломерациям, в которых потребители резко нетерпимы к экологически небезопасной продукции. Предписывающие документы не могут основываться на простых общих показателях, а должны учитывать разнообразие местных и региональных ситуаций, подкрепленных соответствующими инструментами оценки систем животноводства [17]. В связи с этим выполняется многоплановое исследование генофонда и фенофонда сельскохозяйственных животных в условиях Западной Сибири [14, 18, 19].

Целью данного исследования являлось установление содержания меди в паренхиматозных органах свиней ландрасской породы: печени, почках, лёгких и селезенке.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании была задействована группа свиней породы ландрас из свиноводческого комплекса, расположенного в Алтайском крае. Все животные были клинически здоровы, вакцинированы на основании соответствующего профилактического плана, обеспечены контролем со стороны ветеринарной службы предприятия. Условия содержания свиней были типовыми для мясного типа откорма и соответствовали ГОСТ 28839-2017. Для кормления использовались типовые, сбалансированные с учетом питательной, минеральной и витаминной составляющей полнорационные комбикорма в зависимости от живой массы животных. Количество меди на этапах откорма составляло 19–38 мг на одну голову в сутки. Проверка качества комбикормов на соответствие номенклатуре гарантированных и дополнительных показателей выполнялась на основании ГОСТ Р 51550-2000 и ГОСТ Р 51850-2001. Поение осуществлялось водой второго класса из локального хозяйственно-питьевого источника водоснабжения. Элементный анализ воды, почвы и корма на территории, где располагался свинокомплекс, не показал отклонений от допустимых норм [20, 21].

Убой животных выполнялся при достижении живой массы 95–110 кг и возраста около шести месяцев на основании действующей технологической инструкции, требования к процессу соответствовали Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» ТР ТС 034/2013.

Предметом исследования были такие паренхиматозные органы, как печень, почки, легкие и селезенка свиней. Общее число проб составило 106.

Содержание меди оценивалось с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии с пламенной и электротермической атомизацией на аппарате Shimadzu AA-7000 после соответствующей пробоподготовки.

Полученные результаты систематизировали с помощью ПО Microsoft Office Excel, обрабатывали в среде анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC) на основании языка программирования R. Были установлены следующие показатели: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднеквадратическое отклонение, первый и третий квартили, интерквартильный размах, максимальное и минимальное значение содержания меди, отношение крайних вариант как частное от деления максимального значения на минимальное. Для оценки характера распределения устанавливали ряд критериев, в том числе Шапиро-Уилка и Андерсона-Дарлинга. Гомогенность дисперсий оценивали при помощи критерия Флигнера-Килина.

Оценка различий в аккумуляции меди между паренхиматозными органами осуществлялась на основании непараметрического критерия Краскела-Уоллиса. Для выявления попарных различий использовали апостериорный тест Данна с поправкой Холма. Статистически значимыми они считались при $p<0,05$. Кластерный анализ осуществлялся методом Варда, метрикой расстояний было манхэттенское расстояние.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг сельскохозяйственной продукции в отношении некоторых экополлютантов осуществляется постоянно, для этих целей разрабатываются менее трудозатратные и неинвазивные варианты определения химических элементов в организме животных [22–24]. Ведется речь и об управлении здоровьем продуктивных животных с изучением закономерностей и изменений содержания, распределения химических элементов в организме [15]. Давно назрела острая необходимость в систематизации и упорядочивании знаний, вероятно, с выделением нового направления – ветеринарной элементологии, частью которого является данная работа.

С помощью ряда тестов выполнялась оценка нормальности распределения и аккумуляции меди в различных паренхиматозных органах свиней. В трех случаях содержание меди в печени, селезенке и легких может быть охарактеризовано как нормальное. В тесте Шапиро-Уилка определено, что W-критерий для данных органов соответственно равен 0,96; 0,97 и 0,95, во всех случаях уровень значимости был больше 0,05. Аккумуляция меди в почках свиней отличалась ненормальностью распределения, W-критерий – 0,91 ($p<0,05$). На основании критерия Андерсона-Дарлинга подтвердили нормальность распределения только для содержания микроэлемента в печени и селезенке ($p>0,05$). Оценка гомоскедастичности дисперсий на основании критерия Флигнера-Килина показала их негомогенность, уровень значимости был менее 0,05.

В табл. 1 представлены данные, характеризующие уровень меди в исследованных паренхиматозных органах свиней ландрасской породы. Выделяются две группы внутренних органов со сходными уровнями аккумуляции металла. Максимальные концентрации микроэлемента зафиксированы в печени и почках животных, они значительно выше, чем в селезенке и легких. Ранжированный ряд из органов, в котором за единицу принята наименьшая концентрация меди в селезенке, выглядит таким образом: 1 : 1,1 : 6,4 : 7,5 (селезенка < легкие < почки < печень). Аналогично выглядит ранжированный ряд, если для его расчета брать медиану, хотя нормальным распределение было не во всех случаях.

Таблица 1

Содержание меди в органах свиней породы ландрас, мг/кг
The copper content in organs of Landrace pigs, mg/kg

Органы	n	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me	lim	Отношение крайних вариант
Печень	26	6,29 ± 0,38	6,25	2,90–9,50	1 : 3,3
Почки	25	5,36 ± 0,31	5,02	3,40–9,17	1 : 2,7
Селезенка	25	0,84 ± 0,03	0,83	0,56–1,12	1 : 2,0
Легкие	30	0,90 ± 0,02	0,88	0,69–1,23	1 : 1,8

Для печени характерно самое большое отношение крайних вариант, что может указывать на несколько более весомые различия в аккумуляции рассматриваемого микроэлемента в этом паренхиматозном органе. Хотя по данному показателю «печень – почки» и «селезенка – легкие» также близки к друг другу в рамках двух групп органов.

На рис. 1 продемонстрирован размах изменчивости количества меди в паренхиматозных органах. Более однородными по концентрации металла являются селезенка и легкие. Зарегистрировано наличие нескольких выбросов в случае аккумуляции в легких и почках.

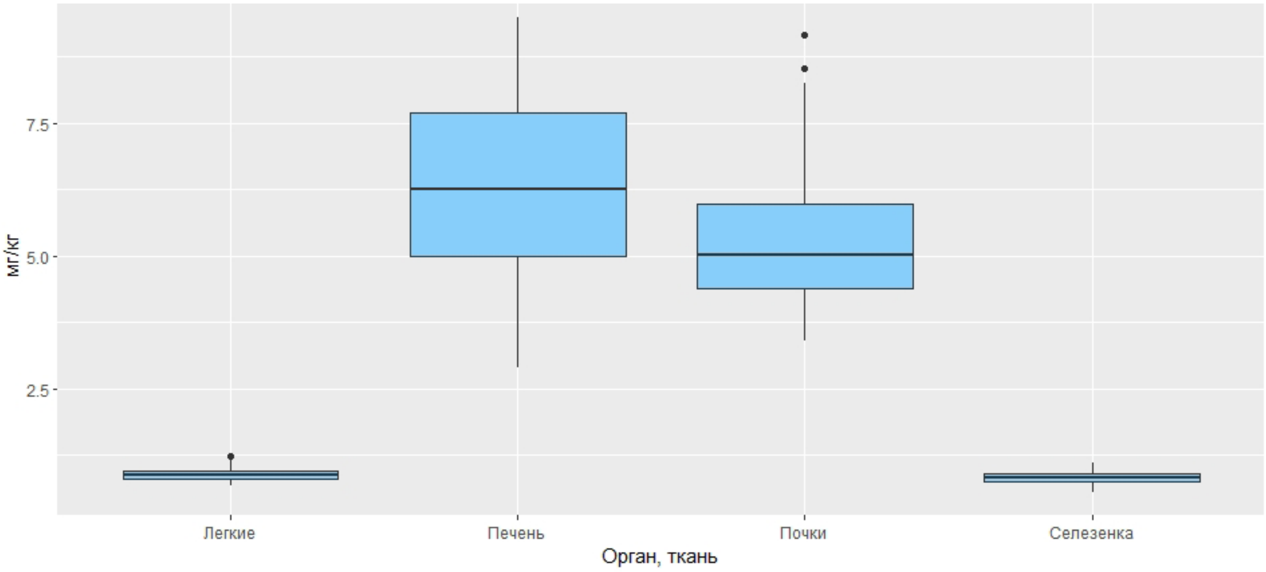


Рис. 1. Размах уровня меди в органах свиней породы ландрас
Fig.1. Copper levels in the organs of Landrace pigs

В табл. 2 для характеристики накопления меди в выбранных паренхиматозных органах представлены некоторые показатели изменчивости. Наименьший и практически одинаковый интерквартильный размах характерен для органов с минимальным уровнем аккумуляции металла, что еще раз подтверждает его однородность.

Таблица 2

Показатели изменчивости меди в органах свиней породы ландрас
Indicators of copper variability in organs of Landrace pigs

Органы	n	σ	Q1	Q3	IQR
Печень	26	1,95	5,00	7,70	2,70
Почки	25	1,54	4,40	5,99	1,59
Селезенка	25	0,13	0,76	0,91	0,15
Легкие	30	0,12	0,80	0,97	0,17

Дисперсионный анализ с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса показал, что аккумуляция меди значимо отличается в рассмотренных паренхиматозных органах свиней ландрасской породы (H = 80,03, df = 3, p < 0,0001). Было выполнено также попарное сравнение, результаты которого представлены в табл. 3. Значимые отличия характерны для органов между ранее выделенными группами, внутри каждой («печень – почки» и «селезенка – легкие») их нет.

Таблица 3

Попарное сравнение уровня меди в органах свиней породы ландрас
Pairwise comparison of copper levels in organs of Landrace pigs

Органы	Легкие	Печень	Почки
Печень	-6,55 <0,0001*	-	-
Почки	-5,55 <0,0001*	0,90 0,3695	-
Селезенка	0,76 0,2244	6,99 <0,0001*	6,04 <0,0001*

* Р в значимом парном сравнении.

С помощью кластерного анализа подтверждено подобие отдельных паренхиматозных органов свиней по особенности аккумуляции меди (рис. 2). На дендрограмме выделяются два кластера. Первый представлен легкими и селезенкой и относительно незначительно отличается от второго по величине аккумуляции. Во второй кластер входят печень и почки.

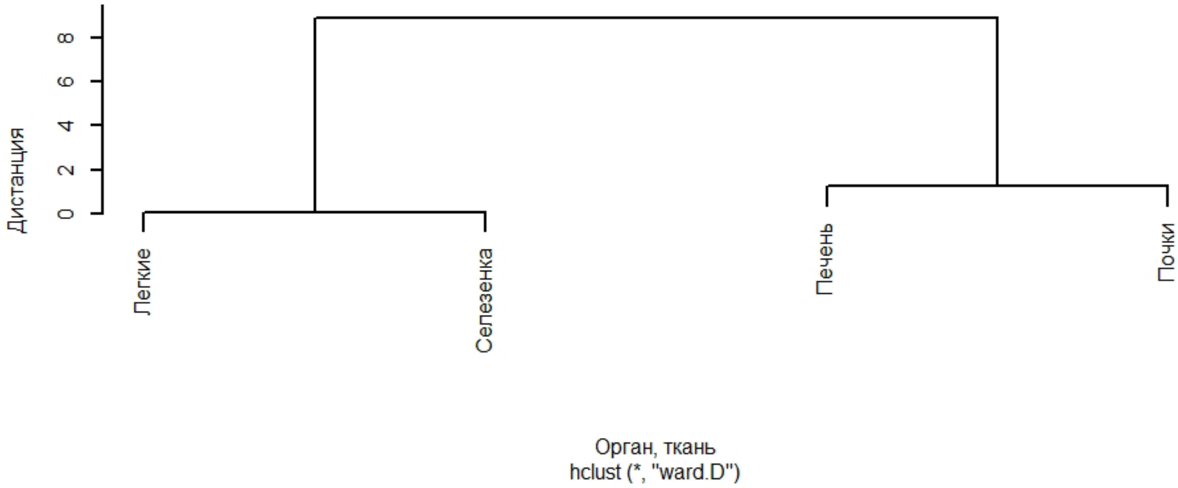


Рис. 2. Кластеризация органов в соответствии с содержанием меди
Fig. 2. Clustering of organs according to copper content

Содержание меди не регламентируется во всех видах мяса, полуфабрикатов из него и в субпродуктах убойных животных, при этом недопустимо обогащение пищевых продуктов массового потребления этим микроэлементом, за некоторым исключением, когда подразумевается необходимость определенного химического состава. В СанПиН 2.3.21078-01 установлены нормы для ряда других продуктов массового потребления, например, масла коровьего. Необходимо понимать, что сельскохозяйственные животные имеют относительно короткую продолжительность жизни, что не позволяет ждать появления тех или иных симптомов дисбаланса химических элементов. У человека же это может иметь фатальные последствия, так как любой тяжелый металл потенциально оказывает влияние на здоровье, чем и руководствуются соответствующие организации из разных стран, систематически выпуская обзоры и гайды, касающиеся этой тематики [25].

В литературе есть данные о содержании меди в некоторых органах и тканях свиней, чаще всего речь идет о мышечной ткани, печени и почках. В Македонии у местных свиней в возрасте 350 дней с живой массой около 90 кг концентрация микроэлемента в печени была 4,19 мг/кг, в почках – 4,37 мг/кг. Значимых отличий в аккумуляции между данными органами на основании критерия Фишера не наблюдалось [26]. В исследовании, проведенном в Польше, на свиньях породы ландрас, которые весили около 30 кг и получали стандартный рацион, установили, что концентрация меди в почках также была выше, чем в печени, что составило соответственно 35,8 и 30,5 мг/кг [27]. Уровень данного микроэлемента в опыте на восьмимесячных свиньях, проведенном в Боснии и Герцеговине, составил в печени 6,67 мг/кг, что ближе всего к полученному нами значению [28]. Несмотря на количественные отличия, печень и почки являются основными паренхиматозными органами, в которых у свиней аккумулируется медь [29].

Наблюдается весомая разрозненность данных, которые нуждаются в систематизации, определении нормативных показателей, учитывающих некоторые индивидуальные характеристики.

ВЫВОДЫ

1. Оценен фенофонд клинически здоровых свиней породы ландрас в отношении аккумуляции меди в печени, почках, легких и селезенке. Медианы в этих органах составили соответственно 6,25; 5,02; 0,88 и 0,83 мг/кг. Эти значения можно предварительно использовать для расчета референсных интервалов с целью характеристики интерьера данного вида сельскохозяйственных животных на территории Западной Сибири.
2. Выявлены различия в содержании меди между паренхиматозными органами ($H = 80{,}03$, $df = 3$, $p < 0{,}0001$) и между органами в парах: «печень – легкие» ($p < 0{,}0001$), «почки – легкие» ($p < 0{,}0001$), «печень – селезенка» ($p < 0{,}0001$), «почки – селезенка» ($p < 0{,}0001$), что подтверждает выборочную аккумуляцию химического элемента в организме свиней.
3. Установлены два главных кластера, демонстрирующих сходство паренхиматозных органов по особенности аккумуляции меди: «легкие – селезенка» и «печень – почки».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Review*: Nutritional ecology of heavy metals / M. Hejna, D. Gottardo, A. Baldi [et al.] // Animal. – 2018. – Vol. 12, N 10. – P. 2156–2170.
2. *Heavy* metals toxicity and the environment / P.B. Tchounwou, C.G. Yedjou, A.K. Patlolla [et al.] // Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. – 2012. – Vol. 101. – P. 133–164.
3. *Changes* in the biochemical parameters of rat blood under the combined of chronic intoxication with such heavy metals as copper, zinc, arsenic / R. Tazitdinova, R. Beisenova, G. Saspugayeva [et al.] // Advances in Animal and Veterinary Sciences. – 2018. – Vol. 6, N 11. – P. 492–498.
4. *Exposure* risk of local residents to copper near the largest copper smelter in China / J. Zhou, J.N. Liang, Y.M. Hu [et al.] // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 630. – P. 453–461.
5. *The essential* metals for humans: a brief overview / M.A. Zoroddu, J. Aaseth, G. Crisponi [et al.] // Journal of Inorganic Biochemistry. – 2019. – Vol. 195. – P. 120–129.
6. *Copper* anemia: review article / Z.W. Myint, T.H. Oo, K.Z. Thein [et al.] // Annals of Hematology. – 2018. – Vol. 97. – P. 1527–1534.

7. *DiNicolantonio J.J., Mangan D., O'Keefe J.H.* Copper may be a leading cause of ischaemic heart disease // Open Heart. – 2018. – Vol. 5, N 2. – e000784.
8. *Essential* and toxic trace element concentrations in commercial veal cuts in Spain / M. Lopez-Alonso, M. Miranda, J.L. Benedito [et al.] // Meat Science. – 2016. – Vol. 121. – P. 47–52.
9. *Hashemi M.* Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2018. – Vol. 154. – P. 263–267.
10. *Copper* metabolism of newborns is adapted to milk ceruloplasmin as a nutritive source of copper: overview of the current data / L.V. Puchkova, P.S. Babich, Y.A. Zatulovskaia [et al.] // Nutrients. – 2018. – Vol. 10, N 11. – P. 1591.
11. *Молочная* продуктивность коров-первотелок голштинской и симментальской пород в условиях Новосибирской области / А.И. Желтиков, Н.М. Костомахин, О.М. Венедиктова [и др.] // Главный зоотехник. – 2017. – № 2. – С. 23–30.
12. *Молочная* продуктивность коров голштинской и симментальской пород в условиях Новосибирской области / А.И. Желтиков, Н.М. Костомахин, Д.С. Адушинов [и др.] // Главный зоотехник. – 2020. – № 4. – С. 41–49.
13. *Lead* content in bristle in aboriginal pigs of Siberia / A.V. Nazarenko, O.A. Zaiko, T.V. Konovalova [et al.] // Trace Elements and Electrolytes. – 2021. – Vol. 38, N 3. – P. 150.
14. *Зайко О.А.* Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. … канд. биол. наук. – Новосибирск, 2014. – 183 с.
15. of anthropogenic 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. Sebezhko, V.L Petukhov., N.I. Shishin [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, N 9. – P. 1530–1535.
16. *Biochemical*, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia / O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich, T.V. Konovalova [et al.] // 3rd International Symposium for Agriculture and Food. – Ohrid, 2017. – P. 100.
17. *Prospects* from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century / B. Dumont, L. Fortun-Lamothe, M. Jouven [et al.] // Animal. – 2013. – Vol. 7. – P. 1028–1043.
18. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. … канд. биол. наук. – Новосибирск, 2018. – 126 с.
19. *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.
20. *Сысо А.И.* Тяжёлые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку // Агрохимия в XXI веке: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти академика РАН В.Г. Минеева. – М., 2018. – С. 30–33.
21. *Direct* determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick graphite electrodes / T.V. Skiba, A.R. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, N 6. – P. 958–964.
22. *Патент* на изобретение RU 2548774 C1. Способ оценки кадмия в печени и легких крупного рогатого скота / О.С. Короткевич, К.Н. Нарожных, Т.В. Коновалова [и др.]. – Заявка № 2014111570/15 от 25.03.2014; Опубл. 20.04.2015.
23. *Патент* на изобретение RU 2591825 C1. Способ определения содержания кадмия в печени крупного рогатого скота / О.С. Короткевич, К.Н. Нарожных, Т.В. Коновалова [и др.]. – Заявка № 2015116391/15 от 29.04.2015; Опубл. 20.07.2016.
24. *Патент* на изобретение RU 2602915 C1. Способ определения концентрации свинца в легких крупного рогатого скота / Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, К.Н. Нарожных [и др.]. – Заявка № № 2015130994/15 от 24.07.2015; Опубл. 20.11.2016.
25. *Toxicological* for copper/ B. Alman, A. Antezana, M. Fay [et al.]. – Atlanta: Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2022. – 362 p.

26. *Heavy* metal accumulation in animal tissues and internal organs of pigs correlated with feed habits / S. Leontopoulos, N. Gougoulias, D. Kantas [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2015. – Vol. 21, N 3. – P. 699–703.
27. *The concentration* of selected heavy metals in muscles, liver and kidneys of pigs fed standard diets and diets containing 60% of new rye varieties / A. Chalabis-Mazurek, J. L. Valverde Piedra, S. Muszynski [et al.] // Animals. –2021. – Vol. 11, N 5. – 1377.
28. *Determination* of heavy metals in liver and skeletal muscles of pigs and calves: experience from Bosnia and Herzegovina / E. Haskovic, T. Muhic-Sarac, M. Lukic [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2021. – Vol. 27, N 3. – P. 593–599.
29. *Advances* in the mechanism of high copper diets in restraining pigs growth / Y. Gao, W. Yang, D. Che [et al.] // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. – 2019. – Vol. 104, N 9. – P. 667–678.

REFERENCES

1. Hejna M., Gottardo D., Baldi A. [et al.], Review: Nutritional ecology of heavy metals, *Animal*, 2018, Vol. 12, No. 10, pp. 2156–2170.
2. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K. [et al.], Heavy metals toxicity and the environment, *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 2012, Vol. 101, pp. 133–164.
3. Tazitdinova R., Beisenova R., Saspugayeva G. [et al.], Changes in the biochemical parameters of rat blood under the combined of chronic intoxication with such heavy metals as copper, zinc, arsenic, *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 2018, Vol. 6, No. 11, pp. 492–498.
4. Zhou J., Liang J.N., Hu Y.M. [et al.], Exposure risk of local residents to copper near the largest *Science of the Total Environment*, 2018, Vol. 630, pp. 453–461.
5. Zoroddu M.A., Aaseth J., Crisponi G. [et al.], The essential metals for humans: a brief overview, *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2019, Vol. 195, pp. 120–129.
6. Myint Z.W., Oo T.H., Thein K.Z. [et al.], Copper anemia: review article, *Annals of Hematology*, 2018, Vol. 97, pp. 1527–1534.
7. DiNicolantonio J.J., Mangan D., O'Keefe J.H. Copper may be a leading cause of ischaemic heart disease, *Open Heart*, 2018, Vol. 5, No. 2, e000784.
8. Lopez-Alonso M., Miranda M., Benedito J.L. [et al.], Essential and toxic trace element concentra- *Meat Science*, 2016, Vol. 121, pp. 47–52.
9. Hashemi M., Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, Vol. 154, pp. 263–267.
10. Puchkova L.V., Babich P.S., Zatulovskaia Y.A. [et al.], Copper metabolism of newborns is adapted to milk ceruloplasmin as a nutritive source of copper: overview of the current data, *Nutrients*, 2018, Vol. 10, No. 11, pp. 1591.
11. Zheltikov A.I., Kostomakhin N.M., Venediktova O.M. [i dr.], *Glavnyi zootekhnik*, 2017, No. 2, pp. 23–30. (In Russ.)
12. Zheltikov A.I., Kostomakhin N.M., Adushinov D.S. [i dr.], *Glavnyi zootekhnik*, 2020, No. 4, pp. 41–49. (In Russ.)
13. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Konovalova T.V. [et al.], Lead content in bristle in aboriginal pigs of Siberia, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 150.
14. Zajko O.A., *Izmenchivost` i korrelyacii ximicheskix e`lementov v organax i tkanyax svinej skorospeloj myasnoj porody` SM-1* (Variability and correlations of chemical elements in organs and tissues of pigs of early maturing meat breed SM-1), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2014, 183 p. (In Russ.)
15. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I. [et al.], of anthropogenic 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, Vol. 9, No. 9, pp. 1530–1535.

16. Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V. [et al.], Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia, *3rd International Symposium for Agriculture and Food*, Ohrid, 2017, pp. 100.
17. Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M. [et al.], Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century, *Animal*, 2013, Vol. 7, pp. 1028–1043.
18. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyatsiya makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroi porody* (Content, variability and correlation of macronutrients in organs and tissues of Black-and-white cattle), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2018, 126 p. (In Russ.)
19. Narozhny`x K.N., *Izmenchivost`, korrelyaciya i uroven` tyazhely`x metallov v organax i tkanyax gerefordskogo skota v usloviyax Zapadnoj Sibiri* (Variability, correlation and level of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in the conditions of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2019, 163 p. (In Russ.)
20. Syso A.I., *Agrokhimiya v XXI veke* (Agrochemistry in the XXI century), Proceedings of the All-Russian Conference with international participation dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences V.G. Mineev, Moscow, 2018, pp. 30–33. (In Russ.)
21. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. [et al.], Direct determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 958–964.
22. Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V. [i dr.], *Patent na izobretenie* RU 2548774 C1, Sposob otsenki kadmiya v pecheni i legkikh krupnogo rogatogo skota, Zayavka № 2014111570/15 ot 25.03.2014; Opubl. 20.04.2015. (In Russ.)
23. Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V. [i dr.], *Patent na izobretenie* RU 2591825 C1, Sposob opredeleniya soderzhaniya kadmiya v pecheni krupnogo rogatogo skota, Zayavka № 2015116391/15 ot 29.04.2015; Opubl. 20.07.2016. (In Russ.)
24. Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N. [i dr.], *Patent na izobretenie* RU 2602915 C1, Sposob opredeleniya kontsentratsii svintsa v legkikh krupnogo rogatogo skota, Zayavka № 2015130994/15 ot 24.07.2015; Opubl. 20.11.2016. (In Russ.)
25. Alman B., Antezana A., Fay M. [et al.], *Toxicological pr for copper*, Atlanta: Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2022, 362 pp.
26. Leontopoulos S., Gougoulias N., Kantas D. [et al.], Heavy metal accumulation in animal tissues and internal organs of pigs correlated with feed habits, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2015, Vol. 21, No. 3, pp. 699–703.
27. Chalabis-Mazurek A., Valverde Piedra J. L., Muszynski S. [et al.], The concentration of selected heavy metals in muscles, liver and kidneys of pigs fed standard diets and diets containing 60% of new rye varieties, *Animals*, 2021, Vol. 11, No. 5, 1377.
28. Haskovic E., Muhic-Sarac T., Lukic M. [et al.], Determination of heavy metals in liver and skeletal muscles of pigs and calves: experience from Bosnia and Herzegovina, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2021, Vol. 27, No. 3, pp. 593–599.
29. Gao Y., Yang W., Che D. [et al.], Advances in the mechanism of high copper diets in restraining pigs growth, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2019, Vol. 104, No. 9, pp. 667–678.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-122-131
УДК: 636.22/.28:612.017.2

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У КОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА

М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, профессор
А.И. Зенкова, магистрант
К.В. Жучаев, доктор биологических наук, профессор
И.А. Вильгельми, аспирант
Н.Н. Кочнев, доктор биологических наук, профессор
В.Г. Маренков, кандидат биологических наук, доцент
А.И. Желтиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Л.А. Осинцева, доктор биологических наук, профессор
А.А. Плахова, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: mlkochneva@rambler.ru

Ключевые слова: гематологический профиль коров, голштинская порода, физиологический статус, вариабельность.

Реферат. Объектом исследования являлись коровы голштинской породы второй-четвертой лактаций и первотелки разных производственных групп, сформированных в зависимости от физиологического статуса животных. Наиболее выраженные гематологические изменения наблюдались у половозрелых коров в первые три месяца лактации. После отела у животных отмечалось снижение количества эритроцитов, лимфоцитов, содержания гемоглобина. В группах с первотелками концентрация форменных элементов крови была достоверно больше по сравнению с половозрелыми коровами. При этом уровень эритроцитов и гемоглобина у первотелок достигает максимального значения в начале лактации. Половозрастные коровы после первого месяца лактации по содержанию гранулоцитов статистически значимо преобладали над первотелками в начале лактации. У коров в первые дни лактации наблюдался наибольший размах изменчивости содержания эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, что отражает индивидуальную реакцию организма на значимые изменения физиологического статуса. При этом у первотелок в начале лактации уровень данных гематологических показателей был наиболее стабильным. Сухостойные коровы по вариабельности содержания форменных элементов крови, как правило, занимали промежуточное положение. Таким образом, оценка гематологического профиля коров разных производственных групп помогает специалистам производить направленную корректировку рационов и условий содержания, эффективно управлять генетическими ресурсами и получать высокие прибыли.

VARIABILITY OF HEMATOLOGICAL PARAMETERS IN COWS DEPENDING ON THEIR PHYSIOLOGICAL STATUS

M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences, Professor
A.I. Zenkova, Master Degree Student
K.V. Zhuchaev, Doctor of Biological Sciences, Professor
I.A. Wilhelmi, Ph.D. Student
N.N. Kochnev, Doctor of Biological Sciences, Professor
V.G. Marenkov, Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
A.I. Zheltikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
L.A. Osintseva, Doctor of Biological Sciences, Professor
A.A. Plakhova, Doctor of Biological Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: mlkochneva@rambler.ru

Keywords: .

Abstract. The object of the study was Holstein cows of the second-fourth milk secretion and first-calf cows of different production groups formed depending on the physiological status of the animals. The most pronounced hematological changes were observed in sexually mature cows during the first three months of milk secretion.

After fawning, the number of erythrocytes, lymphocytes, and hemoglobin decreased. The concentration of blood-forming elements in the groups with a first-calf cow was significantly higher than in sexually mature cows. The level of erythrocytes and hemoglobin in first-calf cows reaches its maximum value at the beginning of milk secretion. Sexually mature cows after the first month of milk secretion were statistically significantly superior to first-calf cows at the beginning of milk secretion in terms of granulocyte content. Cows, in the first days of milk secretion, had the most fantastic range of variability in the scope of erythrocytes, leukocytes, and hemoglobin, which reflects the individual response of the body to significant changes in physiological status. At the same time, the first-calf cows at the beginning of milk secretion had the most stable level of these hematological indices. Dry cows, as a rule, occupied an intermediate position regarding the variability of the content of blood form elements. Thus, assessing the hematological profile of cows of different production groups helps specialists make targeted adjustments to rations and housing conditions, effectively manage genetic resources and obtain high profits.

Оценка гематологического профиля крупного рогатого скота помогает в оценке адаптации животных [1, 2] и их благополучия [3], диагностике, мониторинге и прогнозировании заболеваний, выявлении патологических процессов без четкого клинического проявления, контроле успешности применяемого лечения, что в конечном итоге позволяет устранять возможные осложнения после перенесенного заболевания [4]. Наряду с этим появляется возможность проводить анализ условий содержания животных [5], оперативно устранять питательные дисбалансы для животных разных физиологических групп. Кроветворные органы очень чувствительны к воздействующим на организм факторам, поэтому лабильность форменных элементов крови во многом характеризует протекающие обменные процессы. Сезонные изменения окружающей среды также оказывают влияние на динамику гематологических показателей, следовательно, при характеристике гематологического профиля животных этот фактор важно учитывать [6].

Индивидуальный подход при определении гематологического профиля фенотипически здоровых животных позволяет соотнести полученные данные со значениями для той или иной группы организмов, находящихся в сходном физиологическом состоянии, а случаи выявления значительных расхождений можно учитывать как индивидуальные особенности организма. Известным является тот факт, что коровы с высокой продуктивностью имеют повышенную концентрацию гемоглобина, эритроцитов, гематокрита в сравнении с менее продуктивными [7].

На протяжении периода хозяйственного использования животные неоднократно переходят из одного физиологического состояния в другое. С момента рождения и на протяжении всей жизни все системы органов направлены на обеспечение и поддержание гомеостаза внутренней среды. В первые месяцы жизни теленка происходят значительные колебания показателей в гематологическом профиле животного. Это объясняется не только формированием собственной иммунной системы, но и активным ростом организма.

Отел представляет собой большой стресс для животного и оказывает значительное влияние на все метаболические процессы, организм адаптируется к физиологическим изменениям. Подготовка организма к отелу начинается за несколько месяцев, что способствует минимизации стресса у животных. В первую неделю лактации наблюдаются изменения в функционировании эндокринной системы, начинается синтез гормонов, отвечающих за секрецию молока. Помимо этого, происходит инволюция половых органов коров, что может сопровождаться осложнениями. Все это напрямую влияет на гемопоэз. Физиологические изменения организма имеют большое влияние на интенсивность метаболических процессов. Высокопродуктивные коровы могут сталкиваться с метаболической адаптацией в течение первых недель лактации.

Из всего этого следует, что изменения в гемопоэзе могут происходить не только на фоне перехода из одного физиологического состояния в другое, но также из-за напряженности иммунного статуса [8].

Цель работы заключалась в установлении содержания и вариабельности показателей гематологического профиля коров голштинской породы с учетом их физиологического состояния.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на базе высокорентабельного сельхозпредприятия Новосибирской области, осуществляющего производство молока. Для характеристики гематологического профиля животных было сформировано 8 групп в зависимости от физиологического состояния коров: первотелки на 5-й день лактации (1-я группа, n = 25), коровы на 5-й день 2–4-й лактации (2-я группа, n = 30), первотелки на 30-й день лактации (3-я группа, n = 20), коровы на 30-й день 2–4-й лактации (4-я группа, n = 29), первотелки на 80-й день лактации (5-я группа, n = 26), коровы на 80-й день 2–4-й лактации (6-я группа, n = 25), коровы 2–4-й лактации за 60 дней до отела (7-я группа, n = 21), коровы 2–4-й лактации за 20–25 дней до отела (8-я группа, n = 26). Гематологические показатели определялись однократно у 202 коров голштинской породы в период с 2018 по 2021 г. (в августе, октябре, ноябре, феврале) одновременно во всех группах.

Кровь животных брали утром до начала кормления, полученные образцы исследовали с использованием гематологического анализатора PCF 90 vet на содержание следующих показателей: гемоглобина, эритроцитов, тромбоцитов, гематокрита, лейкоцитов, гранулоцитов, моноцитов, лимфоцитов.

В период взятия проб крови все животные получали рацион, составленный по требованиям для их производственной группы. Средний уровень продуктивности у исследуемых животных составлял 11 034±4966 кг молока при жирномолочности 3,95±0,73 % и белковомолочности 3,20±0,68%. Полученные данные были обработаны методами описательной статистики с использованием ПП Microsoft Excel. Для оценки достоверности разности между группами был проведен дисперсионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физиологическое состояние оказывает значительное влияние на концентрацию форменных элементов крови, поэтому его важно учитывать при оценке гематологического статуса коров, особенно высокопродуктивных. С началом лактации в организме животных происходят значительные изменения, на организм влияют и такие факторы, как перевод в другую производственную группу, смена рациона, адаптация к новым условиям и, как следствие, возникает стресс. Помимо этого, все животные индивидуально проходят период восстановления после отела.

В наших исследованиях установлены межгрупповые различия (P<0,01) по содержанию эритроцитов в крови животных (табл. 1). Так, первотелки в самом начале лактации обладают повышенной концентрацией эритроцитов по сравнению с группами половозрелых коров, находящихся в схожем физиологическом состоянии, однако вариабельность содержания эритроцитов у этих животных была наименьшей. Содержание эритроцитов во 2-й группе характеризуется большей изменчивостью.

Для оценки гематологических показателей важно знать референсные значения, которые определяются как пределы нормальных значений у здоровых коров в самых широких вариациях и зависят от многих элементов, таких как период лактации, порода, пол, возраст и т. д.

Таблица 1

Содержание эритроцитов в крови коров в разные физиологические периоды, 10^{12}/л
The content of erythrocytes in the blood of cows in different physiological periods, 10^{12}/l

Группа	x ± Sx	б	Cv, %
1. Первотелки, 5-й день лактации	7,36±0,14	0,70	9,50
2. Коровы, 5-й день лактации	6,70±0,23	1,20	19,14
3. Первотелки, 30-й день лактации	7,10±0,15	0,66	9,28
4. Коровы, 30-й день лактации	6,15±0,13	0,71	11,50
5. Первотелки, 80-й день лактации	7,25±0,17	0,86	11,90
6. Коровы, 80-й день лактации	6,36±0,13	0,67	10,56
7. Коровы, 60 дней до отела	7,29±0,17	0,77	10,67
8. Коровы, 20-25 дней до отела	7,04±0,15	0,79	11,24

Понижение концентрации эритроцитов относительно референсных значений (5,7 – 9,4) [9] зарегистрировано у 6 % животных во 2-й группе. Отмечена тенденция к росту количества эритроцитов в группах с животными, заканчивающими первую декаду лактации. Согласно результатам исследований [10], количество эритроцитов в крови у коров после отела снижается, а в сухостойный период отмечается их рост. Авторы объясняют выявленные вариации тем, что коровы в начале лактации испытывают отрицательный энергетический баланс на фоне изменений иммунной функции, что может привести к иным уровням параметров крови по сравнению с коровами на пике лактации. В нашем исследовании эта закономерность также прослеживается, но только у половозрелых коров. Отел для первотелок является значительным стрессом, что ведет к повышению количества клеток как белой крови, так и красной (табл. 2). Так, у половозрастных коров при запуске содержание лейкоцитов было наименьшим по сравнению с первотелками в начале лактации и с коровами в сухостойном периоде (Р<0,05).

Таблица 2

Содержание лейкоцитов в крови коров в разные физиологические периоды, 10^9/л

Leukocyte content in the blood of cows in different physiological periods 10^9/l

Группа	x ± Sx	б	Cv, %
1. Первотелки, 5-й день лактации	12,19±1,00	5,0	41,07
2. Коровы, 5-й день лактации	10,48±1,37	7,51	71,73
3. Первотелки, 30-й день лактации	9,40±0,34	1,50	15,96
4. Коровы, 30-й день лактации	9,30±0,70	3,79	40,75
5. Первотелки, 80-й день лактации	11,19±0,95	4,78	42,74
6. Коровы, 80-й день лактации	9,08±0,92	4,64	47,41
7. Коровы, 60 дней до отела	8,10±0,56	2,50	31,86
8. Коровы, 20–25 дней до отела	12,50±1,15	5,86	46,93

Среднее значение содержания лейкоцитов во всех группах находилось в референсных пределах (4,9–13,3) [10]. При этом уровень лейкоцитов, как и эритроцитов, во 2-й группе варьирует в большем диапазоне, что может свидетельствовать о присутствии животных с воспалительной реакцией. Во время течки у коров также возрастает уровень лейкоцитов. Минимальный разброс значений показателя был характерен для первотелок в конце первого месяца лактации. Следует отметить, что содержание лейкоцитов у животных из 1, 2 и 8-й групп было выше нормы на 12,13 и 15 % соответственно. Физиологическое повышения уровня лейкоцитов в крови может наблюдаться у коров во время течки [11].

Популяция лейкоцитов в крови гетерогенна, в ее состав входят агранулоциты и гранулоциты. Поэтому было интересно установить их процентное содержание. По содержанию гранулоцитов (рис. 1) половозрастные коровы после первого месяца лактации преобладают над первотелками в начале лактации (Р<0,05). Наименьшая вариабельность содержания гранулоцитов отмечается у животных 5-й и 7-й групп (14%), а наибольшая изменчивость отмечена у коров в конце сухостойного периода (27%).

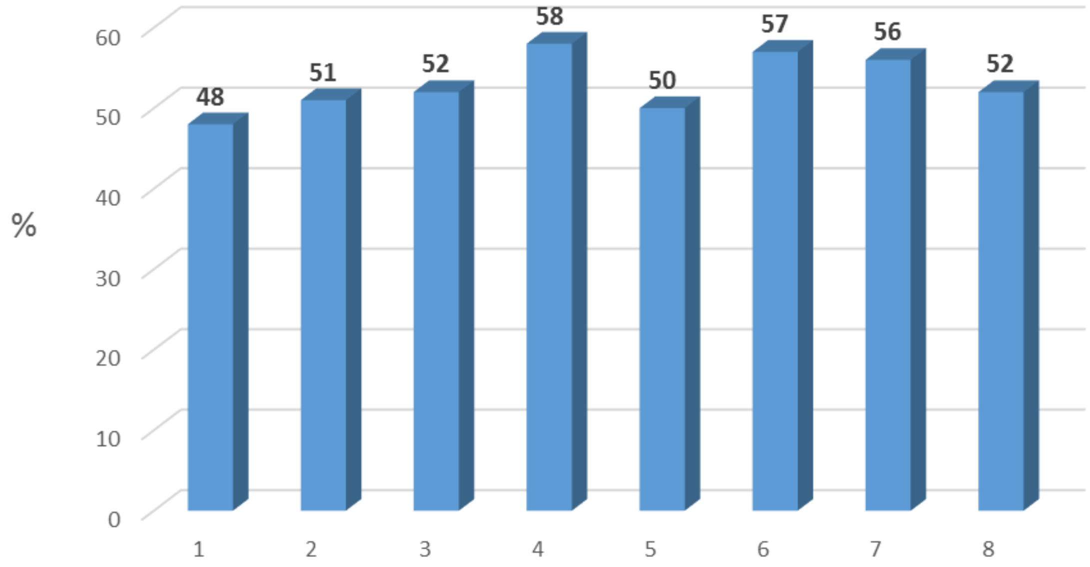


Рис. 1. Частота встречаемости гранулоцитов в крови коров в разные физиологические периоды
Fig. 1.

По содержанию моноцитов все группы практически выравнены (рис. 2), но вместе с тем можно отметить незначительное повышение процента моноцитов было у первотелок в конце первого месяца лактации и у коров в период запуска.

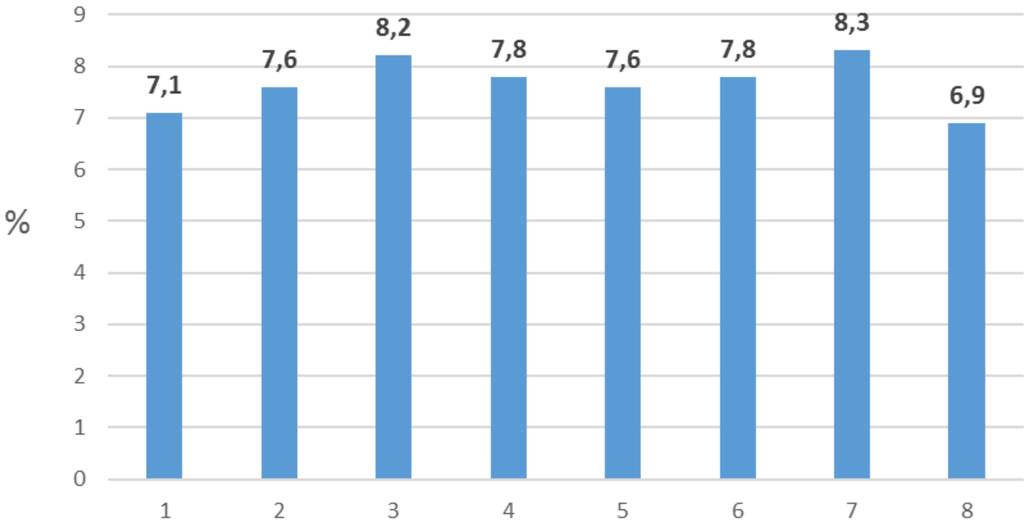


Рис. 2. Частота встречаемости моноцитов в крови коров в разные физиологические периоды
Fig. 2.

В последние дни сухостойного периода у коров зарегистрировано незначительное снижение процента моноцитов, однако варьирование этого показателя было наибольшим (28 %) в сравнении с другими группами. Кроме того, в этой группе у 9 % животных зафиксировано понижение уровня моноцитов относительно физиологической нормы [12].

Наиболее важным показателем для иммунной системы является процентное содержание лимфоцитов, на основании которого можно сделать вывод о наличии травмы, стресса или ряда инфекционных болезней. Физиологическое повышение может наблюдаться во второй половине сухостойного периода [13]. У первотелок в начале и на 3-й месяц лактации, а также у коров на последнем месяце лактации (рис. 3) обнаружен рост частоты встречаемости лимфоцитов относительно других групп (P<0,05).

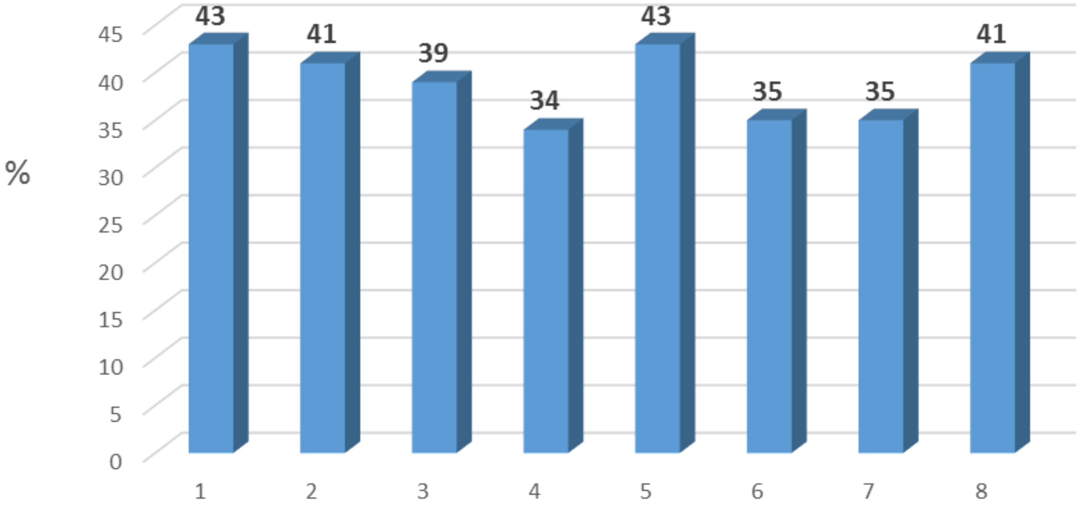


Рис. 3. Частота встречаемости лимфоцитов в крови коров в разные физиологические периоды
Fig. 3.

Повышение уровня лимфоцитов у 8 % животных отмечено в 6-й группе, при этом у 13 % животных 2-й группы показатель находился ниже нормы [12]. В 8-й группе у 7 % животных отмечается понижение показателя при повышенной изменчивости (37%). Наиболее стабильной была частота лимфоцитов у первотелок на 30-й и 80-й дни лактации (21 и 16 % соответственно), тогда как во всех группах половозрелых коров коэффициент вариации этого признака был в пределах от 34 до 37%.

С возрастом в лейкоцитарной формуле происходят изменения в соотношении между гранулоцитами и агранулоцитами. Так, концентрация нейтрофилов и лимфоцитов снижается, но лимфоциты продолжают оставаться преобладающим типом клеток.

Для поддержания гормонального фона животных в норме важную роль играет уровень тромбоцитов. Данный форменный элемент участвует в синтезе простагландинов (PGF2a и PGE2), которые способствуют овуляции, последующему сокращению репродуктивного тракта и оплодотворению. Количество тромбоцитов и средняя ширина объема тромбоцитов определяют выработку простагландинов, гистамина, серотонина и брадикинина, которые, в свою очередь, контролируют процессы овуляции и оплодотворения [14].

По содержанию тромбоцитов в крови исследованных животных была выявлена тенденция к их росту у первотелок (табл. 3) на фоне большего размаха, чем у коров в схожий период лактации.

Таблица 3

Содержание тромбоцитов в крови коров в разные физиологические периоды, 10^9/л
Thrombocyte content in the blood of cows in different physiological periods, 10^9/l

Группа	x ± Sx	б	Cv, %
1. Первотелки, 5-й день лактации	321,92±44,50	222,60	69,16
2. Коровы, 5-й день лактации	319,56±30,30	165,96	51,93
3. Первотелки, 30-й день лактации	410,00±43,04	187,61	45,75
4. Коровы, 30-й день лактации	374,44±29,78	160,39	42,83
5. Первотелки, 80-й день лактации	392,20±33,10	165,59	42,22
6. Коровы, 80-й день лактации	371,60±31,37	156,87	42,21
7. Коровы, 60 дней до отела	402,81±34,13	156,42	38,80
8. Коровы, 20–25 дней до отела	300,53±22,97	117,13	38,97

В сухостойных группах уровень тромбоцитов был более выровнен по отношению к среднему значению. В 5-й группе замечено снижение уровня тромбоцитов у 8 % первотелок относительно референсных пределов (150–800) [9]. Концентрация тромбоцитов меняется на протяжении всего лактационного периода. Резкое увеличение тромбоцитов наблюдается у групп животных на 30-й день лактации, однако различия с другими группами были статистически незначимыми. Отмечено, что уровень тромбоцитов в каждой последующей физиологической группе незначительно снижается. Известно, что в период овуляции большое значение имеет уровень тромбоцитов, так как они способствуют выработке большего количества простагландинов [6].

Выявлены достоверные различия ($P<0,01$) между группами животных разного физиологического состояния по содержанию гемоглобина (табл. 4). В то же время показано, что средние значения гемоглобина в 4-й и 6-й группах находились на нижней референсной границе (84–140) [9]. В начале лактации у первотелок и в конце лактации у половозрелых коров содержание гемоглобина было повышено относительно других физиологических групп. Процентное содержание гематокрита также было значительно выше ($P<0,05$) у первотелок по сравнению с другими группами. Изменчивость уровня гемоглобина во 2-й группе находится в большем диапазоне по сравнению с другими группами.

Таблица 4

Содержание гемоглобина в крови коров в разные физиологические периоды, г/л
Hemoglobin content in the blood of cows in different physiological periods, g/l

Группа	x ± Sx	б	Cv, %
1. Первотелки, 5-й день лактации	102,20±2,64	13,22	12,94
2. Коровы, 5-й день лактации	94,03±3,58	19,65	20,90
3. Первотелки, 30-й день лактации	94,15±1,70	7,10	8,19
4. Коровы, 30-й день лактации	88,27±1,43	7,73	8,75
5. Первотелки, 80-й день лактации	95,04±2,12	10,63	11,19
6. Коровы, 80-й день лактации	89,76±1,61	8,06	8,98
7. Коровы, 60 дней до отела	100,28±1,84	8,43	8,40
8. Коровы, 20–25 дней до отела	101,73±1,72	8,80	8,60

В первый месяц лактации организм адаптируется к новым условиям, восстанавливается, после чего возобновляется половой цикл. При этом организм также очень чувствителен к факторам окружающей среды. В исследуемых группах у половозрелых коров после первого месяца лактации уровень гемоглобина и гематокрита понижен. В группе первотелок после первого месяца лактации понижение гемоглобина и гематокрита отмечено у 10 % особей.

В начале лактации у первотелок и в конце лактации у половозрелых коров содержание гемоглобина было повышено относительно других физиологических групп. В ряде случаев уровень гемоглобина значительно ниже у коров в анэструсе по сравнению со здоровыми коровами, находящимися в охоте [14]. Важно, чтобы в период осеменения уровень эритроцитов и гемоглобина был в норме, поскольку может нарушиться работа гладкой мускулатуры репродуктивных органов, что негативно сказывается на воспроизводстве [14].

В момент достижения физиологической зрелости вариабельность гематологических показателей в большей степени может быть связана с развитием репродуктивных органов или же отклонениями в метаболизме животного. Уровень морфологических показателей крови важен для поддержания функциональной стабильности репродуктивных органов. Во время течки организм коровы нуждается в более высоком уровне гемоглобина и эритроцитов для надлежащей транспортировки кислорода и питательных веществ к основным органам [15].

В целом можно отметить, что наиболее выраженные гематологические изменения наблюдались у половозрелых коров в период первых трех месяцев лактации. Сразу после отела была характерна следующая гематологическая картина: падение количества эритроцитов, уровня гемоглобина, снижение количества лимфоцитов на фоне роста количества нейтрофилов. Наши данные полностью согласуются с результатами исследований лабильности концентрации форменных элементов крови у коров голштинской породы в периоды стельности и лактации [16]. Ряд авторов фиксировали более низкие значения уровня эритроцитов и гемоглобина у животных в анэструсе, при этом средний объём эритроцитов и общее количество лейкоцитов были увеличены [11]. Уровень эритроцитов может возрастать, при этом концентрация гемоглобина не меняется или же наоборот понижается. Подобные случаи могут объяснять увеличением количества эритроцитов при уменьшении их размера.

В период раздоя, как правило, от животного получают наивысшие суточные удои, кроме того, после восстановления организма должно произойти плодотворное осеменение животного. Все это в значительной степени сказывается на гемопоэзе. Так, в группе коров на 80-й день лактации отмечено повышение уровня гранулоцитов у 24 % животных и содержание гемоглобина ниже референсной границы у 27 % особей. В группе первотелок на 80-й день лактации также отмечено понижение уровня гемоглобина у 12 % животных, а повышение уровня лейкоцитов наблюдается у 16 % первотелок.

В сухостойный период на организм животного оказывается минимальная нагрузка, что способствует восстановлению и подготовке организма к отелу. В 8-й группе отмечается рост лейкоцитов у 15 % животных, при этом уровень гранулоцитов повышен у 11 % животных. Единичные случаи отклонения показателей от нормы зафиксированы в 7-й группе.

Исследования вариабельности показателей гематологического профиля коров разного физиологического статуса показали, что наибольший размах изменчивости содержания эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина отмечался у коров в первые дни лактации, что указывает на индивидуальную реакцию организма на существенные изменения физиологического статуса, а также на напряженность иммунной системы. В то же время у первотелок в начале лактации уровень этих гематологических показателей был наиболее стабильным. В период сухостоя коровы по вариабельности содержания форменных элементов крови, как правило, занимали промежуточное положение.

Оценка гематологического профиля животных разных производственных групп помогает специалистам производить направленную корректировку рационов и условий содержания, что позволяет эффективно управлять генетическими ресурсами и получать высокие прибыли. Благодаря этому становится возможной полная реализация заложенного генетического потенциала животных, что наблюдается в стаде коров голштинской породы, на котором были проведены исследования. Вместе с тем для правильной интерпретации общего анализа крови у молочных коров следует делать поправку на физиологическое состояние их организма.

ВЫВОДЫ

1. Показатели гематологического профиля коров голштинской породы соответствуют референсным значениям для крупного рогатого скота. Наибольшая вариабельность содержания форменных элементов крови была характерна для половозрелых коров в первые три месяца лактации.

2. Первотелки в начале лактации отличаются повышенной концентрацией форменных элементов крови. В период раздоя чаще фиксируются случаи отклонений показателей от референсных значений, чем в сухостойный период.

3. Наибольшая изменчивость содержания эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина выявлена у половозрелых коров в первые дни лактации, тогда как у первотелок в данный период уровень этих гематологических показателей был наиболее стабильным. Сухостойные коровы по вариабельности содержания форменных элементов крови, как правило, занимали промежуточное положение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гематологический* статус импортированных животных при адаптации / М.Л. Кочнева, К.В. Жучаев, О.А. Иванова [и др.] // Инновации и продовольственная безопасность. – 2018. – № 4 (22). – С. 91–97.
2. *Себежко О.И.* Гематологические показатели маралух алтае-саянской породы в условиях Западной Сибири // Главный зоотехник. – 2018. – № 7. – С. 52–60.
3. *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.
4. *Сивков А.И.* Гематологические и биохимические показатели крови коров различных генотипов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 2 (52-2). – С. 72–74.
5. *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.
6. *Hematology* and biochemistry of (*Bubalus bubalis*): of sex and age on reference values / T.B. Rocha, R. da Cruz Paulino, D.M. Soares [et al.] // Tropical Animal Health and Production. – 2021. – T. 53, N 2. – P. 1–7. – https://doi.org/10.1007/s11250-021-02727-x.
7. *Байдак Е.В., Никулина Н.Б., Аксенова В.М.* Гематологический статус молодых дойных коров в одном из хозяйств пермского края // Пермский аграрный вестник. – 2020. – № 2 (30). – С. 98–103.
8. *Кочнева М.Л., Бутеева С.К.* Варьирование параметров интерьерного статуса крупного рогатого скота в период адаптации // Научное обозрение. – 2015. – № 22. – С. 22–28.
9. *Roland L., Drillich M., Iwersen M.* Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine // J. of Veterinary Diagnostic Investigation. – 2014. – Vol. 26. – P. 592–598.

10. *Reference* intervals for hematological and biochemical parameters, acute phase proteins and markers of oxidation in Holstein dairy cows around 3 and 30 days after calving / P. Moretti, S. Paltrinieri, E. Trevisi [et al.] // Research in Veterinary Science. – 2017. – Vol. 114. – P. 322–331.
11. *Шальнев О.В.* Влияние голштинизации на молочную продуктивность черно-пестрого скота Свердловской области // Уральский государственный аграрный университет. – 2018. – № 2.– С. 90–91.
12. *Интегральная* оценка степени напряжения организма коров в условиях техногенной агроэкосферы / А.Р. Таирова, В.Р. Шарифьянова, Г.В. Мещерякова [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 10 (164). – С. 40–44.
13. *Мударисов Р.М., Ахметзянова Г.Р., Хакимов И.Н.* Биохимические и морфологические показатели крови и уровень естественной резистентности коров голштинской породы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2. – С. 116–120.
14. *Hematology* reference intervals during the prepartum period, week after calving, and peak lactation in clinically healthy Holstein cows / V. Tsiamadis, A. Kougioumtzis, N. Siachos [et al.] // Veterinary Clinical Pathology. – 2022. – T. 51, N 1. – P. 134–145. – https://doi.org/10.1111/vcp.13069.
15. *Welfare* Assessment: Correspondence analysis of welfare score and hematological and biochemical of dairy cows in Sardinia, Italy / F. Loi, G. Pilo, G. Franzoni [et al.] // Animals. – 2021. – T. 11, N 3. – P. 854.
16. *Reference* values and frequency distribution of hematological parameters in cows during lactation and in pregnancy / B. Belić, M.R. Cincović, L. Krčmar [et al.] // Contemporary agriculture. – 2011. – T. 60. – C. 145–151.

REFERENCES

1. 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.)
2. Sebezhko O.I., *Glavnyi zootekhnik*, 2018, No. 7, pp. 52–60. (In Russ.)
3. Zhuchaev K.V., Eilert A.I., Rep'yuk D.V., Ivanova O.A., Kochneva M.L., Pobegailo I.M., *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2017, No. 4 (18), pp. 32–38. (In Russ.)
4. Sivkov A.I., *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2006, No. 2 (52–2), pp. 72–74. (In Russ.)
5. 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.)
6. Rocha T.B., da Cruz Paulino R., Soares [et al.], Hematology and biochemistry of (*Bubalus bubalis*): of sex and age on reference values, *Tropical Animal Health and Production*, 2021, T. 53, No. 2, P. 1–7, https://doi.org/10.1007/s11250-021-02727-x.
7. Baidak E.V., Nikulina N.B., Aksenova V.M., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2020, No. 2 (30), pp. 98–103. (In Russ.)
8. Kochneva M.L., Buteeva S.K., *Nauchnoe obozrenie*, 2015, No. 22, pp. 22–28. (In Russ.)
9. Roland L., Drillich M., Iwersen M., Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine, *J. of Veterinary Diagnostic Investigation,* 2014, Vol. 26, pp. 592–598.
10. Moretti P., Paltrinieri S., Trevisi E. [et al.], Reference intervals for hematological and biochemical parameters, acute phase proteins and markers of oxidation in Holstein dairy cows around 3 and 30 days after calving, *Research in Veterinary Science*, 2017, Vol. 114, pp. 322–331.
11. Shal'nev O.V., *Ural'skii gosudarstvennyi agrarnyi universitet*, 2018, No. 2, pp. 90–91. (In Russ.)
12. Tairova A.R., Sharif'yanova V.R., Meshcheryakova G.V., Donnik I.M., Bykova O.A., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2017, No. 10 (164), pp. 40–44. (In Russ.)
13. Mudarisov R.M., Akhmetzyanova G.R., Khakimov I.N., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2015, pp. 116–120. (In Russ.)

14. Tsiamadis V., Kougioumtzis A., Siachos N. [et al.], Hematology reference intervals during the prepartum period, week after calving, and peak lactation in clinically healthy Holstein cows, *Veterinary Clinical Pathology*, 2022, T. 51, No. 1, pp. 134–145, https://doi.org/10.1111/vcp.13069.
15. Loi F., Pilo G., Franzoni G. [et al.], Welfare Assessment: Correspondence analysis of welfare score and hematological and biochemical of dairy cows in Sardinia, Italy, *Animals*, 2021, T. 11, No. 3, pp. 854.
16. Belić B., Cincović M.R., Krčmar L., Vidović, B., Reference values and frequency distribution of hematological parameters in cows during lactation and in pregnancy *Contemporary agriculture*, 2011, T. 60, pp. 145–151.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-132-139
УДК 619:616-07.006

УЛЬТРАСОНОГРАФИЧЕСКИЕ И ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ АЛИМЕНТАРНОЙ ЛИМФОМЕ У КОШЕК

[1]**Н.В. Ленкова**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
[1]**Т.Н. Бабкина**, кандидат ветеринарных наук, доцент
[2]**А.В. Вольф**, ветеринарный врач, дерматолог, онколог

[1]*Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский Ростовской обл., Россия*
[2]*Ветеринарная клиника «Амиго», Ростов-на-Дону, Россия*

E-mail: nata.lenkova.80@mail.ru

Ключевые слова: алиментарная лимфома, кошки, биопсия, мезентериальные лимфоузлы, стенка кишечника.

Реферат. Цель исследования заключается в определении характерных изменений при алиментарной лимфоме у кошек при ультрасонографии, патолого-анатомическом и цитологическом исследовании биопсийного материала. Объектами исследования являются кошки с гастроэнтерологическими нарушениями с подозрением на алиментарную лимфому разного возраста и пола. Диагноз ставился на основании клинического обследования по общепринятым методикам, лабораторного исследования крови, ультразвукового исследования, патоморфологического исследования стенок кишечника и лимфатических узлов, цитологического исследования материала лимфатических узлов, полученного методом ТИАБ (Тонкоигольная аспирационная биопсия). Авторы проводили забор материала для цитологического исследования методом черезкожной аспирационной тонкоигольной биопсии под ультразвуковым контролем на аппарате Mindray Z6 Vet. При анализе результатов ультразвукового исследования у кошек с диагнозом алиментарная лимфома в 12 % случаев наблюдалась гепатомегалия, 1 – асцит, 3 – гидроторакс, 3 – увеличение средостенных лимфоузлов, 7 – спленомегалия, 16 – нарушение дифференциации слоев кишечника, 16 – нарушение дифференциации слоев кишечника, 29 – увеличение мезентериальных лимфоузлов и 29 % – утолщение стенок кишечника. При цитологическом исследовании обнаружены округлые, крупные, отдельно расположенные клетки, популяция мономорфная. При гистологическом исследовании в стенке кишечника, прилегающей жировой ткани сальника и ткани лимфатического узла присутствует высококлеточное инвазивное образование, построенное из диффузных пластов округлых лимфоидных неопластических клеток со скудной фиброзной стромой. Наиболее характерными ультразвукововыми находками являются утолщение стенок кишечника, увеличение мезентериальных лимфоузлов.

ULTRASONOGRAPHIC AND PATHOMORPHOLOGICAL CHANGES IN ALIMENTARY LYMPHOMA IN CATS

[1]**N.V. Lenkova,** Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Therapy and Propaedeutics
[1]**T.N. Babkina**, Ph.D. in Veterinary Science, Associate Professor
[2]**A.V. Wolf,** veterinarian, dermatologist, oncologist

[1]*Don State Agrarian University, Persianovsky settlement, Russia*
[2]*Veterinary clinic "Amigo," Rostov on Don, Russia*

E-mail: nata.lenkova.80@mail.ru

Keywords: alimentary lymphoma, cats, biopsy, mesenteric lymph nodes, intestinal wall.

Abstract. The study aimed to determine the characteristic changes in alimentary lymphoma in cats during ultrasonography, pathoanatomic and cytological examination of biopsy material. The survey objects are cats with gastroenterological disorders with suspected alimentary lymphoma of different ages and genders. The diagnosis was made based on a clinical examination according to generally accepted methods, laboratory blood examination, ultrasound examination, pathomorphological examination of the intestinal walls and lymph nodes, and cytological examination of the lymph node material obtained by the TIAB method. The authors carried out the material sampling for cytological examination using percutaneous fine needle aspiration (FNA) biopsy under ultrasound control on the Mindray Z6 Vet apparatus. In addition, the authors conducted pathological and cytological studies in the Vet Union laboratory. When analyzing ultrasound examination in cats diagnosed with alimentary lymphoma, hepatomegaly, 1% ascites, 3% hydrothorax, 3 % increase in mediastinal lymph nodes, 7% splenomegaly, 16% violation of differentiation of intestinal layers, 16% violation of differentiation of intestinal layers, 29% increase in mesenteric lymph nodes, 29 % thickening of intestinal walls were observed in 12% of cases. Cytological examination revealed rounded, large, separately located cells. The population is monomorphic. During a histological study in the intestinal wall, adjacent fatty tissue of the omentum, and lymph node tissue, there is a highly cellular invasive formation constructed from diffuse layers of rounded lymphoid neoplastic cells with a scanty fibrous stroma. The most characteristic ultrasound findings are the thickening of the intestinal walls and an increase in mesenteric lymph nodes.

Лимфома является наиболее распространенным злокачественным новообразованием желудочно-кишечного тракта у кошек. Исследование Калифорнийского университета в Дэвисе, охватывающее более двух десятилетий, показало, что заболеваемость лимфомой у кошек удвоилась. Этот сдвиг может быть обусловлен сочетанием факторов, включающих питание, окружающую среду, а также другие непризнанные влияния. Не менее значимым является повышение осведомленности ветеринарных специалистов в области раковых заболеваний, более рутинное использование эндоскопических и хирургических биопсий, что позволяет получить необходимое гистопатологическое и молекулярное подтверждение, а кроме того, изменения в отношении владельцев, общее увеличение числа посещения ветеринарных клиник [1, 2].

Лимфома желудочно-кишечного тракта у кошек представляет собой гистологически и биологически разнообразное заболевание, характеризующееся отчетливыми морфологическими характеристиками и широким диапазоном исходов [3, 4].

Клинические признаки алиментарной лимфомы зависят от сайта поражения и степени злокачественности. Так, гастроинтестинальная лимфома низкой степени злокачественности (LGAL – Low-Grade Alimentary Limphoma) чаще всего ассоциируется с неспецифическими симптомами, связанными с желудочно-кишечным трактом. У большинства кошек наблюдается потеря массы (>80%), рвота и/или диарея (70–90%) и гипорексия (70–90%), тогда как желтуха встречается редко (7%). Клинические признаки обычно появляются за несколько месяцев до первичного обращения (медиана 6 месяцев) [5–7].

Данная симптоматика характерна также для воспалительных процессов в желудочно-кишечном тракте, в связи с этим требуются дополнительные методы диагностики, позволяющие конкретизировать диагноз. Это может быть ультразвуковое исследование, рентгенография, магнитно-резонансная томография, а также цитологические, гистологические исследования [8, 9].

Ультразвуковое исследование является одним из первых диагностических инструментов, позволяющих дифференцировать воспалительное заболевание от неопластического инфильтративного при диагностике кишечных заболеваний у мелких домашних животных. Рентгенография брюшной полости остается важной частью скрининга пациентов с рвотой и диареей и в большинстве случаев должна проводиться в сочетании с ультразвуковым исследованием [10–12].

Однако для выявления инфильтративных заболеваний кишечника лучше использовать в дополнение к ультразвуковому исследованию гистологическое, так как дифференциация воспалительной и неопластической инфильтрации желудочно-кишечного тракта имеет решающее значение для выбора соответствующих стратегий лечения у животных [13–15].

Целью исследования стало определение наиболее характерных изменений при алиментарной лимфоме у кошек при ультрасонографии, патолого-анатомическом и цитологическом исследовании биопсийного материала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводилось в условиях ветеринарного центра «Амиго» г. Ростова-на-Дону и кафедры терапии и пропедевтики ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». Объектами исследования стали кошки с гастроэнтерологическими нарушениями с подозрением на алиментарную лимфому разного возраста и пола. Общее количество кошек с подтвержденным диагнозом алиментарная лимфома 20 голов. Диагноз ставился на основании клинического обследования по общепринятым методикам, лабораторного исследования крови, ультразвукового исследования, патоморфологического исследования стенок кишечника и лимфатических узлов, цитологического исследования материала лимфатических узлов, полученного методом ТИАБ. Забор материала для цитологического исследования проводили методом черезкожной аспирационной тонкоигольной биопсии под ультразвуковым контролем на аппарате Mindray Z6 Vet. Патологические и цитологические исследования проводились в лаборатории Vet Union.

Полученный цифровой материал обрабатывали методами вариационной статистики (Н.В. Пушкарев,1983) с использованием персонального компьютера (программа Microsoft Excel). Числовой материал представлен в единицах СИ, рекомендованных Всемирной организацией здравоохранения и стандартом СЭВ 1052-78.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При ультразвуковом исследовании оценивали органы брюшной полости, наличие в ней свободной жидкости и газа, для этого использовали ультразвуковой аппарат Mindray Z6 Vet с линейными (3,5–16,0 и 4,0–13,0 МГц) и микроконвексными (,7-6,0 и 3,6–10,0 МГц) датчиками. Во время исследования животные находились в спинном или боковом положении.

Исключение инфекционных болезней осуществляли методом ПЦР (полимеразной цепной реакции). Все исследуемые особи инфекционных диагнозов не имели.

Полученный цифровой материал обработали статистически с использованием персонального компьютера (программа Microsoft Excel, 2010). Разницу между двумя величинами считали достоверной на уровне вероятности P<0,05; 0,01 и 0,001.

При анализе результатов ультразвукового исследования у кошек с диагнозом алиментарная лимфома установили, что в 12 % случаев наблюдалась гепатомегалия, 1 – асцит, 3 – гидроторакс, 3 – увеличение средостенных лимфоузлов, 7 – спленомегалия, 16 – нарушение дифференциации слоев кишечника, 16 – нарушение дифференциации слоев кишечника, 29 – увеличение мезентериальных лимфоузлов и 29 % – утолщение стенок кишечника (рис. 1).

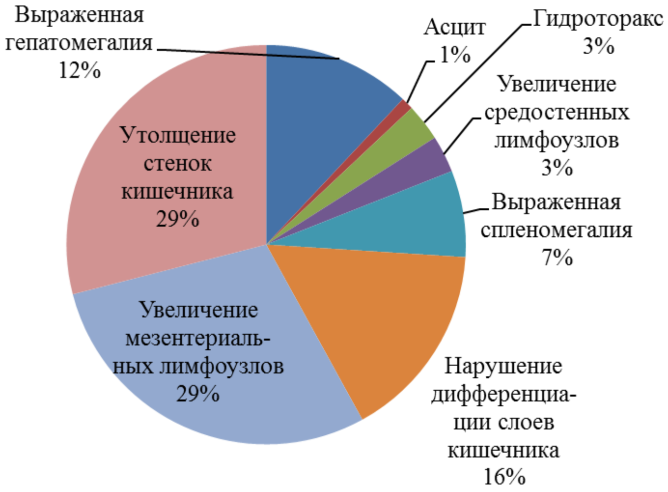


Рис. 1. Ультразвуковые находки при алиментарной лимфоме у кошек в процентах от всех ультразвуковых изменений

Figure 1. As a percentage of all ultrasound changes

Ультразвуковые отклонения при диагностике алиментарной лимфомы у кошек, см
Ultrasound abnormalities in the diagnosis of alimentary lymphoma in cats, sm.

Параметр	Референсные значения	Опытная группа	Контрольная группа
Стенки кишечника	0,14–0,25	0,61±0,06***	0,23±0,01
Мезентериальные лимфоузлы	0,50–2,00	4,29 ±0,48***	1,10±0,12
Медиастернальные лимфоузлы	Не визуализируются	1,72±0,08	Не визуализируются

Примечание. Представлены средние значения максимальной величины.
* P <0,05; ** P <0,01; *** P <0,001.

Для всех пациентов общими ультразвуковыми находками оказались утолщение стенок кишечника (0,61 ± 0,06 против 0,23 ± 0,01 см, P <0,001) и увеличение мезентериальных лимфоузлов различной степени выраженности (4,29±0,48 против 1,10±0,12 см, P<0,001) (таблица). При анализе частных случаев увеличение мезентериальных лимфоузлов (рис. 2) и утолщение стенок кишечника (рис. 3) были выявлены у всех опытных кошек. Однако следует отметить значительный диапазон измерений: размер мезентериальных лимфоузлов варьировал от 1,54 до 6,78, а толщины стенок кишечника – от 0,33 до 1,12 см. Из этого следует вывод, что незначительные изменения указанных показателей не исключают диагноз алиментарная лимфома. В то же время отсутствие этих изменений является непатогномоничным для пациентов с GI-лимфомой. У опытных кошек нарушение дифференциации слоев выявлено в 55%, из чего следует, что отсутствие этого изменения не исключает наличия лимфомы.

По результатам ультразвукового исследования были выявлены также следующие изменения: выраженная гепато- и спленомегалия, гидроторакс (рис. 3) и асцит (всего 1% от всех изменений).

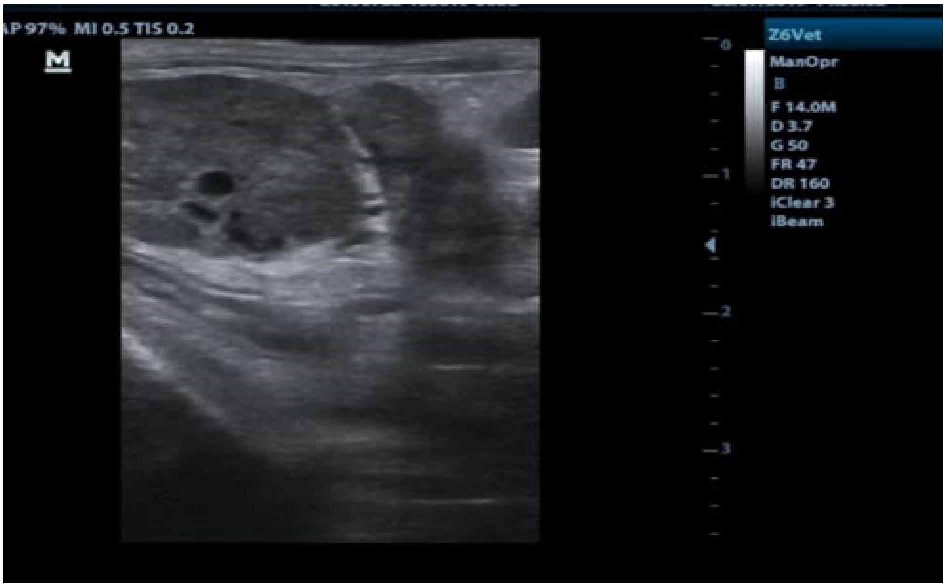


Рис. 2. Увеличенный мезентериальный лимфоузел при алиментарной лимфоме у кошек
Figure. 2. Enlarged mesenteric lymph node in alimentary lymphoma in cats.

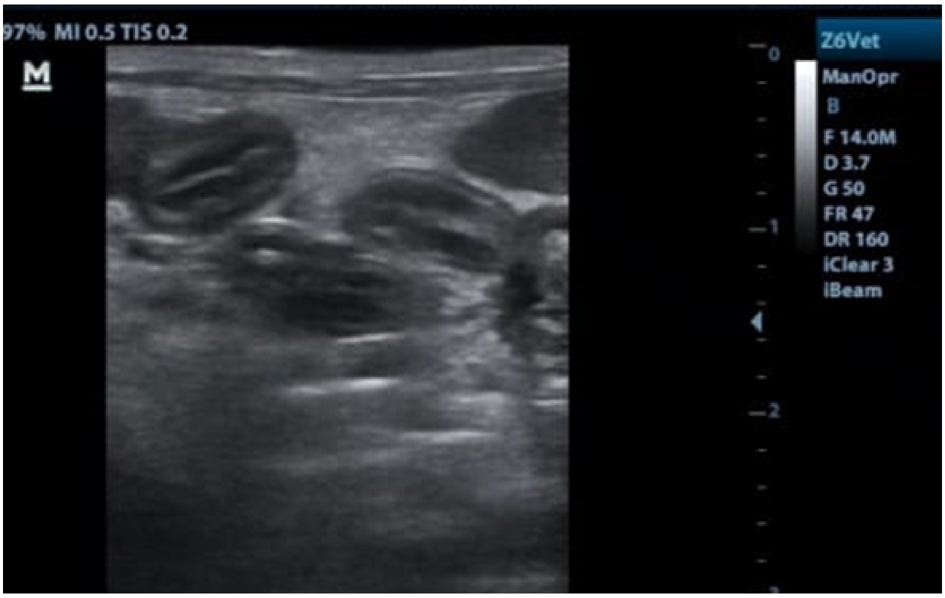


Рис. 3. Утолщение стенок тонкого кишечника при алиментарной лимфоме у кошек
Figure. 3. Thickening of the small intestine walls in alimentary lymphoma in cats.

Рис. 4. Значительное количество свободной жидкости в грудной полости при алиментарной лимфоме у кошек
Figure 4. A

Для постановки окончательного диагноза проведены цитологические и/или гистологические исследования биопсийного материала лимфоузлов, полученного с помощью тонкоигольной аспирации. При этом в 56,25 % случаев получен достоверный окончательный диагноз.

При цитологическом исследовании обнаружены округлые, крупные, отдельно расположенные клетки, популяция мономорфная. Клетки имеют ядро с изрезанными контурами, в некоторых клетках более округлое, с мелкодисперсным хроматином, высокое ядерно-цитоплазматическое соотношение и скудную базофильную цитоплазму. Очень редко в цитоплазме единичных клеток встречаются голубоватые включения (тельца Рассела). Регулярно встречаются митозы. Фон содержит значительное количество эритроцитов.

При гистологическом исследовании в стенке кишечника, прилегающей жировой ткани сальника и ткани лимфатического узла обнаруживается высококлеточное инвазивное образование, построенное из диффузных пластов округлых лимфоидных неопластических клеток со скудной фиброзной стромой. У клеток эозинофильная цитоплазма от скудного до умеренного объема и центральное круглое ядро с везикулярным или мелкозернистым хроматином, число ядрышек от одного до нескольких, умеренный анизоцитоз и анизокариоз, частота митозов 1–2 в поле зрения. В краевых участках резекции присутствуют опухолевые клетки.

Тонкоигольная аспирационная биопсия лимфоузлов была проведена у 16 пациентов. В 9 случаях этого было достаточно для постановки окончательного диагноза и начала терапии. В 5 случаях результаты не имели диагностической ценности и была проведена лапаротомия с полностенной инцизонной биопсией кишечника и регионарной лимфаденэктомией узлов с макроскопическими изменениями. ИГХ-исследование не проводилось. Для исключения сухой формы инфекционного перитонита кошек (ИПК) при наличии показаний проводился забор биоптата лимфоузлов для исследования методом ПЦР (животные с подтвержденным ИПК в группы не включались).

Отдаленный прогноз для всех пациентов неблагоприятный.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее характерными ультразвуковыми находками при алиментарной лимфоме у кошек являются утолщение стенок кишечника до 0,61 ± 0,06 см и увеличение мезентериальных лимфоузлов различной степени выраженности до 4,29±0,48 см.

2. При гистологическом исследовании в стенке кишечника, прилегающей жировой ткани сальника и ткани лимфатического узла обнаруживается высококлеточное инвазивное образование, построенное из диффузных пластов округлых лимфоидных неопластических клеток со скудной фиброзной стромой. Частота митозов 1–2 в поле зрения. В краевых участках резекции присутствуют опухолевые клетки.

3. При цитологическом исследовании обнаружены округлые, крупные, отдельно расположенные клетки с ядром изрезанного контура, с мелкодисперсным хроматином, высоким ядерно-цитоплазматическим соотношением и скудной базофильной цитоплазмой, популяция мономорфная. Регулярно встречаются митозы. Фон содержит значительное количество эритроцитов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *World* Health Organisation of Lymphoid Tumours in Veterinary and Human Medicine: a Comparative Evaluation of Gastrointestinal Lymphomas in 61 Cats / B. Wolfsberger, A. Fuchs-Baumgartinger, C. Beham-Schmid // Journal of Comparative Pathology. – February 2018. – Vol. 159. – P. 1–10. – https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2017.12.006.
2. *Marsilio S.* g ry Bowel Disease from Alimentary Lymphoma in Cats: Does It Matter? // Vet Clin North Am Small Anim Pract. – 2021, Jan. – N 51. – P. 93–109. – https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33187624/.
3. *Post-chemotherapy* perforation in cats with discrete intermediate- or large-cell gastrointestinal lymphoma / Z. Crouse, B. Phillips, A. Flory [et al.] // J Feline Med Surg. – 2017. – https://doi.org/10.1177/1098612X17723773.
4. *Атучина А.А., Гонохова М.Н.* Этиологические факторы развития лимфом у кошек // Современные тенденции развития ветеринарной науки и практики: материалы Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф., Омск, 26 окт. 2021 г. – Омск: Ом. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина, 2021. – С. 339–342. – https://elibrary.ru/item.asp?id=47315741.
5. *Low-grade* alimentary lymphoma: clinicopathological and response to treatment in 17 cases / Amy E. Lingard, Katherine Briscoe, Vanessa R. Barrs // Journal of Feline Medicine & Surgery. – August 2009. – Vol. 11, Is. 8. – P. 692–700. – https://doi.org/10.1016/j.jfms.2009.05.021.
6. *A retrospective* study of 16 cats with intermediate- to high-grade alimentary lymphoma / Kwak, Dong-Hyuk, Cho [et al.] // Korean Journal of Veterinary Research. – 2021. – Vol. – e8. – DOI: 10.14405/kjvr.2021.61.e8.
7. *Risk* factors associated with progressive increases in serum creatinine concentrations in cats with cancer receiving doxorubicin / C.A. Palm, K.A. Skorupski, M. Delgado, R.B. Rebhun // J. Vet Intern Med. – 2020. – https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32779764/.
8. *Проблемы* диагностики и дифференциальной диагностики лимфомы у кошки / О.С. Морис, Л.В. Клетикова, А.Н. Мартынов, В.В. Пронин // Нива Поволжья. – 2017. – № 3 (44). – С. 63-–68. – EDN ZFIIDF.
9. *Sina Marsilio*. ing Bowel Disease from Alimentary Lymphoma in Cats: Does It Matter? // Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. – 11 November 2020. – Vol. 51, Is. 1 (Cover date: January 2021). – P. 93–109. – https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2020.09.009.
10. *Атабаева Т.К., Костылев В.А., Гончарова А.В.* Клиническая и ультрасонографическая картина лимфомы кишечника у кошек // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 7(213). – С. 67–72. – DOI: 10.53083/1996-4277-2022-213-7-67-72. – EDN GXGANM.
11. *Цыганский Р.А.* Ультразвуковое исследование при алиментарной лимфоме кошек // Научная жизнь. – 2018. – № 9. – С. 130–140. – https://elibrary.ru/item.asp?id=36951669.
12. *Цыганский Р.А.* Количественное определение эхогенности кишечника при алиментарной лимфоме кошек // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 42–2. – С. 145–149. – https://elibrary.ru/item.asp?id=36774180.

13. *Современный* подход в диагностике и лечению мультицентрической лимфомы у собак / Д.А. Саврасов, В.А. Дуева, А.П. Золототрубов, В.М. Матвеев // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2017. – № 1. – С. 73–76. – EDN YIJDIH.
14. *Lorrie Gaschen*. Ultrasonography of Small Intestinal and Neoplastic Diseases in Dogs and Cats // Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. – March 2011. – Vol. 41, Is. 2. – P. 329–344. – https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2011.01.002.
15. *Novel* Treatments for Lymphoma / Douglas H. Thamm // VMD – Vet Clin Small Animal Practice. – 2019. – Vol. 49. – P. 903–915. – https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195561619300816?via%3Dihub.

REFERENCES

1. Wolfesberger B., Fuchs-Baumgartinger A., Beham-Schmid C., World Health Organisation Clas- of Lymphoid Tumours in Veterinary and Human Medicine: a Comparative Evaluation of Gastrointestinal Lymphomas in 61 Cats, *Journal of Comparative Pathology*, February 2018, Vol. 159, pp 1–10, https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2017.12.006.
2. Marsilio S., g Bowel Disease from Alimentary Lymphoma in Cats: Does It Matter?, *Vet Clin North Am Small Anim Pract*, 2021, Jan, No. 51, pp. 93–109. – https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33187624/.
3. Crouse Z., Phillips B., Flory A. [et al.], Post-chemotherapy perforation in cats with discrete intermediate- or large-cell gastrointestinal lymphoma, *J Feline Med Surg*, 2017, https://doi.org/10.1177/1098612X17723773.
4. Atuchina A.A., Gonohova M.N., *Sovremennye tendency razvitiya veterinarian nauki I praktiki* (Modern trends in the development of veterinary science and practice), Proceedings of the Conference Title, Omsk, 26 out. 2021 g., Omsk: Omskij GAU im. P.A. Stolypina, 2021, pp. 339–342, https://elibrary.ru/item.asp?id=47315741. (In Russ.)
5. Lingard Amy E., Briscoe Katherine, Barrs Vanessa R., Low-grade alimentary lymphoma: clinicopathological and response to treatment in 17 cases, *Journal of Feline Medicine & Surgery,* August 2009, Vol. 11, Is. 8, pp. 692–700, https://doi.org/10.1016/j.jfms.2009.05.021.
6. Kwak, Dong-Hyuk, Cho, [et al.], A retrospective study of 16 cats with intermediate- to high-grade alimentary lymphoma, *Korean Journal of Veterinary Research*, 2021, Vol. 61, e8, DOI: 10.14405/kjvr.2021.61.e8.
7. Palm CA, Skorupski KA, Delgado M, Rebhun RB., Risk factors associated with progressive increases in serum creatinine concentrations in cats with cancer receiving doxorubicin, *J Vet Intern Med*, 2020, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32779764/.
8. Moris O.S., Kletikova L.V., Martynov A.N., Pronin V.V., *Niva Povolzh'ya*, 2017, No. 3(44), pp. 63–68, EDN ZFIIDF. (In Russ.)
9. Sina Marsilio, Bowel Disease from Alimentary Lymphoma in Cats: Does It Matter?, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 11 November 2020, Vol. 51, Is. 1 (Cover date: January 2021), pp. 93–109, https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2020.09.009.
10. Atabaeva T.K., Kostylev V.A., Goncharova A.V., *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. 7 (213), pp. 67–72, DOI: 10.53083/1996-4277-2022-213-7-67-72, EDN GXGANM. (In Russ.)
11. Cyganskij R.A., *Nauchnaya zhizn'*, 2018, No. 9, pp. 130–140, https://elibrary.ru/item.asp?id=36951669. (In Russ.)
12. Cyganskij R.A., *Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya*, 2018, No. 42–2, pp. 145–149, https://elibrary.ru/item.asp?id=36774180. (In Russ.)
13. Savrasov D.A., Dueva V.A., Zolototrubov A.P., Matveev V.M., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2017, No. 1, pp. 73–76, EDN YIJDIH. (In Russ.)
14. Lorrie Gaschen, Ultrasonography of Small Intestinal and Neoplastic Diseases in Dogs and Cats, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, March 2011, Vol. 41, Is. 2, pp. 329–344, https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2011.01.002.

15. *Novel Treatments for Lymphoma*, Douglas H. Thamm, VMD – Vet Clin Small Animal Practice, 2019, Vol. 49, pp. 903–915, https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195561619300816?via%3Dihub.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-140-146
УДК 579.22:636.4

КОРРЕКЦИЯ МИКРОБИОЦЕНОЗА, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗМА ПОРОСЯТ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ

Т.И. Лоренгель, кандидат ветеринарных наук
В.И. Плешакова, доктор ветеринарных наук, профессор
Е.О. Шабанова, аспирант

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск, Россия

E-mail: ti.lorengel@omgau.org

Ключевые слова: кормовая добавка, поросята, микрофлора, гематологические и биохимические показатели крови.

Реферат. Представлены результаты исследования влияния кормовой добавки на микрофлору желудочно-кишечного тракта, гематологические, биохимические и производственные показатели поросят технологической группы 0–1 месяц крупной белой породы, ландрас и дюрок. Для проведения эксперимента были сформированы две группы животных – опытная и контрольная. Поросятам опытной группы в рацион вводили кормовую добавку Бимулак Пре со 2-го по 15-й день жизни. Животные опытной группы находились на обычном рационе и кормовую добавку не получали. В результате проведенных исследований установлено положительное влияние кормовой добавки Бимулак Пре на энтеробиоценоз желудочно-кишечного тракта поросят, гематологические и биохимические показатели крови, а также производственные показатели. Кормовая добавка, после курса применения, способствует увеличению количества полезной микрофлоры (бифидо- и лактобактерий) при одновременном уменьшении лактозонегативных вариантов кишечной палочки, стафилококков и дрожжеподобных грибов рода *Candida* в кишечнике. Анализ гематологических и биохимических показателей показал, что в опытной группе поросят незначительно увеличивается количество эритроцитов и гемоглобина, снижается количество лейкоцитов, возрастает содержание общего белка и уменьшается уровень глюкозы по сравнению с контролем. Применение добавки вместе с основным рационом приводит к снижению падежа поросят, повышению сохранности поголовья молодняка, увеличению среднесуточного прироста живой массы и средней массы при отъеме.

CORRECTION OF MICRO BIOCENOSIS AND PHYSIOLOGICAL PROCESSES IN PIGLETS UNDER INTENSIVE BREEDING TECHNOLOGY

T.I. Lorengel, Ph.D. in Veterinary Sciences
V.I. Pleshakova, Doctor of Veterinary Sciences, Professor
E.O. Shabanova, Ph.D. student

Omsk State Agrarian University after named P.A. Stolypin, Omsk, Russia

E-mail: ti.lorengel@omgau.org

Keywords: feed additive, piglets, m

Abstract. The authors presented the results of a study of the feed additive’s effect on the gastrointestinal tract’s microflora, hematological, biochemical, and production indicators of piglets of the technological group 0-1 month of the Large White breed, Landrace, and Duroc. For the experiment, the authors formed two groups of animals - experimental and control. Piglets of the experimental group were fed with Bimulak Pre feed additive from the 2nd to the 15th day of life. Animals of the experimental group were on the usual diet and did not receive the feed additive. As a result of studies, a positive effect of feed additive Bimulak Pre on enterobiocenosis of the gastrointestinal tract of piglets, hematological and biochemical parameters of blood, and production performance. After the application, the feed additive helps increase the amount of beneficial microflora (bifidobacteria and lactobacilli) while reducing lactose-negative variants of Escherichia coli, staphylococci, and yeast-like fungi of the genus Candida in the intestine. Using the analysis of hematological and biochemical parameters, the authors found that the number of erythrocytes and hemoglobin slightly increased in the experimental group of piglets. In addition, the total number of incremental cytes decreases, the total protein content increases, and the glucose level decrease compared to the check. The use of the additive with the essential diet leads to a reduction in the mortality of piglets, increased preservation of young stock, and an increase in average daily live weight gain and average weight at weaning.

У новорожденных поросят заселение пищеварительного тракта микроорганизмами происходит в первые часы жизни и зависит от микрофлоры молозива и окружающей среды [1–3]. В первую очередь заселяют желудочно-кишечный тракт бифидо- и лактобактерии, источником которых является молозиво. У животных 3–4-дневного возраста преобладает грамотрицательная микрофлора, представленная в основном (50–80%) кишечной палочкой, из грамположительной обнаруживают энтерококки, молочнокислые стрептококки и микрококки. Затем, с введением подкормки в 5-суточном возрасте, микрофлора становится более разнообразной [4, 5].

Симбиотическая микрофлора кишечника выполняет в организме животных различные полезные функции: витаминообразующую, ферментативную, антагонистическую, стимулирует иммунологическую реактивность организма [5, 6]. Однако микробиоценоз желудочно-кишечного тракта новорожденных поросят находится в неустойчивом равновесии, которое легко нарушается под действием различных технологических стресс-факторов, в том числе при переводе на доращивание. В результате происходят изменения в составе микрофлоры, наблюдается интенсивное развитие условно-патогенных и патогенных микроорганизмов, проявляющиеся расстройством пищеварения, которое сопровождается диарейным симптомокомплексом [7–9].

Для коррекции кишечного биоценоза, снижения заболеваемости желудочно-кишечными патологиями, повышения сохранности и жизнеспособности поросят широко применяют различные пробиотические препараты [10, 11]. В настоящее время для животных выпускается большое количество пробиотиков, их включают в состав витаминных, минеральных и ферментных кормовых добавок, ими обогащают заменители цельного молока [12]. Применение кормовых добавок, в состав которых входят пробиотические культуры микроорганизмов, позволяет получать экологически чистую и конкурентоспособную продукцию [13–15].

Цель работы – изучить эффективность применения пробиотической кормовой добавки Бимулак Пре при выращивании поросят для профилактики желудочно-кишечных болезней бактериальной этиологии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на крупном промышленном свиноводческом комплексе производственной мощностью более 26000 гол. Объектом исследования служили поросята технологической группы 0–1 месяц крупной белой породы, ландрас и дюрок до перевода в группу доращивания. По принципу аналогов были сформированы две группы животных: опытная – 1050 голов (75 гнёзд) и контрольная – 1072 головы (77 гнёзд). В эксперимент были подобраны гнезда с клинически здоровыми поросятами. Индивидуальные различия в живой массе поросят не превышали 150 г от средней по группам. Животным опытной группы в рацион включали кормовую пробиотическую добавку Бимулак Пре начиная со 2-го по 4-й день жизни по 2,0 мл на голову индивидуально через специальный шприц. Далее, с 5-го по 15-й день, – по 0,5 г на голову вместе с заменителем молока. Животные контрольной группы находились на обычном рационе и кормовой добавки не получали. Поросята обеих групп с 5-суточного возраста получали СК-3 (в свободном доступе).

Бимулак Пре – это кормовая добавка, предназначенная для стабилизации микрофлоры кишечника, повышения сохранности и жизнеспособности поросят. В качестве действующих веществ препарат в 1 г содержит: лиофилизированные спорообразующие бактерии *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis*, в качестве вспомогательных веществ – молозиво в форме порошка, яичный порошок, сухую (молочную) сыворотку и сухие дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*.

Входящие в состав Бимулак Пре спорооразующие бактерии *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* и сухие дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* подавляют рост патогенных и условно-патогенных бактерий и вирусов, стабилизируют микрофлору кишечника и стимулируют естественную резистентность организма. Молозиво, входящее в состав добавки, содержит иммуноглобулины, которые активизируют пассивный иммунитет животных. Яичный порошок и молочная сыворотка содержат легкоусваиваемые протеин и жиры, полезные в качестве дополнительного источника энергии, а также лецитин, который улучшает усвояемость жиров в организме.

Материалом для исследований служили пробы фекалий, полученные с помощью тупферов из прямой кишки поросят опытной (n=10) и контрольной (n=10) групп, которые отбирали однократно на 10-е сутки после завершения эксперимента. Также пробы фекалий для бактериологического исследования отбирали у поросят при появлении клинических признаков диареи. Определение качественного и количественного состава микрофлоры кишечника проводили согласно методическим рекомендациям «Выделение и идентификация бактерий желудочно-кишечного тракта животных», (Минсельхоз России, № 13-5-02/1043 2004) и «Методические указания по бактериологической диагностике смешанной кишечной инфекции молодняка животных, вызываемой патогенными энтеробактериями» (Минсельхозпрод России, № 13-7-2/1759 1999).

Кровь для гематологических и биохимических исследований брали у поросят опытной (n=15) и контрольной (n=15) групп до начала эксперимента и через 10 суток после его завершения. В крови определяли уровень гемоглобина и гематокрита, а также количество форменных элементов, в плазме – содержание глюкозы, общего белка и его фракций. Все исследования проводили по общепринятым методикам. Биохимические показатели плазмы крови определяли на анализаторе Screen Master производства фирмы Hospitex (Италия).

Среднесуточный прирост живой массы поросят определяли по общепринятой методике. За клиническим состоянием животных опытной и контрольной групп наблюдали ежедневно в течение эксперимента (15 дней) и до перевода в группу доращивания. При этом учитывали сохранность поросят, среднесуточный прирост и среднюю массу при отъеме.

Цифровую обработку полученных данных проводили с использованием программ Statistika V.5.5 для Windows- XP. Достоверность различий оценивали в сравниваемых группах с помощью таблицы t-распределения Стьюдента с учетом рекомендаций Г. Ф. Лакина (1990) и В. А. Середина (2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В опытной группе на 2–3-й день наблюдения в 15 гнёздах (210 голов) поросят отмечали диарею, при этом фекалии были жидкой консистенции, жёлтого цвета, температура тела оставалась в пределах физиологической нормы (38,5–39,5^{0}С). После однократного применения антибактериального препарата широкого спектра действия колифлокс в дозе 0,7 мл/гол. диарея прекращалась в течение суток и до отъема больше не регистрировалась. При лечении применение кормовой добавки не прекращали. В период эксперимента было отмечено повышение активности и аппетита у поросят.

В контрольной группе в подсосный период, начиная с 3-х суток, затем на 10-е и 15-е в 35 гнёздах был зарегистрирован диарейный симптомокомплекс, при котором отмечали усиление перистальтики кишечника, что сопровождалось частой дефекацией, фекалии при этом были желтого цвета, жидкой консистенции с пузырьками газа или без них. Для лечения также применяли однократно колифлокс.

В результате бактериологического исследования проб фекалий, полученных от поросят с признаками диареи, были изолированы *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis* и *Enterococcus fecalis*. При этом ассоциации микроорганизмов (70%) преобладали над монокультурами. Чаще всего и в ассоциациях, и в монокультурах выделяли *Escherichia coli* (80%), которая была представлена серовариантами О26 (6 культур) и О8 (2 культуры). Большинство культур обладали гемолитической активностью и были патогенны для белых мышей.

Проведенные бактериологические исследования проб фекалий показали, что у поросят, получавших с кормом пробиотическую кормовую добавку Бимулак Пре, происходит увеличение количества бифидо- и лактобактерий на 2,7 и 1,5 КОЕ/г соответственно, при одновременном уменьшении лактозонегативных вариантов кишечной палочки (на 3,9 КОЕ/г), стафилококков (на 1,4 КОЕ/г) и дрожжеподобных грибов рода *Candida* (на 1,2 КОЕ/г). Увеличение содержания аэробных бацилл у поросят опытной группы по сравнению с контролем (8,50± 1,26 КОЕ/г и 7,30± 1,12 КОЕ/г соответственно), возможно, связано с тем, что в состав исследуемого препарата входят *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis*. В контрольной группе животных отмечено снижение содержания полезных микроорганизмов на фоне увеличения количества условно-патогенных, причиной этого может быть применение антибиотиков в качестве этиотропной терапии диареи (табл. 1).

Таблица 1

Энтеробиоценоз поросят при применении кормовой добавки Бимулак Пре
Enterobiocenosis of piglets when using the feed additive Bimulac Pre

Микроорганизмы lg КОЕ/г	Группа	
	опытная (n=10)	контрольная (n=10)
Эшерихии лактозопозитивные лактозонегативные	3,90 ± 0,11 3,20 ± 0,10	4,00 ± 0,16 7,10 ± 0,12
Стафилококки	1,60 ± 0,12	3,00 ± 0,18
Энтерококки	6,50 ± 0,21	6,10 ± 0,22
Стрептококки	4,20 ± 0,14	4,80 ± 0,16
Аэробные бациллы	8,50 ± 1,26	7,30 ± 1,12
Бифидобактерии	8,10 ± 0,32	5,40 ± 0,21
Лактобацилы	7,60 ± 0,29	6,10 ± 0,32
Дрожжеподобные грибы рода *Candida*	1,30 ± 0,12	2,50 ± 0,20

Примечание. Достоверное различие P<0,05.

Применение кормовой добавки положительно повлияло на гематологические показатели крови поросят опытной группы. Так, в начале эксперимента у всех животных (опытная и контрольная группы) отмечали низкое содержание эритроцитов, количество гемоглобина находилось на нижней границе нормы. При этом количество лейкоцитов и палочкоядерных нейтрофилов было увеличено, отмечали также незначительное повышение гематокрита.

После завершения эксперимента по применению кормовой добавки у поросят опытной группы отмечали незначительное увеличение количества эритроцитов и гемоглобина. Так, количество эритроцитов возросло с 9,53+0,24 до 5,40+0,21 г/л (P<0,05), а гемоглобина – с 9,53+0,24 до 10,0+0,25 г/л (P>0,100). У животных контрольной группы содержание гемоглобина снизилось с 9,18±0,14 до 8,63±0,37 г/л (P>0,100) при одновременном повышении количества эритроцитов на $1{,}2 \bullet 10^{12}$/л (P<0,01). В опытной группе поросят уменьшилось количество лейкоцитов по сравнению с контрольной, в которой наблюдали лейкоцитоз (количество лейкоцитов увеличилось на 2,17 $\bullet 10^{9}$/л). Снижение количества лейкоцитов происходит за счет уменьшения количества юных, палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов. Так, количество юных нейтрофилов снизилось на 0,67, палочкоядерных – на 3,68 и сегментоядерных нейтрофилов – на 6,67%. Это может быть связано с уменьшением воспалительной реакции (табл. 2).

Таблица 2

Гематологические показатели крови поросят после применения кормовой добавки Бимулак Пре (возраст 25 дней)
Hematological blood values of piglets after using the feed additive Bimulac Pre (age 25 days)

Показатели крови	Опытная группа			Контрольная группа		
	до опыта	через 10 сут	P	до опыта	через 10 сут	P
1	2	3	4	5	6	7
Гемоглобин, г/л	9,53±0,24	10,0±0,25	0,100	9,18±0,14	8,63±0,37	>
Эритроциты, х 10^{12}/л	4,53±0,09	5,40±0,21	0,05	4,67±0,14	5,87±0,18	<
Лейкоциты, х 10^{9}/л	14,33±1,21	13,20±0,21	<	14,53±0,63	16,70±0,26	<
Гематокрит, %	33,67±1,09	33,17±0,17	0,100	32,00±0,82	29,90±0,78	>

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Лейкоцитарная формула, % нейтрофилы						
юные	0,67±0,33	0	-	1,00±0,58	1,00±0,00	>
палочкоядерные	8,01±1,21	4,33±0,20	<	8,67±2,03	15,00±1,73	0,05
сегментоядерные	42,0±2,51	35,33±1,89	<	29,33±0,84	32,67±0,76	<
эозинофилы	1,33±0,38	2,00±0,33	0,01	2,67±0,51	1,67±0,35	<
лимфоциты	54,00±1,91	47,00±1,28	0,01	60,33±4,17	45,00±3,02	0,05
моноциты	0,67±0,16	2,33±0,33	<	2,00±1,00	2,67±0,88	>

Примечание. Р< 0,05; Р< 0,01; Р< 0,001 – различия достоверны по отношению к фоновым показателям.

Анализ биохимических показателей крови поросят в начале эксперимента показал, что большинство показателей выше уровня физиологической нормы или находятся на ее верхней границе. Исключение составило содержание общего белка и глобулинов, эти показатели были ниже физиологической нормы (табл. 3).

После завершения эксперимента в опытной группе отмечено увеличение общего белка в плазме крови с 62,00±1,80 до 81,97±3,27 г/л (Р>0,100), тогда как в контрольной группе, наоборот, этот показатель незначительно снизился – с 63,80±2,04 до 62,07±4,30 г/л (Р>0,100). Повышение уровня общего белка, на наш взгляд, связано с положительным влиянием компонентов, входящих в состав кормовой добавки, на усвояемость кормов животными. Вместе с тем количество альбуминов в опытной группе снизилось на 5,47 г/л, а в контрольной группе увеличилось на 4,53 г/л, количество глобулинов возросло в опытной группе (на 3,42 г/л) и снизилось в контроле (на 4,15 г/л). Увеличение содержания глобулинов может свидетельствовать о нормализации функции печени и повышении защитных сил организма. Содержание глюкозы в плазме крови поросят снизилось после применения комовой добавки с 5,60±0,15 до 4,50±0,35 ммоль/л (Р< 0,05); у поросят, не получавших добавку, уровень глюкозы снизился незначительно и был выше физиологической нормы (5,97±0,66 ммоль/л) (см. табл. 3).

Таблица 3

Биохимические показатели крови поросят на фоне применения кормовой добавки Бимулак Пре (возраст 25 дней)

Biochemical blood parameters of piglets against the background of the feed additive Bimulac Pre (age 25 days)

Показатели крови	Опытная группа			Контрольная группа		
	до опыта	через 10 сут	Р	до опыта	через 10 сут	Р
Глюкоза, ммоль/л	5,60±0,15	4,50±0,35	0,05	6,03±0,23	5,97±0,66	>
Общий белок, г/л	62,0±1,8	81,97±3,27	0,100	63,80±2,04	62,07±4,30	>
Альбумин, г/л	32,87±0,5	27,4±1,46	0,01	29,57±1,6	34,1±2,72	>
Глобулин, г/л	19,15±1,39	22,57±0,84	0,05	34,23±1,32	30,08±1,3	<

Примечание. Р< 0,05; Р< 0,01; Р< 0,001 – различия достоверны по отношению к фоновым показателям.

В результате проведенных исследований установлено, что поросята опытной группы, которые получали кормовую добавку Бимулак Пре, превосходят по продуктивности и сохранности поросят контрольной группы. Так, в опытной группе у животных сохранность составила 89%, в контрольной – 80%. Среднесуточный прирост и средняя масса при отъеме в опытной группе были выше, чем в контрольной: 235,00±0,21 и 210,00±0,23 г; 7,80±0,17 и 6,90±0,20 кг соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Влияние кормовой добавки Бимулак Пре на производственные показатели поросят
Effect of feed additive Bimulak Pre on production performance of piglets

Группа	Кол-во поросят, гол.	Сохранность,%	Падеж,%	Среднесуточный прирост, г.	Средняя масса при отъеме, кг
Опытная	1050	89	11	235,00+0,21*	7,80±0,17*
Контрольная	1072	80	20	210,00±0,23*	6,90±0,20*

*Достоверность разницы (P<0,001)

ВЫВОДЫ

1. Установлено положительное влияние кормовой добавки Бимулак Пре на энтеробиоценоз желудочно-кишечного тракта поросят, гематологические и биохимические показатели крови и производственные показатели.

2. Кормовая добавка, после курса применения, способствует увеличению количества полезной микрофлоры и уменьшению условно-патогенных микроорганизмов в кишечнике.

3. В опытной группе у животных незначительно увеличивается количество эритроцитов и гемоглобина, снижается количество лейкоцитов, возрастает содержание общего белка и уменьшается уровень глюкозы по сравнению с контролем.

4. Применение добавки вместе с основным рационом приводит к снижению падежа поросят, повышению сохранности поголовья молодняка, увеличению среднесуточного прироста живой массы и средней массы при отъеме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Субботин В.В.* Желудочно-кишечные болезни поросят с симптомокомплексом диареи: причины, профилактика и терапия // Ветеринария и кормление. – 2005. – № 3. – С. 12–13.
2. *Савельева Л.Н., Куделко А.А., Бондарчук М.Л.* К вопросу о желудочно-кишечных расстройствах у поросят и ущербе, наносимом свиноводству Забайкальского края // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11–2(53). – С. 161–165.
3. *Сиплевич Т.Г., Плешакова В.И.* Микрофлора желудочно-кишечного тракта поросят при применении кормовых добавок // Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2017. – № 2. – С. 66–71.
4. *Шабанова Е.О., Лоренгель Т.И.* Новые подходы к лечению и профилактике диарейного симптомокомплекса поросят // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики: материалы национальной научно-практической онлайн-конференции факультета ветеринарной медицины ИВМиБ ФГБОУ ВО Омский ГАУ. – Омск, 2020. – С. 106–109.
5. *Ленченко Е.М., Кондакова И.А., Ломова Ю.В.* Этиологическая структура и дифференциальная диагностика бактериальных болезней телят // Аграрная наука. – 2017. – № 5. – С. 27–30.
6. *Gresse R, Chaucheyras Durand F.* Gut microbiotadysbiosis in postweaning piglets; understanding the keys to health // Trends Microbiol. – 2017. – N 25. – P. 851–873.
7. *Zholdasbekova A.Y., Biyashev K.V., Biyashev B.K* Prevalence of enteric infection pathogens in young cattle in Kazakhstan // Modern science. – 2018. – P. 20–21.
8. *Лабораторные* методы контроля полирезистентных возбудителей бактериальных болезней животных и рациональное применение антимикробных препаратов / С.А. Макавчик, А.А. Сухинин, С.В. Енгашев [и др.]. – СПб.: Изд-во ВВМ. – 2021. – 152 с.
9. *Оробец В.А., Севостьянова О.И.* Эффективность терапии желудочно-кишечных болезней телят // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии: сб. науч. тр. Междунар. учеб.-метод. и науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня основания ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА им. К.И. Скрябина. – М., 2019. – С. 152–154.
10. *Николаенко В.П., Шестаков И.Н., Михайлова А.В.* Фармако-токсикологическая характеристика нового комплексного антибактериального препарата // Ветеринария. –2017. – № 2. – С. 53–56.
11. *Шабанова Е.О., Лоренгель Т.И., Плешакова В.И.* Применение пробиотических препаратов «Фенерджик-про» и «Пиг протектор» для профилактики желудочно-кишечных болезней поросят // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 4(28). – С. 146–152.

12. *Оценка* влияния пробиотика ветом 1.1 на некоторые показатели роста и морфобиохимического состава крови телят / С.А. Шевченко, Ю.Н. Федоров, А.И. Шевченко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет) – 2018. – №4. – С. 156–161.
13. *Pluske J. R., Turpin D. L., Kim J. C.* Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig // Anim. Nutr. – 2018. – N 4(2). – P. 187–196.
14. *Плешакова В.И., Налепова М.Ю.* Микрофлора желудочно-кишечного тракта свиней в норме и с клиническими признаками диареи // Свинина : материалы Всерос. науч.-практ. конф. и XIII Межвуз. координац. совета / Донской ГАУ. – 2004. – С. 137–140.
15. *Щепёткина С.В.* Решение проблемы антибиотикорезистентности в условиях производства // Сельскохозяйственные вести. – 2016. – № 2. – С. 55–57.

REFERENCES

1. Subbotin V.V., *Veterinariya i kormlenie*, 2005, No. 3, pp. 12–13. (In Russ.)
2. Savel’eva L.N., Kudelko A.A., Bondarchuk M.L., *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel’skii zhurnal*, 2016, No. 11–2 (53), pp. 161–165. (In Russ.)
3. Siplevich T.G., Pleshakova V.I., *Veterinariya sel’skokhozyaistvennykh zhivotnykh,* 2017, No. 2, pp. 66–71. (In Russ.)
4. Shabanova E.O., Lorengel’ T.I., *Aktual’nye problemy veterinarnoi nauki i praktiki* (Actual problems of veterinary science and practice), Materials of the national and practical online conference of the Faculty of Veterinary Medicine IVMiB FGBOU HE Omsk State Agrarian University, Omsk, 2020, pp. 106–109. (In Russ.)
5. Lenchenko E.M., Kondakova I.A., Lomova Yu.V., *Agrarnaya nauka*, 2017, No. 5, pp. 27–30. (In Russ.)
6. Gresse R, Chaucheyras Durand F., Gut microbiotadysbiosis in postweaning piglets; understanding the keys to health, *Trends Microbiol*, 2017, No. 25, pp. 851–873.
7. Zholdasbekova A.Y., Biyashev K.V., Biyashev B.K, Prevalence of enteric infection pathogens in young cattle in Kazakhstan, *Modern science*, 2018, pp. 20–21.
8. Makavchik S.A., Sukhinin A.A., Engashev S.V., Krotova A.L., *Laboratornye metody kontrolya polirezistentnykh vozbuditelei bakterial’nykh boleznei zhivotnykh i ratsional’noe primenenie antimikrobnykh preparatov* (Laboratory methods for the control of multiresistant pathogens of bacterial animal diseases and the rational use of antimicrobial drugs), Saint Petersburg, Izd-vo VVM, 2021, 152 p.
9. Orobets V.A., Sevost’yanova O.I., *Aktual’nye problemy veterinarnoi meditsiny, zootekhnii i biotekhnologii* (Actual problems of veterinary medicine, zootechnics and biotechnology.), Collection of papers of the International educational-methodical and conference dedicated to the 100th anniversary of the founding of the FGBOU HE MGAVMiB - MVA named after K.I. Scriabin, 2019, pp. 152–154. (In Russ.)
10. Nikolaenko V.P., Shestakov I.N., Mikhailova A.V., *Veterinariya*, 2017, No. 2, pp. 53–56. (In Russ.)
11. Shabanova E.O., Lorengel’ T.I., Pleshakova V.I., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2019, No. 4 (28), pp. 146–152. (In Russ.)
12. Shevchenko S.A., Fedorov Yu.N., Shevchenko A.I. Zhdanov V.G., Surtaeva L.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2018, No. 4, pp. 156–161. (In Russ.)
13. Pluske J. R., Turpin D. L., Kim J. C., Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig, *Anim. Nutr.*, 2018, No. 4(2), pp. 187–196.
14. Pleshakova V.I., Nalepova M.Yu., *Svinina* (Pork), Proceedings of the Conference Title, Don State Agrarian University, 2004, pp. 137–140. (In Russ.)
15. Shchepetkina S.V., *Sel’skokhozyaistvennye vesti*, 2016, No. 2, pp. 55–57. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-147-152
УДК: 636.2.034:637.04

РОЛЬ ЭНЕРГОПРОТЕИНОВОЙ ДОБАВКИ В КОРМЛЕНИИ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

[1]**В.А. Мартынов,** кандидат сельскохозяйственных наук
[2]**Т.Г. Ломова,** кандидат сельскохозяйственных наук

[1]*Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия*
[2]*Сибирский НИИ кормов. СФНЦА РАН, пос. Краснообск Новосибирской обл., Россия*

E-mail: vlad-78@bk.ru

Ключевые слова: коровы, рацион, энергопротеиновая кормовая добавка, молочная продуктивность, растворимость и расщепляемость протеина.

Реферат. Представлены исследования, целью которых стало изучение влияния энергопротеиновой добавки на молочную продуктивность коров. Научно-хозяйственный опыт проведён в 2021 г. на базе филиала ФГБНУ ФАНЦА «ПЗ Комсомольское» Павловского района Алтайского края. Исследование проведено на четырех группах коров приобского типа черно-пестрой породы. Лактирующим коровам контрольной группы задавался основной рацион с добавлением 1 кг комбикорма. Опытным группам в основной рацион добавляли энергопротеиновую добавку в количестве от 500 до 1000 г/гол. в сутки. В ее состав были включены корма растительного происхождения (барда кормовая, шрот рапсовый и соевый, глютен кукурузный, шрот подсолнечный, люпин), мука животного происхождения (кровь и мясо птицы), дрожжевая культура *Saccharomyces cerevisiae* (Y1242), синтетический метионин и лизин, органический хром и специальные вкусовые и ароматические добавки. Механизм действия добавки направлен на повышение интенсивности пищеварения, на оптимизацию белкового и жирового обмена в организме и на обеспечение роста микрофлоры рубца. Основные качественные показатели новой энергопротеиновой кормовой добавки: сырой протеин – 60 %, обменная энергия – 11,5 МДж, лизин – 1,8 %, метионин – 0,3, кальций – 2,0 и фосфор – 1,0 %. Скармливание энергопротеиновой кормовой добавки в составе рационов оказало положительное влияние на среднесуточные удои молока коров в период опыта. Так, в опытных группах отмечается увеличение среднесуточного удоя на 3,4–9,2 кг по отношению к контрольной группе животных. По результатам опыта установлено, что наиболее оптимальной дозой применения энерго-протеиновой добавки следует считать 750 г/гол. в сутки, что способствует повышению молочной продуктивности за период опыта на 10,1 % ($P \leq 0,05$).

THE ROLE OF ENERGY-PROTEIN SUPPLEMENTATION IN FEEDING LACTATION COW

[1]**V.A. Martynov,** Ph.D. in Agricultural Sciences
[2]**T.G. Lomova,** Ph.D. in Agricultural Sciences

[1]*Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology,” Barnaul, Altay region*
[2]*Siberian Research Institute of Fodder of Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnobsk settlement, Novosibirsk region*

E-mail: vlad-78@bk.ru

Keywords: cows, diet, energy-protein supplement, milk productivity, protein solubility.

Abstract. Presented research aimed at studying the energy-protein supplement’s effect on cows’ milk productivity. The authors conducted a scientific and economic experiment in 2021 based on the branch of the Siberian Research Institute of Fodder of Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences Komsomolskoye livestock breeding farm of Pavlovsky district of Altai region. The study was conducted on four groups of cows of the Ob river region type of Black-and-White breed. Lactation cows of the control group were given a basic ration with the addition of 1 kg of feed concentrate. In the primary allocation, the authors added an energy protein supplement to the main diet for experimental groups at 500 to 1000 g/head—per day. It included vegetable feed (distiller’s grain, oil cake and soybean meal, corn gluten, sunflower meal, lupine), animal meal (blood and poultry meat), yeast culture Saccharomyces cerevisiae (Y1242), synthetic methionine and lysine, organic chromium and unique flavor and aroma additives. The mechanism of action of the additive is aimed at increasing the intensity of digestion, optimizing protein and fat metabolism in the body, and ensuring the growth of the rumen microflora. The main qualitative parameters of the new energy-protein supplement: are crude protein - 60%, exchange interaction energy - 11.5 MJ, lysine - 1.8%, methionine - 0.3, calcium - 2.0, and phosphorus - 1.0%. Furthermore, feeding energy-protein feed supplements in diets positively affected the average daily milk yield of cows during the experiment period. Thus, the average daily milk yield in the experimental groups increased by 3.4-9.2 kg compared to the control group of animals. Therefore, according to the experiment results, it was found that the most optimal dose of energy-protein supplement should be considered 750 g/cow per day, which contributes to an increase in milk productivity throughout the experiment by 10.1% ($P \leq 0.05$).

При кормлении высокопродуктивных коров особо значимую роль играет уровень протеина в рационе. При низком содержании протеина у животных проявляются расстройства физиологических процессов в организме, что неминуемо приводит к снижению продуктивности. При высоком уровне протеина в рационе наблюдается выведение его через почки в виде мочевины, так как он не успевает усваиваться. Это отражается на затратах протеина на производство молока и себестоимости продукции. [1]. Высокопродуктивным коровам целесообразно уменьшать объем рациона и увеличивать концентрацию энергии в единице массы корма. Этим объясняется необходимость скармливать концентраты высокопродуктивным коровам не только в зимний, но и в летний период [2]. В процессе использования азотистых веществ в преджелудках происходит видоизменение и пополнение аминокислотного состава корма. Микробный протеин в рубце жвачных животных определяется, с одной стороны, уровнем общей обеспеченности потребностей в протеине животных, а с другой стороны – биологическая ценность протеина обеспечивается аминокислотным составом [3].

Продолжительное несбалансированное кормление животных, как правило, приводит к нарушению обмена веществ, появлению кетоза, заболеваниям печени. Процесс переваривания корма у жвачных животных в существенной степени отличается от процесса переваривания у животных с однокамерным желудком. У жвачных животных превращение питательных веществ корма протекает в преджелудках, в основном под действием ферментов бактерий и простейших, обитающих здесь в огромном количестве. От работы преджелудков зависят не только дальнейшее переваривание корма, но и основные обменные процессы, проходящие в организме. Количество бактериальной массы в рубце взаимосвязано с составом рациона и может достигать 7 кг, или около 10 % содержимого рубца.

В кормах сельскохозяйственных животных, производимых на территории Алтайского края, отмечается постоянный дефицит белка (от 20 % и выше). Следует помнить, что животные с продуктивностью более 7 000 кг за лактацию более требовательны к качеству протеина.

Уровень и качество протеина, а также скорость его усвоения зависят от состава рациона животных.

Животноводческая продукция, в том числе молочная, необходимая для полноценного питания человека, напрямую зависит от обеспечения животных высококачественными полноценными кормами.

Большое значение при полноценном кормлении имеют не только протеины, но углеводы и жиры. Это основные энергетические источники в рационе сельскохозяйственных животных [4]. Протеиновое питание животных существенным образом влияет на качественные и количественные показатели производимой продукции. Это связано с тем, что протеин участвует во всех обменных процессах веществ, происходящих в организме [5].

Полноценное питание сельскохозяйственных животных, и особенно высокопродуктивных коров, обеспечивает их высокую продуктивность и способствует сохранению здоровья. Энергия органических веществ, полноценные белки, минеральные вещества, витамины должны предоставляться животным в достаточном количестве и в определенных соотношениях в соответствии с особенностями организма животного и уровнем продуктивности [6, 7].

На процессы микробиологического синтеза влияет множество факторов, основным из которых является обеспеченность легкодоступной энергией и азотом. Обеспеченность микрофлоры энергией достигается за счет переваренного в рубце органического вещества, а азотом – за счет протеина корма, а также добавок небелкового азота и регуляции постоянства среды, включая его румено-гепатическую циркуляцию в организме животного [8].

Состав рациона, соотношение питательных веществ главным образом влияют на переваримость протеина [9].

Влияние энергопротеинового питания с применением новых эффективных энергопротеиновых добавок, оказывающих влияние на повышение молочной продуктивности коров, представляет большой интерес для изучения.

Научная новизна работы состоит в том, что в условиях Алтайского края впервые изучалось влияние энергопротеиновой кормовой добавки на повышение уровня молочной продуктивности и воспроизводительные качества коров в период раздоя, что являлось основной целью наших исследований.

ОБЬЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-хозяйственный опыт проводился на базе филиала ФГБНУ ФАНЦА «ПЗ Комсомольское» Павловского района Алтайского края.

Для проведения опыта подобрали четыре группы коров черно-пестрой породы по 10 голов в каждой. Подбор животных осуществлялся с учетом живой массы, возраста, физиологического состояния и месяца лактации [10].

Длительность опыта составила 50 дней.

Животных подбирали методом пар-аналогов по методике А.И. Овсянникова. Все группы животных содержались в одинаковых условиях, рационы были составлены по детализированным нормам кормления крупного рогатого скота [11].

Контрольной 1-й группе скармливался основной рацион (ОР) с добавлением 1 кг комбикорма без включения энергопротеиновой добавки. В ОР 2-й опытной группы была включена энергопротеиновая добавка в количестве 500 г/гол. в сутки; 3-й опытной – 750; 4-й – 1000 г/гол. в сутки.

Исследуемые добавки задавали в составе рациона в течение 50 дней в период раздоя с 10-го дня лактации после отела.

При проведении экспериментальной работы анализировали поедаемость кормов и молочную продуктивность коров. Для оценки переваримости сырого протеина был проведен опыт на японском аппарате «искусственый рубец» – Rusitec в Сибирском научно-исследовательском институте кормов. Для данного опыта в конце учетного периода были отобраны корма от 4 голов из каждой группы животных.

В основной рацион коров входили грубые корма (сено), сочные (силос, сенаж), концентраты, поваренная соль и минеральный премикс. По общепринятым методикам зоотехнического анализа кормов был определен химический состав кормов в лаборатории аналитических исследований ФГБНУ ФАНЦА отдела АНИИЖиВ.

Статистическая обработка данных по эффективности применения энергопротеиновой добавки в кормлении молочных коров в период раздоя была проведена по методике Г.М. Лоза (1980) с использованием оценки по Стьюденту [12, 13]. Разницу считали достоверной при $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$. Обработка данных проведена с использованием программного пакета Microsoft Excel профессиональный плюс 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным показателем эффективности введения в рацион коров энергопротеиновых добавок является молочная продуктивность – среднесуточные удои и общий надой молока (табл. 1).

Как показывают приведенные в табл. 1 данные, подобранные для опыта молочные коровы черно-пестрой породы в период раздоя при добавлении в рацион разного количества энергопротеиновой кормовой добавки имели различную молочную продуктивность.

В контрольной группе среднесуточный удой за второй месяц составил 23,9 кг, во 2-й опытной группе наблюдается его увеличение на 3,4, в 3-й – на 6,7 и в 4-й – на 9,2 кг по отношению к контрольной группе животных.

Таким образом, использование в рационе коров энергопротеиновой кормовой добавки оказало положительное влияние на среднесуточные удои молока.

Таблица 1

Молочная продуктивность подопытных коров, кг (M ± m)
Milk productivity of experimental cows, kg (M ± m)

Показатель	Группа			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Март	26,40±0,70	26,50±1,07	26,60±1,57	27,00±1,28
Апрель	27,10±0,81	27,30±1,03*	30,60±2,15**	33,10±0,84***
Май	26,00±0,56	27,40±1,02*	30,30±1,60**	31,10±1,10***
Средний удой за период опыта	26,5±0,40	27,07±0,59	29,17±1,04**	30,40±0,77***
Валовой удой за период опыта	1325,0	1353,5	1458,5	1520,0
Валовой удой за период опыта в пересчете на базисную жирность	1389,4	1405,6	1555,9	1594,6

Примечание. Здесь и далее: * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001 в сравнении с контрольной опытной группой.

Анализ полученных данных показал, что при относительно сбалансированном сахаро-протеиновом отношении в группах с энерго-протеиновой кормовой добавкой суточные удои в период раздоя держатся на высоком уровне, тогда как в контрольной группе происходит снижение молочной продуктивности. Введение в рацион коров энерго-протеиновой кормовой добавки способствовало достоверному увеличению молочной продуктивности, скорее всего, являющемуся следствием достаточного использования кишечной фракции протеина, а также интенсивной синхронизации и стимуляции синтеза микрофлоры рубца, что стало возможным благодаря оригинально подобранному составу самой добавки.

На скорость усвоения азота существенным образом влияет растворимость белков в пищеварительном тракте жвачных животных. Так, в преджелудках легкорастворимые протеины превращаются в микробиальный белок, а менее растворимые переходят в тонкий отдел кишечника, где впоследствии и перевариваются. Рационы для высокопродуктивных животных должны иметь как легкорастворимые (60 %), так и слаборастворимые (40 %) белки [14].

Под растворимостью следует понимать возможность протеина рациона переходить под действием рубцовой жидкости в растворимое состояние. Расщепляемость характеризуется протеканием ферментативных процессов, представляющих собой распад протеина в рубце жвачных до аминокислот и аммиака. По степени растворимости и расщепляемости протеинов рациона можно судить об эффективности его использования жвачными животными [15]. Продуктивность животных главным образом зависит от уровня использования азота корма. Необходимо избегать избытка легкорастворимого протеина в рационе, так как это приведет к излишнему выделения азота с мочой, что негативно отразится на процессах микробного синтеза. Наличие в рационе животных протеина с меньшей долей его растворимости будет способствовать увеличению обменных аминокислот в кишечнике. Степень растворимости и расщепляемости протеина в рубце имеет существенное значение для оценки кормов при их эффективном использовании жвачным животным.

Данные исследований по переваримости питательных веществ на подопытных животных представлены в табл. 2.

Таблица 2

Растворимость и расщепляемость протеина в рационах (в аппарате «искусственный рубец» Rusitec), %
Protein solubility in diets (in Rusitec “artificial rumen” apparatus), %

Показатель	Группа			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Растворимость	32,40±1,88	38,48±2,50	70,93±0,70***	52,18±1,54***
Расщепляемость	58,98±1,42	63,60±1,89	88,23±0,51***	74,03±1,16***

По результатам опыта видно, что в рационе подопытных животных, получавших энергопротеиновую добавку, наблюдается повышение растворимости протеина на 6,10–38,53 %, а его расщепляемость возрастает на 4,60–29,30 %. Между растворимостью и расщепляемостью протеина корма существует положительная корреляционная зависимость. При увеличении в рационе растворимых фракций протеина повышается и его расщепляемость в рубце. Наивысший уровень растворимости и расщепляемости выявлен в 3-й группе животных, где в составе рациона использовалась энергопротеиновая добавка в количестве 750 г/гол. Несмотря на то, что в 4-й группе животных доза энергопротеиновой добавки была наивысшей (1000 г/гол.), растворимость и расщепляемость здесь ниже, чем в 3-й группе животных, получавших 500 г/гол. Объяснить это можно тем, что для переваривания данного количества протеина требуется больше энергии, так как с ростом протеина возрастает потребность в обменной энергии.

ВЫВОДЫ

1. Энергопротеиновая кормовая добавка в рационе лактирующих коров в дозе 750 и 1000 г/гол. в сутки обеспечивает увеличение продуктивности в среднем за период на 10,1 % (2,7 кг) и 14,7 % (3,9 кг).
2. Состав энергопротеиновой кормовой добавки обеспечивает оптимизацию рациона, в частности по фракциям белка и аминокислот, что способствует полной реализации заложенного генетического потенциала молочных коров.
3. При использовании энергопротеиновой кормовой добавки выявлена лучшая степень растворимости и расщепляемости в группе животных, получавших ее в количестве 750 г/гол. в сутки дополнительно к основному рациону.
4. Применение в рационах коров энергопротеиновой кормовой добавки в количестве 500 г/гол. в сутки экономически нецелесообразно и не приводит к увеличению молочной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сенин И.Е.* Раздой коров. – М.: Колос, 1970. – С. 3–5.
2. *Биологическая* полноценность кормов / Н.Г. Григорьев, Н.П. Волков, Е.С. Воробьев [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 125–126.
3. *Эффективность* использования коровами протеина / Н.Г. Григорьев, А.И. Фицев, Б.Б. Оконский, А.И. Мельниченко // Зоотехния. – 1987. – № 5. – С. 29–32.
4. *Препараты* биологически активных веществ нового поколения в составе комбикормов для сельскохозяйственных животных / М.П. Кирилов, А.Р. Абдрафиков, Н.И. Анисова [и др.] // Прошлое, настоящее и будущее зоотехнической науки: материалы науч.-практ. конф. – Дубровицы, 2004. – Т. 3. – С. 300–305.
5. *Сабитов М.Т.* Влияние использования в рационах белково-минеральных добавок на молочную продуктивность коров: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Уфа, 2007. – 22 с.
6. *Гафаров Ш.С.*, *Харченко Ю.С.* Использование кормовой добавки фирмы «Провими» в животноводстве // Разработка и использование здоровьесберегающих технологий получения продукции животноводства: материалы междунар. практ. конф. – Троицк, 2008. – С. 19–21.
7. *Киреева К.В., Пушкарев И.А.* Минеральный состав молока коров при введении в рацион кормовой добавки «Фузгисорб-15» // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XIII междунар. науч.-практ. конф.: в 2 кн. / Алт. гос. аграр. ун-т, 2018. – С. 247–249.
8. *Пивняк И.Г., Тараканов Б.В.* Микробиальное пищеварение жвачных. – М., 1982. – 247 с.
9. *Мартынов В.А.* Молочная продуктивность коров в период раздоя в зависимости от уровня и доступности протеина: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Рязань, 2005. – С. 11.
10. *Овсянников А.И.* Основы опытного дела в животноводстве. – М.: Колос, 1976. – 185 с.
11. *Калашников А.П., Клейменов Н.И.* Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
12. *Биометрия* в животноводстве: учеб. пособие. / Н.И. Коростелева, И.С. Кондрашкова, Н.М. Рудишина [и др.]. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. – 210 с.
13. *Методика* определения экономической эффективности использования в сельском хозяйства результатов научно-исследовательских и опытно–конструкторских работ, новой техники,

изобретений и рационализаторских предложений / Г.М. Лоза, Е.Я. Удовиченко, В.К. Вович [и др.]. – М.: Колос, 1980. – 112 с.

14. *Новая* система оценки и нормирования протеинового питания коров / ВНИМФ-БиП с.-х. животных / Н.В. Курилов, Б.Д. Кальницкий, И.К. Медведев [и др.]. – Боровск, 1989. – С. 7–16.
15. *Уилсон П.Н., Стрэчен П.Дж.* Доля нерасщепленных фракций протеина в обеспечении потребности коров в протеине // Новейшие достижения в исследовании питания животных. – М.: Колос, 1983. – Вып. 2. – С. 87–98.

REFERENCES

1. Senin I.E., *Razdoy korov* (Milk the cows), Moscow: Kolos, 1970, pp. 3–5. (In Russ.)
2. Grigor'ev N.G., Volkov N.P., Vorob'ev E.S. [i dr.], *Biologicheskaya polnotsennost' kormov* (Biological usefulness of feed), Moscow: Agropromizdat, 1989, pp. 125–126. (In Russ.)
3. Grigor'ev N.G., Ficev A.I., Okonskij B.B.. Mel'nichenko A.I., *Zootehnija*, 1987, No. 5, pp. 29–32. (In Russ.)
4. Kirilov M.P., A.R., Anisova N.I. [i dr.], *Proshloe, nastojashhee i budushhee zootehnicheskoj nauki* (Past, present and future of zootechnical science), Proceedings of the Conference Title, Dubrovicy, 2004, T. 3, pp. 300–305. (In Russ.)
5. Sabitov M.T., *Vliyanie ispol'zovaniya v ratsionakh belkovo-mineral'nykh dobavok na molochnuyu produktivnost' korov* (The of the use of protein and mineral supplements in diets on the milk productivity of cows), Extended abstract of candidates thesis, Ufa, 2007, 22 p.
6. Gafarov Sh. S., Harchenko Ju.S., *Razrabotka i ispol'zovanie zdorov'esberegayushchikh tekhnologiy polucheniya produktsii zhivotnovodstva* (Development and use of health-saving technologies for obtaining livestock products), Proceedings of the Conference Title, Troick, 2008, pp. 19–21. (In Russ.)
7. Kireeva K.V., Pushkarev I.A., *Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu* (Agricultural Science – Agriculture), Proceedings of the Conference Title, 2018. pp. 247–249. (In Russ.)
8. Pivnjak I.G., Tarakanov B.V., *Mikrobial'noe pishchevarenie zhvachnykh* (Microbial digestion of ruminants), Moscow, 1982, 247 p.
9. Martynov V.A., *Molochnaya produktivnost' korov v period razdoya v zavisimosti ot urovnya i dostupnosti proteina* (Milk productivity of cows during the milking period depending on the level and availability of protein), Extended abstract of candidates thesis, Rjazan', 2005, 11 p.
10. Ovsjannikov A.I., *Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve* (Fundamentals of experimental work in animal husbandry), Moscow: Kolos, 1976, 185 p.
11. Kalashnikov A.P., Klejmenov N.I., *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* (Norms and diets for feeding farm animals), Agropromizdat, 1985, 352 p.
12. Korosteleva N.I., Kondrashkova I.S., Rudishina N.M. [i dr.], *Biometriya v zhivotnovodstve* (Biometrics in animal husbandry), Barnaul, Izd-vo AGAU, 2009, 210 p.
13. Loza G.M., Udovichenko E.Ja., Vovich V.K. [i dr.], *Metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya v sel'skom khozyaystva rezul'tatov nauchno-issledovatel'skikh i opytno–konstruktorskikh rabot, novoy tekhniki, izobreteniy i ratsionalizatorskikh predlozheniy* (Methodology for determining the economic of using in agriculture the results of research and development work, new technology, inventions and rationalization proposals), Moscow: Kolos, 1980, 112 p.
14. Kurilov N.V., Kal'nickij B.D., Medvedev I.K., *Novaya sistema otsenki i normirovaniya proteinovogo pitaniya korov* (A new system for assessing and rationing the protein nutrition of cows), Borovsk, 1989, pp. 7–16.
15. Uilson P.N., Strechen P.Dzh., *Noveishie dostizheniya v issledovanii pitaniya zhivotnykh* (Recent Advances in Animal Nutrition Research), Kolos, 1983, Is. 2, pp. 87–98. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-153-159
УДК 636. 59. 087.7: 612.1.0/5

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ БИОКАЛЬЦИЙ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС КРОВИ ПЕРЕПЕЛОВ

С.В. Мезенцева, аспирант
М.В. Лазарева, кандидат ветеринарных наук, доцент
Л.Н. Стацевич, кандидат биологических наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: sonya-mez-2796@yandex.ru

Ключевые слова: кормовая добавка, препарат Биокальций, биохимические показатели, микро- и макроэлементы, перепела, основной рацион, содержание кальция, обмен веществ.

Реферат. Исследование проводили на базе экспериментальной перепелиной фермы СибНИПТИЖ СФНЦА РАН и на кафедре акушерства, анатомии и гистологии Новосибирского ГАУ с целью изучения изменения содержания микро- и макроэлементов в крови перепелов японской породы мясного направления при применении кормовой добавки Биокальций. Продуктивность животных зависит от их здоровья и определяется уровнем обмена веществ. У птиц, в отличие от других животных, интенсивно осуществляется минеральный обмен. Кальций и фосфор – два биологически активных компонента, несущих множество функций, определяющих ана- и катаболические процессы. К моменту начала яйцекладки концентрация кальция и фосфора в сыворотке крови у кур увеличивается, а скорость обмена этих макроэлементов определяется активностью яйцекладки, поэтому контроль за содержанием данных веществ является актуальным. Информативным показателем для оценки метаболизма являются индикаторные ферменты, выполняющие отдельные внутриклеточные функции и попадающие в кровь из тканей. Для оценки кальциево-фосфорного обмена целесообразно использовать показатель активности щелочной фосфатазы. При использовании кормовой добавки Биокальций в крови перепелов опытной группы увеличилась концентрация кальция на 0,2%. Если говорить о показателях цинка, железа и магния, то их повышение произошло на 0,1–0,3%. Установлено также, что введение в кормовые рационы клетчатки оказало определенное влияние на белковый обмен. В ходе эксперимента выяснилось, что использование кормовой добавки на основе субстрата пихты сибирской Биокальций не имеет видимого негативного влияния на организм перепелов, добавка эффективна на поздних сроках выращивания. Благодаря введению в рацион птиц данной кормовой добавки отмечается улучшение обмена веществ, нормализуется минеральный состав крови, происходит стимуляция гемопоэза, не изменяя стабильности кроветворения и постоянства состава крови.

EFFECT OF BIO CALCIUM FEED ADDITIVE ON THE BIOCHEMICAL STATUS OF QUAIL BLOOD

S.V. Mezentseva, Ph.D. student
M.V. Lazareva, Ph.D. in Veterinary Science, Associate Professor
L.N. Statsevich, Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: sonya-mez-2796@yandex.ru

Keywords: feed additive, Biocalcium, biochemical indicators, micronutrients and macronutrients, quails, staple diet, calcium content, metabolism.

Abstract. The authors conducted the study based on the experimental quail farm SRDIAH SFSCA RAS (Siberian Research and Design Institute of Animal Husbandry Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences) and at the Department of Obstetrics, Anatomy, and Histology of the Novosibirsk State Agrarian University. The study aims to change the content of micro- and macroelements in the blood of quails of the Japanese meat breed when using the Biocalcium feed additive. The productivity of animals depends on their health and is determined by their metabolism level. Birds, unlike other animals, have an intensive mineral metabolism.Calcium and phosphorus are two biologically active components with many functions that determine ana- and catabolic processes. When oviposition begins, the calcium and phosphorus concentration in chickens' blood serum increases. But the rate of exchange of these macronutrients is determined by the activity of oviposition, so control over the content of these substances is relevant. Indicator enzymes that perform certain intracellular functions and enter the blood from the tissues are informative indicators for assessing metabolism. Using the activity index of alkaline phosphatase is reasonable to evaluate calcium-phosphorus metabolism. Using the feed additive Biocalcium in the blood of quail of the experimental group increased the calcium concentration by 0.2%. If we talk about zinc, iron, and magnesium indicators, they increased by 0.1-0.3%. It was also found that the introduction of fiber in feed rations had a definite effect on protein metabolism. During the experiment, it was found that the feed additive based on Siberian silver fir substrate Biocalcium has no apparent negative impact on the body of the quail. The additive is effective at a late stage of rearing. The authors note an improvement in metabolism, the mineral composition of the blood is normalized; hematopoiesis is stimulated without changing the stability of hematopoiesis and the constancy of the blood composition due to the introduction of this feed additive into the diet of birds.

Во всех странах мира, в том числе и в России, усиливается интерес к птицеводству как к отрасли, способной обеспечить население высококачественным продовольствием. Продукты питания, получаемые в личных подсобных и фермерских хозяйствах, обладают рядом преимуществ перед промышленным производством: они богаты экстрактивными веществами, насыщены витаминами, макро- и микроэлементами [1].

Перепеловодство представляет собой быстрый и высокотехнологичный путь производства диетической, деликатесной продукции, сравнимой по питательности и вкусовым качествам с мясом дичи. Перепела имеют ряд продуктивных и хозяйственных преимуществ перед другими видами птиц. У них в 5 раз выше скорость роста, чем у кур, яйценоскость наступает в 35–40-дневном возрасте [2]. В перепелиных яйцах в несколько раз больше содержание биологически активных веществ (лизоцима) и ферментов, нафтохинонов, ретинола, рутина, тиамина, рибофлавина, железа, кобальта и других биометаллов. Мясо перепелов легкоусвояемое с низким содержанием холестерина. Полноценность получаемой продукции зависит от кормовых смесей, и в первую очередь от содержания лимитирующих аминокислот (лизина, триптофана, метионина и цистеина), минералов и витаминов, биологически активных веществ, например, бета-каротина, который служит эффективным катализатором многих биохимических процессов [3].

Перспективными направлениями повышения продуктивности перепелов с привлечением кормов местного производства, как наиболее доступных и дешевых, являются совершенствование способов производства растительных кормовых белково-витаминных добавок, применение ферментных препаратов и пробиотиков [4–8]. Эффективно введение в рацион препаратов цинка, что приводит к увеличению содержания белка, жира и сырой золы в мясе. Эти показатели определяют пищевую и биологическую ценность мяса, а значит, их увеличение влияет на продуктивность и доказывает эффективность применения биодобавки.

Результаты биохимического исследования крови [9] показали, что цинк как микроэлемент приводит к снижению уровня всасывания железа и магния. При этом в организме уровень мочевой кислоты увеличивается на 21,2%, уровень ГГТ и щелочной фосфатазы – на 47,7 и 33,7% соответственно [9]. Введение в рацион препарата Биоцинк позитивно влияет на биохимические показатели мяса [3]. Особое значение имеют вещества комплексного действия, обладающие гепатопротекторным, антитоксическим, противострессовым эффектом и способные стимулировать обменные процессы, что очень важно для перепелок-несушек [10]. Были проведены также исследования влияния кормовой добавки на основе субстрата пихты сибирской на рост, развитие, сохранность и продуктивность перепелов. Выявлены физиологические показатели роста и развития перепелов. Исследован суточный, абсолютный прирост и относительная скорость роста перепелов [11, 12].

Ущерб птицеводству наносят гипомикроэлементозы. Для окончательного установления диагноза синдрома скрытой формы гипоэлементоза необходимо комплексно изучить физиолого-биохимические параметры крови, о чем утверждают многие ученые [13–16].

Целью работы явилось изучение влияния кормовой добавки Биокальций на биохимический статус крови перепелов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИ Й

Исследование проводили на базе экспериментальной перепелиной фермы СибНИПТИЖ СФНЦА РАН и на кафедре акушерства, анатомии и гистологии Новосибирского ГАУ.

В опыте использовали перепелов японской породы яично-мясного направления в количестве 80 голов. По принципу аналогов было сформировано 2 группы по 40 голов в каждой. Перепела содержались в отдельных клетках в одном помещении. Птицы контрольной группы получали основной рацион. Птицам опытной группы к основному рациону добавляли испытуемый препарат Биокальцийв дозе 1 мл на 1 кг массы в питьевую воду с суточного возраста в течение 21 дня. Второй этап – с 60-дневного возраста в течение 21 дня. Забор крови проводили на 39-й и 98-й дни.

Взятие крови проводили методом декапитации. Пробы крови для изучения содержания микро- и макроэлементов отбирали в вакуумные пробирки с активатором свертывания и гелем. Пробирки с кровью прогревали в термостате при 37°С в течение 20 мин. Затем стеклянной палочкой отделяли сгусток от стенок пробирки. Пробирки отстаивали в холодильнике при 8°С в течение 4 ч и отделяли сыворотку. Сыворотку в пробирках инактивировали на водяной бане при 56°С в течение 30 мин. Всего исследовано 40 проб крови.

В ходе научно-исследовательского опыта изучали изменение содержания микро- и макроэлементов в крови птиц опытной и контрольной групп. Для оценки влияния кормовой добавки на организм исследуемого поголовья перепелов в конце эксперимента нами были определены биохимические показатели, такие как мочевая кислота, глюкоза, белок общий, альбумин, ГГТ, щелочная фосфатаза, АСТ, АЛТ, билирубин общий, креатинин и холестерин. Определяли также количество содержания микро- и макроэлементов в крови птицы. Исследования проводили на автоматическом анализаторе по общепринятым методикам.

Помещения для экспериментальных животных полностью обеспечивали изоляцию птиц и позволяли раздельно содержать каждую экспериментальную группу. Условия содержания обеих групп были одинаковыми. Перепела находились в металлических двухъярусных клетках собственной конструкции. Технологические параметры содержания выдерживались в соответствии с нормами. Освещение в помещении было естественным, температура воздуха в ходе эксперимента составляла 24,9±0,5°С. Условия содержания экспериментальных птиц в виварии обеспечивали для них нормальный биологический фон и полностью соответствовали требованиям санитарных правил по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических ферм.

За птицей в течение суток вели наблюдение, учитывали сохранность, динамику живой массы, рассчитывали среднесуточный прирост. Живую массу перепелов в каждой группе определяли путем индивидуального взвешивания 1 раз в неделю. Прирост живой массы рассчитывали за весь период выращивания перепелов (0–98 дней), сохранность – в процентах от начального поголовья по отдельным периодам выращивания и за весь период в целом. Потребление кормов определяли ежедневно с первых сутоки на протяжении всего опыта в каждой группе.

Кормление перепелов в опытные периоды осуществлялось комбикормом, сбалансированным по основным питательным и биологически активным веществам в соответствии с возрастными нормами. Другие условия кормления и содержания в контрольной и опытных группах были одинаковыми.

Статистическую обработку проводили в программе Microsoft Office Excel 2013, используя критерий Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования было определено содержание кальция, фосфора, цинка, железа, магния в крови перепелов. В табл. 1 представлены результаты исследований микро- и макроэлементов крови перепелов на 39-е сутки выборочно у 6 голов.

Таблица 1

Содержание микро- и макроэлементов в крови перепелов на 39-е сутки, моль/л
The content of micro- and macroelements in the blood of quails on the 39th day, mol/l

Показатель	Группа		Критерий Манна-Уитни
	контрольная	опытная	
1	2	3	4
Кальций	1,8±0,1	2,0±0,1	P=0,016
Фосфор	1,5±0,1	1,6±0,1	P=0,689

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Цинк	21,6±1,7	21,7±1,0	P=0,337
Железо	5,6±2,4	5,9±1,6	P=0,810
Магний	2,1±0,4	2,2±0,3	P=0,109

При использовании кормовой добавки Биокальций в крови опытной группы концентрация кальция увеличилась с достоверностью P=0,016. Этот элемент необходим для развития костяка, мягких тканей, а также для участия в обмене белков, жиров и углеводов. Содержание фосфора в сыворотке крови у перепелов обеих групп было в пределах нормы. Если говорить о показателях цинка, железа и магния, то они возросли на 0,1–0,3%.

Таким образом, повышение содержания микроэлементов в крови являлось наиболее выраженным у животных опытной группы, получавших хелатные комплексные соединения.

Таблица 2

Биохимические показатели крови перепелов на 39-е сутки
Biochemical parameters of the blood of quails on the 39th day

Показатели	Группа		Критерий Манна-Уитни
	контрольная	опытная	
Мочевая кислота, мкмоль/л	123,0±3,7	141,7±11,6	P=0,078
Глюкоза, ммоль/л	17,2±0,6	17,4±1,1	P=0,471
Альбумин, г/л	5,0±1,3	5,1±0,4	P=0,337
ГГТ	11,3±1,7	14,5±2,5	P=0,337
Щелочная фосфатаза, Ед/л	22,5±1,6	25,9±10,2	P=0,200
Белок, г/л	27,2±0,3	28,4±0,3	P=0,631
АСТ, Ед/л	13,9±4,3	16,6±3,4	P=0,631
АЛТ, Ед/л	10,3±3,0	12,6±1,9	P=0,262
Билирубин общий, мкмоль/л	15,1±1,5	16,4±0,4	P=0,749
Креатинин, мкмоль/л	1,2±2,4	1,3±2,1	P=1,000
Холестерин, ммоль/л	3,0±0,1	3,1±0,1	P=0,078

Частью комплексной оценки новых кормовых добавок является учет их влияния на состояние обмена веществ (табл. 2). Как видно из таблицы, потребление комбикорма с кормовой добавкой Биокальций оказало положительное влияние на обеспеченность организма пластическими веществами, что проявилось в изменении параметров крови.

Если содержание общего белка в сыворотке крови у перепелов контрольной группы было меньше нормы, то при потреблении кормового концентрата этот показатель увеличился. Такие показатели, как активность АЛТ и АСТ, концентрация мочевины и креатинина в опытной группе не имели достоверных различий по сравнению с контролем.

Показателем углеводного обмена является уровень сахара в крови. Из табл. 2 видно, что содержание глюкозы в крови птиц было одинаковым у всего подопытного поголовья и находилось на уровне нижней границы нормы. Низкое содержание глюкозы нельзя рассматривать как нарушение углеводного обмена, поскольку уровень сахара в крови является величиной относительно постоянной для птиц одного вида и возраста.

Креатинин – важнейший конечный продукт обмена белков. Он образуется из метионина и аргинина, которые участвуют в регенерации АТФ и мышечных сокращениях. Наибольшая концентрация его в крови обнаружена на ранних сроках выращивания в опытной группе и составила 1,3 мкмоль/л, в то время как на 98-е сутки произошло незначительное уменьшение данного показателя – на 0,2%.

Количество холестерина у перепелов находилось на границе верхней нормы, в опытной группе оно увеличилось на 0,1 ммоль/л.

В табл. 3, 4 представлены результаты исследований крови на 98-е сутки выборочно у 10 голов.

Таблица 3

Содержание микро- и макроэлементов в крови перепелов на 98-е сутки, моль/л
The content of micro- and macroelements in the blood of quails on the 98th day, mol/l

Показатель	Группа		Критерий Манна-Уитни
	контрольная	опытная	
Кальций	1,7±0,1	2,4±0,1	P=0,016
Фосфор	1,5±0,1	1,6±0,1	P=0,689
Железо	21,3±1,7	21,7±1,0	P=0,337
Магний	5,6±2,4	5,9±1,6	P=0,810

Стоит отметить, что содержание кальция в крови на 98-е сутки в сравнении с 39-ми в контрольной группе снизилось на 0,1%. В рационе молодых птиц нужно увеличивать концентрацию этих макроэлементов, так как идет формирование костяка и мягких тканей.

Таблица 4

Биохимические показатели крови перепелов на 98-е сутки
Biochemical parameters of the blood of quails on the 98th day

Показатели	Группа		Критерий Манна-Уитни
	контрольная	опытная	
Мочевая кислота, мкмоль/л	123,2±3,2	143,2±4,7	P= 0,059
Глюкоза, ммоль/л	13,5±1,3	15,8±1,2	P= 0,174
Альбумин, г/л	4,7±0,4	5,4±0,2	P= 0,096
ГГТ	9,7±0,8	11,6±0,4	P= 0,096
Щелочная фосфатаза, Ед/л	20,1±1,6	22,2±0,8	P= 0,041
Белок, г/л	27,9±0,2	28,1±0,2	P= 0,345
АСТ, Е/л	16,8±1,2	17,9±1,9	P= 0,791
АЛТ, Е/л	18,7±3,3	17,5±1,7	P= 0,571
Билирубин общий, мкмоль/л	16,1±0,4	15,1±0,3	P=0,791
Креатинин, мкмоль/л	1,1±1,4	1,1±1,6	P= 0,241
Холестерин, ммоль/л	2,9±0,1	3,0±0,2	P= 0,059

Установлено, что введение в кормовые рационы клетчатки оказало определенное влияние на белковый обмен. Так, в опытной группе на 39-е сутки, к концу экспериментального периода, уровень общего белка в сыворотке крови подопытной птицы увеличился на 1,2%. В опытной группе на 98-е сутки увеличение было минимальным, превысив показатели контрольных аналогов на 0,2%.

Количество холестерина и креатинина у перепелят изменяется в процессе роста, у суточных оно максимальное, а затем уменьшается. В нашем случае снижение этих показателей произошло на 0,1–0,2%. Это обусловливается тем, что препарат Биокальций показывает свою большую эффективность на поздних сроках выращивания.

Анализ полученных данных по мочевой кислоте на 98-е сутки исследования выявил ее физиологическое увеличение в опытных группах с приоритетом на 1,5% по опытной группе на 39-е сутки. Различия с контролем составили 0,2 %.

ВЫВОДЫ

1. Использование кормовой добавки на основе субстрата пихты сибирской Биокальций не оказывает негативных влияний на организм перепелов.
2. Препарат Биокальций эффективен на поздних сроках выращивания, улучшает обмен веществ, способствует повышению минерального состава, стимулирует гемопоэз, не изменяя стабильности кроветворения и постоянства её состава.
3. Выявлена тенденция к увеличению кальциево-фосфорного соотношения. По показателям кальция в опытной группе на 39-е сутки его концентрация возросла на 0,2%, на 98-е сутки – на 0,7%. В сравнении с контрольной группой на 39-е и 98-е сутки в опытной группе показатели фосфора в общем возросли на 0,2%.
4. В опытной группе содержание общего белка в сыворотке крови повысилось на 0,2% в сравнении с контрольной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каиров В.Р., Газзаева М.С.* Хозяйственно-биологические показатели птицы и свиней при использовании биологически активных препаратов // Зоотехническая наука Беларуси. – 2017. – Т. 52, № 1. – С. 217–227.
2. *Коновалова Е.В., Лазарева М.В.* Влияние факторов окружающей среды на онтогенез японских перепелов // Научные основы развития АПК : сб. науч. тр. по материалам XX Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, Томск, 31 мая 2018 г. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2018. – С. 181–184.
3. *Введение* в рацион перепелов хелатного комплекса цинка для коррекции биохимических показателей мяса / М.В. Лазарева, Е.В. Коновалова, Ю.И. Лихошерст, С.В. Мезенцева // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. VI Всерос. (нац.) науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 20 дек. 2021 г. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – С. 635–639.
4. *Багно О.А., Маматов П.С.* Эффективность использования кормового концентрата на основе пихты сибирской при выращивании цыплят-бройлеров // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы II нац. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 7–10.
5. *Епимахова Е.Э., Самокиш Н.В., Абилов Б.Т.* Интенсивное кормление сельскохозяйственной птицы. – СПб.: Лань, 2020. – С. 70.
6. *Проблемы*, связанные с применением соединений металлов-микроэлементов в составе кормовых добавок, и возможные пути их решения / А.В. Шишкин, М.С. Куликова, А.Н. Куликов [и др.] // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки: материалы нац. науч.-практ. конф. молодых ученых: в 3 т. – 2020. – С. 448–452.
7. *Сабыржанов А.У., Муллакаев О.Т., Кушалиев К.Ж.* Актуальность использования кормовых добавок в промышленном и частном птицеводстве // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. – 2016. – № 2. – С. 138–141.
8. *Сравнение* токсичности растворов сульфатов меди и цинка и растворов различных хелатных комплексных соединений данных микроэлементов / М.С. Куликова, А.В. Шишкин, А.Н. Куликов [и др.] // Современная ветеринарная наука: теория и практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию факультета вет. медицины Ижевской ГСХА. – Ижевск, 2020. – С. 79–83.
9. *Коновалова Е.В., Лазарева М.В.* Влияние хелатного цинка в рационе перепелов на биохимические показатели // Вопросы ветеринарной науки и практики: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов факультета вет. медицины Новосиб. гос. аграр. ун-та, Новосибирск, 30 марта 2021 г. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – С. 28–32.
10. *Кощаева О.С., Кощаев И.А., Литвинов Ю.Н.* Органические микроэлементы – природное решение проблемы минерального питания животных и птицы // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2017. – № 3. – С. 7–12.
11. *Лазарева М.В., Лазарева И.С., Шкиль Н.А.* Влияние хелатных соединений эссенциальных микроэлементов на рост перепелов // Ветеринария. – 2021. – № 8. – С. 49–51.
12. *Мезенцева С.В., Лазарева М.В.* Влияние хелатного соединения кальция на рост перепелов // Актуальные вопросы развития аграрной науки: сб. материалов Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 15-летию со дня образования Ин-та биотехнологии и вет. медицины, Тюмень, 12 окт. 2021 г. – Тюмень: Гос. аграр. ун-т Сев. Зауралья, 2021. – С. 241–247.
13. *Гематологические* параметры перепелов в биогеохимических условиях Астраханской области / П.А. Полковниченко, А.П. Полковниченко, Д.В. Воробьев [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2019. – Т. 237, № 1. – С. 147–150.
14. *Савчук С.В., Сергеенкова Н.А.* К вопросу о составе крови японских перепелов // Вестник Тувинского государственного университета. – 2018. – № 2. – С. 45–49.

15. *Шумская М., Рябушенко Е.* Анализы крови у птиц. Основные показатели и их диагностическая значимость [Электронный ресурс] / М. Шумская, // Энциклопедия владельца птицы. – Режим доступа: http://www.mybirds.ru/health/medic/analiz_krovi_pticy.php.
16. *Lukanov H., Pavlova I.* Economic analysis of meat production from two types of Domestic quails // Agrocultural, science and technology. – 2020. – Vol. 12, N 2. – P. 148–152.

REFERENCES

1. Kairov V.R., Gazzaeva M.S., *Zootehnicheskaja nauka Belarusi*, 2017, T. 52, No. 1, pp. 217–227. (In Russ.)
2. Konovalova E.V., Lazareva M.V., *Nauchnye osnovy razvitija APK* foundations of the development of agriculture), Collection of papers, Materials of the XX All-Russian (national) and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, Novosibirsk: Zolotoj kolos, 2018, pp. 181–184. (In Russ.)
3. Lazareva M.V., Konovalova E.V., Lihosherst Ju.I., Mezenceva S.V., *Rol' agrarnoy nauki v ustoychivom razvitii sel'skikh territoriy* (The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas), Collection of the VI All-Russian (national) Conference with international participation, Novosibirsk: Zolotoj kolos, 2021, pp. 635–639. (In Russ.)
4. Bagno O.A., Mamatov P.S., *Aktual'nye nauchno-tekhnicheskie sredstva i sel'skokhozyaistvennye problem* (Actual and technical means and agricultural problems), Proceedings of the Conference Title, Kemerovo: 2019, pp. 7–10. (In Russ.)
5. Epimahova E.Je., Samokish N.V., Abilov B.T., *Intensivnoe kormlenie sel'skohozjajstvennoj pticy* (Intensive feeding of poultry), Saint-Petersburg: Lan', 2020, 70 p.
6. Shishkin A.V., Kulikova M.S., Kulikov A.N., Galljamova T.R., Ivanov I.S., *Integracionnye vzaimodejstvija molodyh uchenyh v razvitii agrarnoj nauki* (Integration interactions of young scientists in the development of agricultural science), Proceedings of the Conference Title, 2020, pp. 448–452. (In Russ.)
7. Sabyrzhanov A.U., Mullakaev O.T., Kushaliev K.Zh., *Uchenye zapiski KGAVM im. N.Je. Baumana*, 2016, No. 2, pp. 138–141. (In Russ.)
8. Kulikova M.S. Shishkin A.V., Kulikov A.N., Miheeva E.A., Ivanov I.S., *Sovremennaja veterinarnaja nauka* (Modern 21 veterinary science), Theory and practice, Proceedings of the Conference Title, Izhevsk, 2020, pp. 79–83. (In Russ.)
9. Konovalova E.V., Lazareva M.V., *Voprosy veterinarnoj nauki i praktiki* (Questions of veterinary science and practice), Proceedings of the and practical conference, Novosibirsk: Zolotoj kolos, 2021, pp. 28–32. (In Russ.)
10. Koshhaeva O.S., Koshhaev I.A., Litvinov Ju.N., *Aktual'nye voprosy sel'skohozjajstvennoj biologii*, 2017, No. 3, pp. 7–12. (In Russ.)
11. Lazareva M.V., Lazareva N.A., *Veterinarija*, 2021, No. 8, pp. 49–51. (In Russ.)
12. Mezenceva S.V., Lazareva M.V., *Aktual'nye voprosy razvitija agrarnoj nauki* (Topical issues of development of agricultural science), Proceedings of the Conference Title, Tjumen': Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Severnogo Zaural'ja, 2021, pp. 241–247. (In Russ.)
13. Polkovnichenko P.A., Polkovnichenko A.P., Vorob'ev D.V. [i dr.], *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Baumana*, 2019, No. 1, pp. 147–150. (In Russ.)
14. Savchuk S.V., Sergeenkova N.A, *Vestnik Tuvinskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2018, No. 2, pp. 45–49. (In Russ.)
15. Shumskaja M., Rjabushenko E., *Entsiklopediya vladel'tsa ptitsy*: http://www.mybirds.ru/health/medic/analiz_krovi_pticy.php.
16. Lukanov H., Pavlova I., Economic analysis of meat production from two types of Domestic quails, *Agrocultural, science and technology*, 2020, Vol. 12, No. 2, pp. 148–152.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-160-166
УДК 636.5.084

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВОЙ СМЕСИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПРОБИОТИКА ЛЕВИСЕЛ SB ПЛЮС

Е.В. Михалева, кандидат биологических наук, доцент
Ю.А. Ренёва, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Пермский государственный аграрно-технологический университет им. академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

E-mail: mihalewa.el@yandex.ru

Ключевые слова: кормовая смесь, пробиотик Левисел SB плюс, технология производства, комбикорм, цыплята-бройлеры.

Реферат. Приводятся результаты разработки кормовой смеси с добавлением пробиотика Левисел SB плюс в условиях производства АО «Продо Птицефабрика Пермская». В организме птицы вследствие интенсивного промышленного выращивания, откорма, смены рациона, состава кормовых смесей происходят нарушения процесса ферментации в толстом отделе кишечника. Поэтому очень важно разрабатывать кормовые смеси с различными биологическими добавками, пробиотиками и пребиотиками. Один из самых главных критериев получения качественного мяса птицы – полноценные комбикорма. Комбикорм – это кормовая смесь из очищенного тонкоизмельченного сырья растительного и животного происхождения с добавлением обогащающих веществ, таких как витамины, микро- и макроэлементы, ферменты, пробиотики и многое другое. На сегодняшний день нашей задачей стало не только производство качественных комбикормов, но и добавление в них таких ингредиентов, которые бы способствовали повышению мясной продуктивности, обеспечению здоровья птицы и получению экологически чистой продукции. В агрохолдинге «Продо» увеличивающиеся объёмы производства мяса птицы опережают среднероссийские показатели. В первую очередь это связано с инвестиционными проектами. В агрохолдинге «Продо» в 2008 г. разработаны и внедрены федеральные бренды «Рококо» и «Троекурово», которые позволили предприятию расширить географию реализации своей продукции. В настоящее время наблюдается тенденция к повышению потребления мяса птицы как в Российской Федерации, так и в мировом сообществе. В этих условиях произвести просто качественный корм для птицы недостаточно, поэтому предлагаем включать в рационы птицы пробиотик Левисел SB плюс – бактериальный концентрат, содержащий полезные микроорганизмы с высокой ферментативной активностью, для повышениия количества и улучшения качества продукции в условиях АО «Продо Птицефабрика Пермская».

TECHNOLOGY OF FEED MIX PRODUCTION WITH THE ADDITION OF PROBIOTIC LEVISEL SB PLUS

E.V. Mikhaleva, Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
Yu.A. Renyova, Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor

Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russia

E-mail: mihalewa.el@yandex.ru

Keywords: feed mix, Levisel SB plus probiotic, production technology, mixed fodder, broiler chickens.

Abstract. In the article, the authors present the results of developing a feed mixture with the addition of the probiotic Levisel SB + in the production conditions of JSC Prodo Poultry Farm Permskaya. In the poultry body, due to intensive industrial rearing, fattening, change of diet, and composition of feed mixtures, the fermentation process in the large intestine of poultry is disturbed. Therefore, it is crucial to develop feed mixes with various supplements, probiotics, and prebiotics—one of the most important criteria for obtaining quality poultry meat - complete fodder. Mixed fodder is a feed mixture of purified finely chopped raw materials of plant and animal origin with the addition of enriching substances such as vitamins, micro-, and macronutrients, enzymes, probiotics, and more. To date, our task has become not only the production of quality feed but adding to them such ingredients that would increase meat productivity, ensure the health of poultry and obtain environmentally friendly products. Prodo agro holdings growing poultry production volumes are ahead of the national average. First of all, this increase is connected with investment projects. In 2008 Prodo agricultural holding developed and introduced national brands “Rokoko” and “Troekurovo,” which allowed the company to expand the geography of sales of its products.

Currently, there is a trend towards increased consumption of poultry meat both in the Russian Federation and the global community. Under these conditions, simply producing high-quality poultry feed is not enough. Therefore, the authors propose to include the probiotic Levisel SB+ in poultry diets, a bacterial concentrate containing beneficial microorganisms with high enzymatic activity. This probiotic increases the quantity and improves the quality of products in the conditions of JSC “Prodo Poultry Farm Permskaya.”

В советское время был сформирован прочный фундамент комбикормового производства на основе научно- производственного прогресса, но несмотря на это, данный сектор постоянно совершенствуется и динамично развивается.

В комбикормовой промышленности продолжаются научные исследования, учеными и специалистами регулярно внедряются инновационные идеи. Инновации, внедряемые в комбикормовую индустрию, позволяют повышать эффективность кормления птицы и животных, сохранять в агропромышленном комплексе санитарное и зооветеринарное благополучие [1–7].

Животноводческие и птицеводческие предприятия производили корма и кормовые смеси самостоятельно, что создавало для них ряд проблем. С развитием комбикормовой промышленности животноводческие и птицеводческие хозяйства освободились от производства кормов и обрели возможность получать от комбикормовой промышленности сбалансированные комбикорма для определенных групп животных [8–11].

Хозяйства по разведению и откорму птицы владеют хорошей кормовой базой, специалисты при разработке рационов кормления дотошно следят за питательностью рационов и качеством кормов для сельскохозяйственной птицы [12–17].

Однако несмотря на развитие комбикормовой промышленности, практически все крупные птицеводческие предприятия в своем составе имеют комбикормовые цеха или заводы, что обосновано многими причинами.

Во-первых, это качество комбикормов, производимых на комбикормовых заводах. Так как комбикорма вырабатываются по рецептуре предприятия-изготовителя, предприятия-потребители (птицефабрики) не всегда могут отследить составляющие компоненты комбикормов, в частности содержание витаминов, биологических добавок и других компонентов. Для этого необходимо проводить анализы в специализированных лабораториях, но, к сожалению, не все предприятия располагают такими лабораториями.

Во-вторых, на птицефабриках специалисты по кормлению четко знают, какой состав комбикормов необходим той или иной группе птиц, и готовить такие комбикорма значительно дешевле на собственном предприятии, чем закупать извне.

Предприятия по выпуску технологического оборудования тоже не стоят на месте и динамично развиваются, производя мини- и модульные комбикормовые цеха и заводы, дают прекрасную возможность приобрести, установить и запустить их в работу как в крупных, так и в небольших хозяйствах и производить вполне качественные комбикорма.

Цель исследований – разработать технологию производства кормовой смеси с добавлением пробиотика Левисел SB плюс.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа проводилась непосредственно на предприятии АО «Продо Птицефабрика Пермская» в цехе приготовления кормов.

Объектом исследования служил комбикорм, состоящий из следующих основных компонентов: зерно пшеницы, кукурузы, соевый шрот, глютен кукурузы, рыбная мука, масло подсолнечника, известняковая мука, витаминов группы В, антистессовый премикс. В качестве дополнительного ингредиента в комбикорм был введен пробиотик Левисел SB плюс.

Препарат Левисел SB плюс хорошо подходит для кормления сельскохозяйственной птицы. Он позволяет повысить ее продуктивность, укрепляет здоровье и благотворно влияет на работу желудочно-кишечного тракта. Пробиотик Левисел SB плюс – сыпучий порошок бежевого цвета, содержит специальный вид микрокапсулированных живых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae boulardii* с активностью не менее $2 \cdot 10^9$ КОЕ/г, покрытых защитной оболочкой из жирных кислот.

Данный вид дрожжей хорошо изучен, описан более чем в 150 научных публикациях, широко применяется в медицине и ветеринарии. Состав препарата Левисел SB плюс оказывает многостороннее воздействие на пищеварительный тракт: стимулирует синтез ряда биологически активных веществ, рост симбиотической микрофлоры, способствует выработке антител, улучшает работу фагоцитов, восстанавливает эластичность слизистой оболочки.

Данный пробиотик высокотехнологичен, устойчив к температурному воздействию. Оболочка капсулы пробиотика надежно защищает живую дрожжевую культуру, поэтому препарат подходит для производства гранулируемой формы комбикормов.

Данный препарат имеет регистрационный номер: ПВИ-2-6.9/02852.

Дрожжи Левисел SB плюс устойчивы к воздействию большинства антибиотиков и могут применяться одновременно с ними, препятствую развития дисбактериоза.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При вводе в комбикорм сельскохозяйственной птицы Левисел SB плюс используется существующая технология смешивания, принятая на производстве:

Технологическая группа	*Норма ввода, г/т*
Родительское стадо	500-1000
Бройлеры	
Старт	1000
Гроуэр	500
Финиш	500
Куры-несушки	500

Технологический процесс производства комбикормовой смеси для цыплят бройлеров включает в себя следующие технологические операции:

– поступление наполнителя в микросмеситель ДСП-0,2 в объеме 100 кг. В качестве наполнителя использовалась известняковая мука;

– добавление пробиотика Левисел SB плюс в количестве, предусмотренном для данной технологической группы птицы;

– смешивание препарата с наполнителем в течение 2 мин;

– поступление премикса в бункер (силос) с комбикормом;

– смешивание комбикорма с премиксом в течение 10 мин;

– отгрузка кормосмеси (табл. 1).

Таблица 1

Технологическая карта приготовления премикса на микросмесителе ДСП-0,2 (замешивание пробиотика с комбикормом)

Process flow card for premix preparation on DSP-0,2microsmixer (mixed probiotic and feed)

Комната для приготовления премикса	Время	Отклонение	Кто осуществляет контроль
1	2	3	4
Поступление препаратов производится по рецептуре врача с его росписью в журнале. Согласно остаткам оператор ВМП подает заявку на лекарственные препараты			Оператор ВМП и мастер цеха
В комнате для фасовки витаминные и минеральные добавки должны храниться в подписанной таре			Технолог и мастер цеха
Согласно технологии, выдаваемой каждый день технологом, оператор ВМП осуществляет расфасовку ингредиентов и проводит их органолептическую оценку			Оператор ВМП
Требования к ингредиентам			
Целостность мешкотары: на мешке должна быть этикетка с названием препарата, датой изготовления и сроками хранения			Оператор ВМП
Каждый ингредиент в комнате для фасовки должен находиться в таре, быть подписан и закрыт крышкой			Оператор ВМП
Фасовку ингредиентов по раскладке технолога производят в бумажные мешки и подписывают их по маркам			Оператор ВМП
Приготовленный премикс должен находится в специальном месте для готовой продукции			Оператор ВМП
Технология смешивания в микросмесителе			
Набор наполнителя согласно раскладке на каждую марку, корректировка наполнителя при дополнительных назначениях. Начало замесов в микросмесителя согласовывается с оператором по набору	2 мин	2–4 мин	Оператор по вводу витаминных добавок, оператор ВМП
Ввод нафасованных по раскладке сухих добавок	5 мин	5–10 мин	Оператор по вводу ВМП

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Смешивание	2 мин	2 мин	Оператор по вводу ВМП
Ввод жидких добавок и смешивание	4 мин	4 мин	Оператор по вводу ВМП
Требования к документации			
Ввод добавок, которые назначаются по профилактической схеме			Оператор ВМП
Технология приготовления осуществляется по схеме, выдаваемой каждый день технологом			Оператор по вводу витаминных добавок
В конце рабочей смены снимаются остатки ингредиентов и заносятся в журнал, сверяются с мастером по 1С приходы, расходы и остатки. Количества остатков на следующий день должно хватать минимум на два замеса любой марки комбикорма			Оператор ВМП

Технологическая карта приготовления премикса и сама кормовая смесь рассчитана на 45 000 голов цыплят-бройлеров.

Ниже приводится количество и состав комбикормосмеси с пробиотиком Левисел SB плюс, необходимой для кормления цыплят-бройлеров в производственных условиях:

Произведено комбикорма для цыплят-бройлеров за год, т	68159,62
Добавлено пробиотика за год, т	34079,81
Произведено кормосмеси в смену, т	262,15
Внесено ингредиентов,%	
Пшеница	33,56
Кукуруза	20,00
Шрот соевый	34,43
Кукурузный глютен	1,00
Мука рыбная	1,00
Масло подсолнечное	2,78
Монохлоргидрат лизина	0,18
Метионин	0,11
Треонин	0,09
Соль поваренная	0,19
Монокальцийфосфат	1,31
Известняковая мука	1,92
Сода пищевая	0,19
Сантиокс	0,01
Сорбент	0,20
Фумаровая кислота	0,15
Витамин B_4	0,18
Антистессовый премикс	0,20
AF-115002-KO	1,50
Левисел SB плюс	0,05

Поскольку применение пробиотика Левисел SB плюс является для предприятия выгодным, была рассчитана экономическая эффективность от применения препарата.

Данный препарат птицефабрика не производит, а закупает, поэтому расчет по производству препарата в данном экономическом анализе не проводился.

В основу расчета экономической эффективности применения кормовой смеси с содержанием пробиотика Левисел SB плюс, используемого в рационе цыплят-бройлеров, были взяты количество дополнительного прироста птицы, выручка от реализации и стоимость пробиотика (табл. 2).

Таблица 2

Экономическая эффективность применения препарата Левисел SB плюс в рационах кормления цыплят-бройлеров

Cost-effectiveness of Levisel SB + in broiler chicken feeding diets

Показатели	Контрольная группа	Опытная группа
1	2	3
Количество цыплят при постановке на опыт, гол.	45 000	45 000
Сохранность поголовья, %	94,8	92,2
Среднее потребление корма в сутки на 1 гол., г	86	86
Количество цыплят в конце опыта, гол.	41 490	42 660
Живая масса 1 гол. в 38-дневном возрасте, г	2 170	2 271
Получено прироста живой массы за период опыта, кг	90 865,80	92 564,19
Дополнительный прирост, кг	-	1 698,39
Реализационная цена 1 кг мяса в тушках, руб.	75	75
Выручка от реализации дополнительного прироста, руб.	-	127 379,25
Себестоимость 1 кг живой массы, руб.	48,51	44,67
Стоимость 1 кг корма, руб.	27,30	29,62

Окончание табл. 2

1	2	3
Получено дополнительной прибыли, руб.	-	51 512,17
Объем производства, т	92,57	94,22
Выручка от реализации продукции, руб.	6 942 915	7 066 784
Затраты, всего, руб.	4 490 667	4 208 977
Чистая прибыль, руб.	2 452 248	2 857 807
Рентабельность, %	54,60	67,89

Данные табл. 2 позволяют сделать вывод о том, что использование препарата вместе с комбикормом дает существенную экономическую выгоду, позволяет предприятию получить дополнительно 405559 руб. от каждых 45000 цыплят-бройлеров, поставленных на откорм. Стоимость 1 кг корма в опытной группе меньше на 2,3 руб. за счет того, что в опытной группе затраты корма на 1 кг прироста были ниже, чем в опытной. На 1 кг прироста контрольная группа цыплят-бройлеров потратила на 0,07 г больше, чем опытная. При расчете полученного прироста живой массы учитывалось, что масса цыпленка в суточном возрасте составляла 40 г. В конечном итоге объем производства увеличился на 1,65 т, а рентабельность предприятия возросла на 13,29%. Добавление кормосмеси с пробиотиком Левисел SB плюс является экономически выгодным для предприятия, позволяет получить больший объем продукции при меньших затратах.

ВЫВОДЫ

1. Совместно с предприятием АО «Продо Птицефабрика Пермская» разработана технология производства кормосмеси с добавлением пробиотика Левисел SB плюс.
2. Составлена технологическая карта приготовления комбикормовой смеси с добавлением пробиотика Левисел SB плюс.
3. Расчет экономической эффективности показывает, что применение предложенной кормосмеси увеличивает объем производства на 1,65 т, а рентабельность предприятия – на 13,29%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коновалов Д.А.* Влияние пробиотических кормовых добавок на иммунный статус организма ремонтного молодняка птицы // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2019. – № 1. – С. 173–176.
2. *Коссе Г.И., Казакова А.С.* Влияние «Левисел SI плюс» на переваримость основных питательных веществ рационов цыплят-бройлеров кросса «ИСА-15» // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – №1. – С. 114–119.
3. *Коссе Г.И., Казаков А.С.* Эффективность применения ферментно-пробиотического комплекса при выращивании цыплят-бройлеров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональое образование. – 2017. – №1. – С. 138–143.
4. *Котарев В.И., Денисенко Л.И.* Влияние пробиотической добавки «Профорт» на показатели развития внутренних органов молодняка кур-несушек // Ученые записки Учреждения образования Витебская ордена Знак Почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2020. – №4. – С. 35–38.
5. *Котарев В.И., Лядова Л.В., Иванова Н.Н.* Обмен минеральных веществ и продуктивные показатели цыплят-бройлеров при использовании кормовой добавки «Ликвипро» // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2019. – № 4 (9). – С. 27–36.
6. *Оценка* влияния пробиотика Ветом 1.1 на некоторые показатели роста и морфобиохимического состава крови телят / С.А. Шевченко, Ю.Н. Фёдоров, А.И. Шевченко, В.Г. Жданов, Л.И. Суртаева // Вестник НГАУ. – 2018. – № 4 (49). – С. 156–161.
7. *Пробиотическая* кормовая добавка ветаспорин-актив в составе рациона цыплят-бройлеров / Д.Д. Хазиев, Р.Р. Гадиев, А.Ф. Шарипова, В.И. Косилов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 6. – С. 259–262.

8. *Иванова Н.Н.* Продуктивность цыплят-бройлеров при включении в рацион комплекса дополнительного питания // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6. – С. 159.
9. *Clements M.* Stress, disease and nutritional solutions in poultry production // Poultry International. – 2011. – Vol. 50, N 1. – P. 22–25.
10. *Fairchild B.D., Hofacre C.L.* The future of antibiotic use in poultry production // Poultry USA. – 2012. – Vol. 12, N 1. – P. 28–29.
11. *Sleman S.M., Swick Robert A., Iji Paul A.* Specialized protein products in broiler chicken nutrition // A review. Anim Nutr. – 2015. – N 1(2). – P. 47–53.
12. *Епимахова Е.Э., Самокиш Н.В., Абилов Б.Т.* Интенсивное кормление сельскохозяйственных птиц. – СПб.: Лань, 2020. – 92 с.
13. *Овчинникова Л.Ю.* Показатели мясной продуктивности цыплят-бройлеров при использовании в рационе пробиотиков // Главный зоотехник. – 2013. – № 4.– С. 45–49.
14. *Овчинников А.А., Матросова Ю.В., Коновалов Д.А.* Продуктивность кур-несушек и качество инкубационного яйца при использовании в рационе пробиотиков // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 1 (25). – С. 105–112.
15. *Овчинников А.А., Овчинникова Л.Ю., Лакомый А.А.* Иммуно-биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании биологически активных добавок в рационе // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2016. – № 1. – С. 39– 44.
16. *Investigating* meat quality of broiler chickens fed on heat processed diets containing corn distillers dried grains with solubles / Y. Shim, J. Kim, A. Hosseindoust [et al.] // Korean Journal for Food Science of Animal Resources. – 2018. – N 38(3). – P. 629–635.
17. *Harn J., Dijkslag M.A., Krimpen M.M.* of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers // Poultry Science. – 2019. – N 98(10). – P. 4868–4877.

REFERENCES

1. Konovalov D.A., *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2019, No. 1, pp. 173–176. (In Russ.)
2. Kosse G.I., Kazakova A.S., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka I vysshee professional'oe obrazovanie*, 2017, No. 1, pp. 114–119. (In Russ.)
3. Kosse G.I., Kazakov A.S., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka I vysshee professional'oe obrazovanie*, 2017, No. 1, pp. 138–143. (In Russ.)
4. Kotarev V.I., Denisenko L.I., *Uchenye zapiski Uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak Pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny*, 2020, No. 4, pp. 35–38. (In Russ.)
5. Kotarev V.I., Lyadova L.V., Ivanova N.N., *Veterinarnyi farmakologicheskii vestnik*, 2019, No. 4 (9), pp. 27–36. (In Russ.)
6. Shevchenko S.A., Fedorov Yu.N., Shevchenko A.I., Zhdanov V.G., Surtaeva L.I., *Vestnik NGAU*, 2018, No. 4 (49), pp. 156–161. (In Russ.)
7. Khaziev D.D., Gadiev R.R., Sharipova A.F., Kosilov V.I., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 6. pp. 259–262. (In Russ.)
8. Ivanova N.N., *Vestnik KrasGau*, 2020, No. 6, pp. 159. (In Russ.)
9. Clements M., Stress, disease and nutritional solutions in poultry production, *Poultry International*, 2011, Vol. 50, No. 1, pp. 22–25.
10. Fairchild B.D., Hofacre C.L., The future of antibiotic use in poultry production, *Poultry USA*, 2012, Vol. 12, No. 1, pp. 28–29.
11. Sleman S.M., Swick Robert A., Iji Paul A., Specialized protein products in broiler chicken nutrition, *A review. AnimNutr*, 2015, No. 1(2), pp. 47–53.
12. Epimakhova E.E., Samokish N.V., Abilov B.T., *Intensivnoe kormlenie sel'skokhozyaistvennykh ptits* (Intensive feeding of farm birds), Sankt-Peterburg: Lan', 2020, 92 p.
13. Ovchinnikova L.Yu., *Glavnyi zootekhnik*, 2013, No. 4, pp. 45–49. (In Russ.)

14. Ovchinnikov A.A., Matrosova Yu.V., Konovalov D.A., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2019, No. 1 (25), pp. 105–112. (In Russ.)
15. Ovchinnikov A.A., Ovchinnikova L.Yu., Lakomyi A.A., *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh I kormoproizvodstvo*, 2016, No. 1, pp. 39–44. (In Russ.)
16. Shim Y., Kim J., Hosseindoust A., Choi Y., Kim M., Oh S., Ham H., Kumar A., Kim K., Jang A., Chae B., Investigating meat quality of broiler chickens fed on heat processed diets containing corn distillers dried grains with soluble, *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2018, No. 38(3), pp. 629–635.
17. Harn J., Dijkslag M.A., Krimpen M.M., of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers, *Poultry Science*, 2019, No. 98 (10), pp. 4868–4877.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-167-174
УДК 636.082

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ

Л.Г. Моисейкина, доктор биологических наук, профессор
А.В. Убушиева, старший преподаватель, научный сотрудник
В.С. Убушиева, преподаватель, научный сотрудник

Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, Элиста, Россия

E-mail: ameli-altanas@mail.ru

Ключевые слова: калмыцкая порода, генетический потенциал, антигены, продуктивность, живая масса, экстерьер.

Реферат. *Рассматриваются основные тенденции развития животноводства в Республике Калмыкия. Для сохранения и улучшения генетического потенциала животных необходимо проводить современную селекцию. В Республике Калмыкия в животноводстве эффективно применяется иммуногенетическая экспертиза. Цель исследования заключалась в проведении анализа статистических данных по крупному рогатому скоту калмыцкой породы в 1988 и в 2018 гг. Установлено, что численность поголовья за 30 лет увеличилась на 324430 голов. Сравнительный анализ экстерьерных данных животных показал, что быки-производители в 2018 г. были крупнее по сравнению с 1988 г.: разница по высоте в холке составляла 1,6%, косой длине туловища – 1,2, обхвату груди – 1,9, обхвату пясти – 5,7% (P<0,95). Положительная динамика отмечалась и у коров. Средняя живая масса быков-производителей в 2018 г. составляла 796,7±3,7 кг, что на 35,2 кг (4,6%) выше, чем у животных в 1988 г. Коровы в 2018 г. превосходили животных 1988 г. по живой массе на 26,1 кг (5,7%) (P<0,95). Анализ данных частот встречаемости антигенов в двух племенных хозяйствах в 1988 и 2018 гг. показал, что наибольшую частоту встречаемости имеют антигены A1, A’2, C1, W. С наименьшей частотой встречаются антигены I’, C2, L’, S2. Таким образом, можно констатировать, что за 30 лет произошли изменения в частотах встречаемости антигенов в племенных хозяйствах, а следовательно, изменения в генофонде. При сравнении увеличения и уменьшения частоты встречаемости антигенов между двумя племенными хозяйствами наблюдаются явные различия, что свидетельствует о разнонаправленной селекции.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHENOTYPIC DATA AND GENETIC STRUCTURE OF KALMYK CATTLE BREED

L.G. Moiseykina, Doctor of Biological Sciences, Professor
A.V. Ubushieva, Senior Lecturer, Research Fellow
V.S. Ubushieva, Lecturer, Research Fellow

Kalmyk State University named after B.B.Gorodovikov, Elista, Russia

E-mail: ameli-altanas@mail.ru

Keywords: Kalmyk cattle breed, genetic potential, antigens, productivity, body weight, performance.

Abstract. The main trends in the development of animal husbandry in the Republic of Kalmykia are considered. It is necessary to carry out the current selection to preserve and improve the genetic potential of animals. In the Republic of Kalmykia, immunogenetic expertise is effectively used in cattle breeding. The purpose of the study was to analyze statistical data on Kalmyk cattle in 1988 and 2018. It was found that the number of livestock increased by 324430 heads over 30 years. A comparative analysis of the exterior data of the animals showed that the bulls-producers in 2018 were more extensive compared to 1988: The difference in withers height was 1.6%, body length was 1.2, chest girth was 1.9, and cannon bone circumference was 5.7% (P<0.95). Positive dynamics were also observed in cows. The average live weight of sire bulls in 2018 was 796.7±3.7 kg, 35.2 kg (4.6%) higher than that of animals in 1988. Cows in 2018 outperformed 1988 animals by 26.1 kg (5.7%) in live weight (P<0.95). I’, C2, L’, and S2 antigens had met less frequently. I’, C2, L’, and S2 antigens had met less frequently. Thus, we can state that for 30 years, there have been changes in the frequency of occurrence of antigens in breeding farms and, consequently, changes in the gene pool. When comparing the increase and decrease in the frequency of occurrence of antigens between the two breeding farms, there are apparent differences, indicating a multidirectional selection.

Одним из приоритетных направлений сельского хозяйства Республики Калмыкия является животноводство [1]. С давних времен и до сегодняшнего дня калмыцкий народ занимается разведением крупного рогатого скота калмыцкой породы [2]. Изучение и сохранение генетического потенциала аборигенного скота является на сегодняшний день актуальной задачей [3], поскольку он является единственной отечественной мясной породой, характеризующейся хорошими адаптивными, продуктивными и воспроизводительными качествами. Калмыцкий скот по сравнению с другими мясными породами характеризуется относительным долголетием, крепкой конституцией, правильным телосложением [4, 5]. Для того чтобы реализовать генетический потенциал калмыцкого скота и улучшить желательные признаки животных, необходимо проводить селекцию по фенотипу с углубленной оценкой генотипа [6].

За последние 10 лет селекционно-племенная работа помимо традиционной оценки включает и иммуногенетическую экспертизу. Тестирование по группам крови широко используется в практическом животноводстве для установления достоверности происхождения потомков, оценки генетического разнообразия отдельных селекционных групп, выявления маркеров продуктивности [7, 8]. Генетическое маркирование позволяет сравнивать популяции скота по уровню биоразнообразия, проводить генетическую дифференциацию линий и семейств, мониторинг генофонда породы, оценивать и прогнозировать эффективность племенной работы [9].

Целью данного исследования являлось проведение сравнительного анализа статистических данных по крупному рогатому скоту калмыцкой породы в 1988 и в 2018 гг. В соответствии с поставленной целью были решены следующие задачи:

– провести анализ динамики поголовья крупного рогатого скота калмыцкой породы в Республике Калмыкия за 1988–2018 гг.;

– изучить и проанализировать экстерьер и мясную продуктивность калмыцкого скота в 1988 и 2018 гг.;

– определить изменения в генетической структуре популяции крупного рогатого скота калмыцкой породы за 30 лет.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом для исследования послужили данные по скоту калмыцкой породы племсовхоза им. Чкалова Кетченеровского района Калмыцкой ССР в 1988 г. и АО «Сарпа» Кетченеровского района Республики Калмыкия в 2018 г. Данные бонитировки, мясной продуктивности и численности поголовья калмыцкого скота 1988 г. были взяты из результатов исследования М.Б. Нармаева [6]. Показатели экстерьера и мясных качеств животных в 2018 г. получены в результате бонитировки и убоя бычков в возрасте 18 месяцев, проведенной в хозяйстве АО «Сарпа», данные о количестве крупного рогатого скота калмыцкой породы в хозяйствах республики взяты из отчета Минсельхоза Республики Калмыкия за 2018 г.

Тестирование по группам крови проводилось по стандартным методикам (Neimann – Sorensen) с использованием моносывороток производства ОАО «Московское» [10] и ОАО «Самарское» по племенной работе [11, 12].

Частоту встречаемости антигенов определяли по формуле

$p = n/N$,

где p – частота определяемого антигена;

n – количество особей с данным антигеном;

N – общее количество животных.

Степень генетического сходства популяций определяется при помощи формулы Майяла и Линдстрема:

$$r = \frac{\sum(x_i \cdot y_i)}{\sqrt{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i^2}}$$

где r – индекс генетического сходства;

x_i, y_i – частоты одних и тех же антигенов в сравниваемых популяциях [13–17].

Реагенты – моноспецифические сыворотки производства ОАО «Самарское» по племенной работе; катализатор реакции гемолиза – кроличий комплемент; стационарная центрифуга РС-6 – центрифуга лабораторная напольная рефрижераторная (ЗАО НПО «Техноком», Россия).

При обработке экспериментальных данных использовали офисный программный комплекс Microsoft Office с применением программы Excel (Microsoft, США) с обработкой данных в Statistica 9.0 (Stat Soft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ динамики поголовья крупного рогатого скота калмыцкой породы свидетельствует о значительном повышении численности (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ поголовья калмыцкого скота, разводимого в Республике Калмыкия за 30 лет
Comparative analysis of Kalmyk cattle bred in the Republic of Kalmykia over 30 years

Район	Год		Среднегодовое значение	От всего поголовья в РК, %
	1988	2018		
Городовиковский	6900	3202	5051,0	1,1
Ики-Бурульский	8500	71853	40176,5	9,0
Кетченеровский	16500	45786	31143,0	7,0
Лаганский	5100	14393	9746,5	2,2
Малодербетовский	10000	38126	24063,0	5,4
Октябрьский	5600	30547	18073,5	4,1
Приютненский	7700	29964	18832	4,2
Сарпинский	13400	22833	18116,5	4,1
Целинный	10900	38707	24803,5	5,6
Черноземельский	7900	49938	28919,0	6,5
Элиста	1300	1252	1276,0	0,3
Юстинский	6400	17566	11983,0	2,7
Яшалтинский	13100	18957	16028,5	3,6
Яшкульский	7500	62106	34803,0	7,8
Всего	120800	445230	283015	63,6

Так, в 1988 г. численность поголовья составляла 120800 голов, тогда как в 2018 г. она увеличилась на 324430 голов. Практически во всех районах наблюдался рост поголовья, кроме Городовиковского района и г. Элиста. Наибольшее поголовье наблюдается в Ики-Бурульском (9%), Яшкульском (8%), Кетченеровском (7%) и Черноземельском районах (6%). Таким образом, за 1988 и 2018 гг. численность поголовья калмыцкого скота в среднем возросла на 64%.

Экстерьерные особенности играют важную роль в оценке породных и продуктивных качеств. Показатели экстерьера калмыцкого скота на протяжении 30 лет были подвержены влиянию различных факторов. В последние годы улучшались условия содержания и кормления, а также селекционно-племенная работа, что благоприятно сказалось на внешнем виде и телосложении животного (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные характеристики средних промеров поголовья калмыцкого скота, см
Comparative characteristics of average dimensions of Kalmyk cattle, cm

Показатели	1988 г.		2018 г.	
	быки-производители	коровы	быки-производители	коровы
Высота в холке, см	130,4±2,5	126,0±2,7	132,5±1,4	127,1±0,2
Косая длина туловища	167,5±5,1	155,1±4,1	169,5±6,3	160,9±3,9
Обхват груди	208,7±4,6	182,6±3,9	212,8±0,9	185,8±3,6
Обхват пясти	21,10±1,10	18,10±0,80	22,30±0,60	18,70±0,50
Живая масса, кг	761,50±23,30	4590±2,67	796,70±3,70	485,10±4,10

Из табл. 2 видно, что показатели экстерьера крупного рогатого скота калмыцкой породы за последние 30 лет изменились в лучшую сторону. Так, быки-производители в 2018 г. были крупнее по сравнению с 1988 г.: разница по высоте в холке составляла 1,6%, косой длине туловища – 1,2, обхвату груди – 1,9, обхвату пясти – 5,7% (P<0.95). Положительная динамика отмечалась и у коров. Разница по высоте в холке составляла 0,9%, косой длине туловища – 3,7, обхвату груди – 1,7, обхвату пясти – 3,3% (P <0,95).

Средняя живая масса быков-производителей в 2018 г. составляла 796,7±3,7 кг, что на

35,2 кг (4,6%) выше, чем в 1988 г. Аналогичная ситуация наблюдалась среди коров. Коровы в 2018 г. превосходили животных 1988 г. по живой массе на 26,1 кг (5,7%) (P<0,95).

Таким образом, сравнительный анализ живой массы и данных экстерьера крупного рогатого скота калмыцкой породы в 1988 и 2018 гг. показал, что разница между этими показателями статистически не достоверна.

С целью изучения и сравнения мясных качеств калмыцкого скота был проведен анализ показателей убоя животных в возрасте 18 месяцев (табл. 3).

Таблица 3

Показатели убоя животных в возрасте 18 месяцев
Indicators of the slaughter of animals at 18 months of age

Показатель	1988 г.	2018 г.
Средняя живая масса, кг	444,00±6,18	451,00±5,20
Масса парной туши, кг	251,30±8,00	254,40±1,30
Выход парной туши, %	56,50	56,40
Масса внутреннего сала, кг	15,40±1,60	18,90±0,70
Выход внутреннего сала, %	3,40	4,18
Убойная масса, кг	266,7	273,3
Убойный выход, %	59,9	60,58

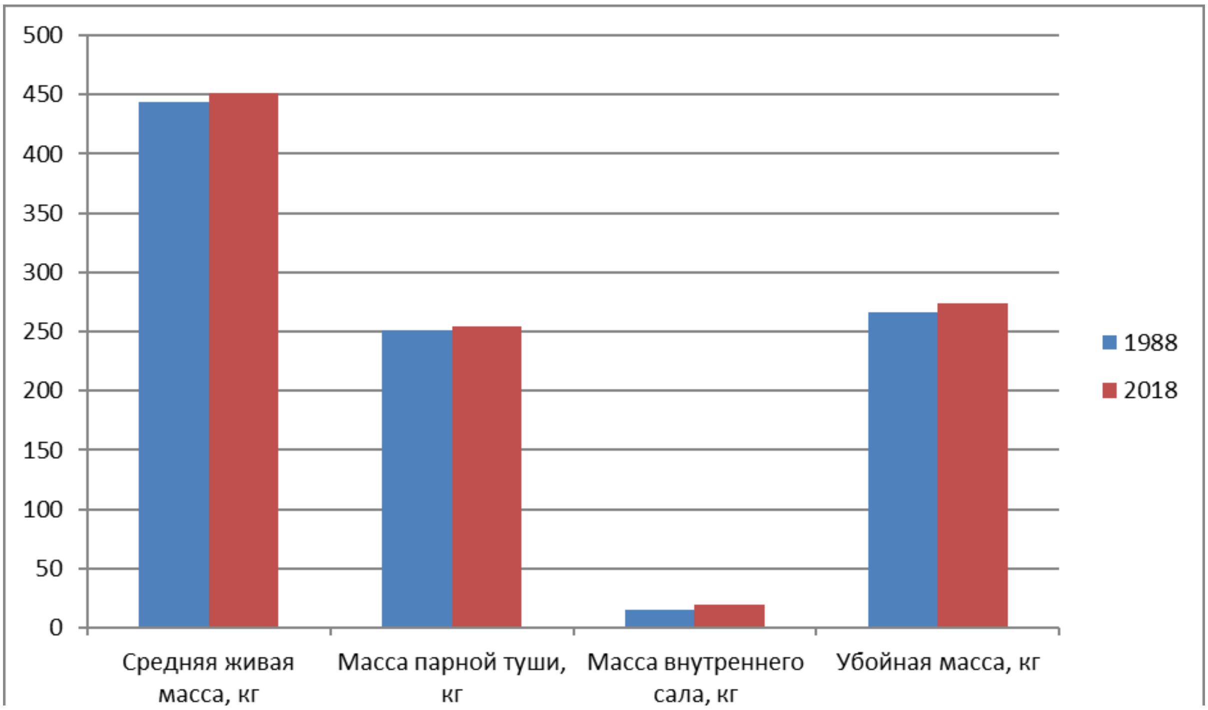


Рис. 1. Показатели убоя животных в возрасте 18 месяцев
Fig. 1. Indicators of the slaughter of animals at 18 months of age

Как видно из табл. 3 и рис.1, при анализе туш крупного рогатого скота калмыцкой породы в возрасте 18 месяцев в 2018 г. в сравнении с 1988 г. показатели убоя незначительно изменились: средняя живая масса возросла на 1,6%, масса парной туши – на 1,2, масса внутреннего сала – на 22,7, убойная масса – на 2,5%.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что мясной калмыцкий скот 2018 г. незначительно превосходит животных 1988 г. по экстерьерным и продуктивным показателям.

Был проведен также анализ частоты встречаемости антигенов у крупного рогатого скота калмыцкой породы в 1988 и 2018 гг. (рис. 2).

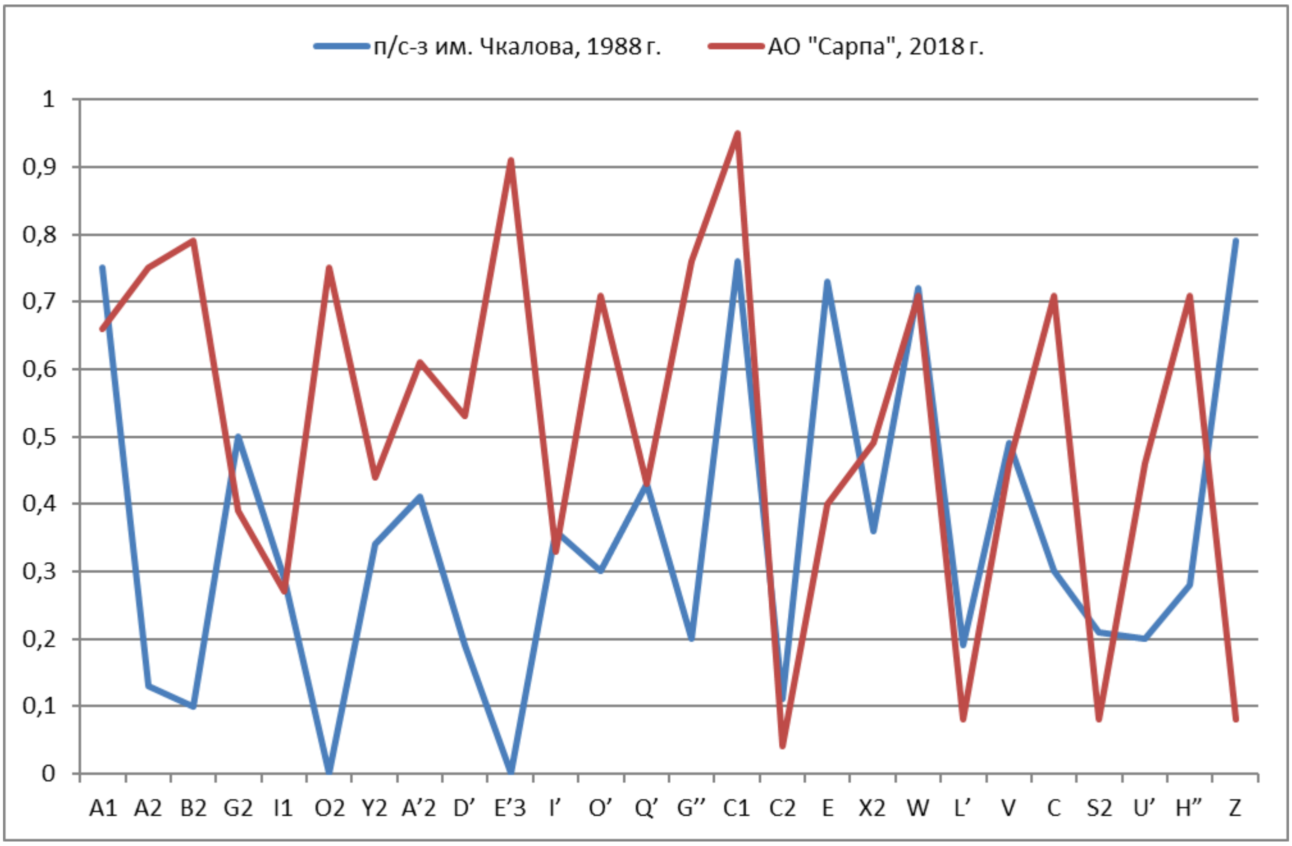


Рис. 2. Частота антигенных факторов групп крови крупного рогатого скота калмыцкой породы

Рис. 2. Частота антигенных факторов групп крови крупного рогатого скота калмыцкой породы

Анализ рис. 2 показывает, что генетическая структура калмыцкого скота с 1988 по 2018 г. значительно изменилась. Так, в системе ЕАА частота встречаемости антигена А1 снизилась с 75 до 66% (на 9%), тогда как встречаемость антигена А2 возросла с 13 до 75% (на 62%).

В системе ЕАВ снижение частоты встречаемости отмечается среди антигенов G2 с 50 до 39% (на 11%), I1 – с 29 до 27% (на 2%), I’ – с 36 до 33% (на 3%), а повышение наблюдалось у следующих антигенов: B2 – с 10 до 79% (на 69%), Y2 – с 34 до 44% (на 10%), A’2 – с 41 до 61% (на 10%), D’ – с 19 до 53% (на 34%), O’ – с 30 до 71% (на 41%), G’’ – с 20 до 76% (на 56%), при этом встречаемость антигена Q’ осталась неизменной – 43%. Антигены E’3 и O2 отсутствовали у животных в 1988 г., тогда как в 2018 г. они встречаются с наибольшей частотой – 75 и 91% соответственно.

Система ЕАС представлена шестью антигенами, из них частота встречаемости у двух антигенов – C1 и X2 увеличилась с 76 до 95 и с 36 до 49% соответственно, тогда как снижение этих показателей выявлено у антигенов C2 с 11 до 4% (на 7%), E – с 73 до 40% (на 33%), L’ – с 19 до 8% (на 11%). При этом можно отметить, что присутствие антигена W практически неизменно (снижение на 1% – с 72 до 71%).

Системы EAF и EAZ представлены по 1 антигену – V и Z, частота встречаемости которых снизилась: V – с 49 до 46% (на 4%), Z – с 79 до 8% (на 71%).

Снижение встречаемости одного антигена S2 отмечается и в системе EAS – с 21 до 8% (на 13%). При этом у других антигенов этот показатель увеличился: C – с 30 до 71% (на 41%), U’ – с 20 до 46% (на 26%), H’’ – с 28 до 71% (на 43%).

При сравнении увеличения и уменьшения частоты встречаемости антигенов между двумя племенными хозяйствами наблюдаются явные различия. Следовательно, мониторинг аллелофонда выявил, что изменение частот групп крови происходит по-разному, что свидетельствует о разнонаправленной селекции [18].

Расчет коэффициента генетического сходства между стадами племсовхоза им. Чкалова Кетченеровского района Калмыцкой ССР в 1988 г. и АО «Сарпа» Кетченеровского района

Республики Калмыкия в 2018 г. показал величину индекса, равную 0,7324, что указывает на их близкое родство.

ВЫВОДЫ

1. По данным исследования, за период с 1988 по 2018 г. произошло увеличение численности поголовья калмыцкого скота в среднем на 64%. Это связано с улучшением социально-экономических условий, которые привели к значительному росту числа племенных предприятий, занимающихся разведением чистопородного скота.

2. Сравнительный анализ результатов бонитировки и оценки мясной продуктивности показал, что калмыцкий скот в 2018 г. незначительно превосходит животных 1988 г. по всем показателям.

3. За 30 лет выявлены изменения в генетической структуре между популяциями крупного рогатого скота калмыцкой породы, что свидетельствует о стохастических изменениях частот в процессе разведения. Увеличение частоты встречаемости отмечалось у антигенов A2, B2, Y2, A’2, D’, O’, G’’, C1, X2, C, U’, H’’, при этом незначительные изменения отмечались у антигенов A1, G2, I1, Y2, I’, Q’, C1, X2, W, V.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№075-03-2022-119/1 «Особенности организации генома крупного рогатого скота мясных пород, ассоциированных с высоким адаптивным и продуктивным потенциалом, на основе высокополиморфных генетических маркеров»)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чонаева Г.В.* Перспективы развития животноводства юга России (на примере Республики Калмыкия) [Электронный ресурс] // Региональная экономика: теория и практика. – 2008. – № 10. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-zhivotnovodstva-yuga-rossii-na-primere-respubliki-kalmykiya (дата обращения: 23.10. 2022).
2. *Калмыцкая* порода скота в племенных хозяйствах России / Ф.Г. Каюмов, В.Н. Черномырдин, Л.А. Маевская, Л.Г. Сурундаева, С.С. Польских [Электронный ресурс] // Известия ОГАУ. – 2014. – № 5 (49). – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/kalmytskaya-poroda-skota-v-plemennyh-hozyaystvah-rossii (дата обращения: 23.10. 2022).
3. *Генетический* потенциал дикой фауны в создании новых селекционных форм животных / Ш.Н. Насибов, В.А. Багиров, П.М. Кленовицкий [и др.] [Электронный ресурс] // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 8. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskiy-potentsial-dikoy-fauny-v-sozdanii-novyh-selektsionnyh-form-zhivotnyh (дата обращения: 23.10. 2022)
4. *Калашников Н.А.* Мясная продуктивность бычков калмыцкой породы разных генотипов // Известия ОГАУ. – 2015. – № 2 (52). – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/myasnaya-produktivnost-bychkov-kalmytskoy-porody-raznyh-genotipov-1 (дата обращения: 23.10. 2022).
5. *Ailhaud G., Grimaldi P., N&grel R.* Cellular and molecular aspects of adipose tissue development // Annual Review of Nutrition. – 1992. – Vol. 12. – P. 207–233.
6. *Калмыцкий* скот / М.Б. Нармаев, А.П. Басангов, В.Э. Баринов [и др.]. – Элиста: ММП «БОТХН» («Верблюжонок»), 1992. – 256 с.
7. *Буваева Н.В.* Использование групп крови в селекции крупного рогатого скота калмыцкой породы: автореф. … канд. биол. наук. – Ставрополь, 2012. – 20 с.
8. *Гумеров У.Р., Исламова С.Г., Сахаутдинов И.Р.* Антигены групп крови как маркеры в селекции животных симментальской породы // Экология и селекция в племенном животноводстве: материалы Проблемного Совета Международной академии наук экологии и безопасности (МАНЭБ) / ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – Брянск, 2009. – С. 21 – 22.
9. *Бахарчиев Ш.З.* Использование иммуногенетических маркеров для повышения эффективности селекции крупного рогатого скота Дагестана: автореф. … канд. биол. наук. – Ставрополь, 2010. – 22 с.
10. *Nei M., Li W.-H.* Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1979. – Vol. 76. –P. 5269–5273.

11. *Генджиева О.Б., Моисейкина Л.Г., Киришов Э.А.* Генетическая экспертиза крупного рогатого скота калмыцкой породы // Ветеринария Кубани. – 2011. – № 6. – С. 28–31.
12. *Genetic* features of the cattle of Kalmyk breed / O.B. Gendzhieva, L.G. Moiseykina, N.V. Chimidova, A.Ya. Gendzhiev, A.V. Amalayeva // Materials of the III international research and practice conference. – Westwood, Canada, 2013. – Vol. II. – P. 20–25.
13. *Моисейкина Л.Г., Кленовицкий П.М.* Генетические основы современной селекции: учеб.-метод. пособие. – Изд. 2-е. – Элиста: Изд-во Калм. ун-та, 2012. – 63 с.
14. *Марзанов Н.С., Моисейкина Л.Г., Марзанова Л.К.* Использование групп крови в селекции овец: учеб. пособие. – Элиста: Калм. ун-т., 1999. – 56 с.
15. *Моисейкина Л.Г., Турдуматов Б.М.* Методы и оценки количественных признаков в животноводстве: учеб.-метод. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Элиста, 2011. – 80 с.
16. *Immunogenetic* Markers in Selection of Sheep / L. Skorykh, N. G. Starodubtseva, V. Khainovskii // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2017. – N 8(6). – P. 529–534.
17. *Бакай А.В., Кочиш И.И., Скрипниченко Г.Г.* Генетика. – М.: КолосС, 2007. – 448 с.
18. *Allele* Pool of Zonal Types of Kalmyk Cattle / L.G. Moiseykina, F.G. Kayumov, A.V. Ubushiyeva, S.L. Boskhayev, N.P. Gerasimov, Y.D. Kushch // Modern Journal of Language Teaching Methods. – Revista Publicando, Ecuador, 2018. – Vol. 8, Is. 12. – P. 621–628.

REFERENCES

1. Chonaeva G.V., *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2008, No. 10, available at: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-zhivotnovodstva-yuga-rossii-na-primere-respubliki-kalmykiya. (In Russ.)
2. Kayumov F.G., Chernomyrdin V.N., Maevskaya L.A., Surundaeva L.G., Pol'skikh S.S., *Izvestiya OGAU,* 2014, No. 5 (49), available at: https://cyberleninka.ru/article/n/kalmytskaya-poroda-skota-v-plemennyh-hozyaystvah-rossii. (In Russ.)
3. Nasibov Sh.N., Bagirov V.A., Klenovitskii P.M., Iolchiev B.S., Zinov'eva N.A., Voevodin V.A., Amirshoev F.S., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK,* 2010, No. 8, available at: https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskiy-potentsial-dikoy-fauny-v-sozdanii-novyh-selektsionnyh-form-zhivotnyh. (In Russ.)
4. Kalashnikov N.A., *Izvestiya OGAU,* 2015, No. 2 (52), available at: https://cyberleninka.ru/article/n/myasnaya-produktivnost-bychkov-kalmytskoy-porody-raznyh-genotipov-1. (In Russ.)
5. Ailhaud G., Grimaldi P., N&grel R., Cellular and molecular aspects of adipose tissue development, *Annual Review of Nutrition*, 1992, Vol. 12, pp. 207–233.
6. Narmaev M.B., Basangov A.P., Barinov V.E., Bugdaev I.E., *Kalmytskii skot* (Kalmyk cattle), Elista: MMP «BOTKhN» («Verblyuzhonok»), 1992, 256 p.
7. Buvaeva N.V., *Ispol'zovanie grupp krovi v selektsii krupnogo rogatogo skota kalmytskoi porody* (The use of blood groups in the selection of cattle of the Kalmyk breed), Extended abstract of candidates thesis, Stavropol', 2012 20 p.
8. Gumerov U.R., Islamova S.G., Sakhautdinov I.R. *Ekologiya i selektsiya v plemennom zhivotnovodstve: materialy Problemnogo Soveta Mezhdunarodnoi Akademii nauk ekologii i bezopasnosti (MANEB)*, Bryansk, 2009, pp. 21–22. (In Russ.)
9. Bakharchiev Sh.Z., *Ispol'zovanie immunogeneticheskikh markerov dlya povysheniya selektsii krupnogo rogatogo skota Dagestana* (The use of immunogenetic markers to improve the of cattle breeding in Dagestan) Extended abstract of candidates thesis, Stavropol', 2010, 22 p.
10. Nei M., Li W.-H., Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1979, Vol. 76, pp. 5269–5273.
11. Gendzhieva O.B., Moiseikina L.G., Kirishov E.A., *Veterinariya Kubani*, 2011, No. 6, pp. 28–31. (In Russ.)
12. Gendzhieva O.B., Moiseykina L.G., Chimidova N.V., Gendzhiev A.Ya., Amalayeva A.V., Genetic features of the cattle of Kalmyk breed, *Materials of the III international research and practice conference*, Westwood, Canada, 2013, Vol. II, pp. 20–25.

13. Moiseikina L.G. Klenovitskii P.M., *Geneticheskie osnovy sovremennoi selektsii (*Genetic foundations of modern breeding*)*, Elista: Izd-vo Kalm. un-ta, 2012, 63 p.
14. Marzanov N.S., Moiseikina L.G., Marzanova L.K., *Ispol'zovanie grupp krovi v selektsii ovets* (The use of blood groups in sheep breeding), Elista: Kalm. universitet., 1999, 56 p.
15. Moiseikina L.G., Turdumatov B.M., *Metody i otsenki kolichestvennykh priznakov v zhivotnovodstve* (Methods and evaluation of quantitative traits in animal husbandry), Elista, 2011, 80 p.
16. Skorykh L., N., Starodubtseva G., Khainovskii V., Immunogenetic Markers in Selection of Sheep, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2017, No. 8 (6), pp. 529–534.
17. Bakai A.V., Kochish I.I., Skripnichenko G.G., *Genetika* (Genetics), Moscow: KolosS, 2007, 448 p.
18. Moiseykina L.G., Kayumov F.G., Ubushiyeva A.V., Boskhayev S.L., Gerasimov N.P., Kushch Y.D., Allele Pool of Zonal Types of Kalmyk Cattle, *Modern Journal of Language Teaching Methods*, Revista Publicando, Ecuador, 2018, Vol. 8, Is. 12, pp. 621–628.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-175-182
УДК 636.39 (470.56)

ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЖНО-ВОЛОСЯНОГО ПОКРОВА КОЗ ОРЕНБУРГСКОЙ ПОРОДЫ РАЗНЫХ ТИПОВ

В.А. Панин, доктор сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, Оренбург, Россия

E-mail: oniish@yandex.ru

Ключевые слова: козоводство, продуктивность, пух, начес, шерстный покров, козы, оренбургская порода, тип, шкура.

Реферат. На сегодняшний день козоводство характеризуется интенсивным развитием, стремительным освоением технологий, активным повышением показателей продуктивности коз. Генетический потенциал коз пухового направления продуктивности позволяет увеличить производство продукции, но при этом имеются определенные сдерживающие факторы. Необходимо проведение исследований с целью выявления и отбора коз с максимальными показателями продуктивности. В статье приводятся результаты исследований, проведенных в природных климатических условиях Оренбургской области по изучению особенностей показателей кожно-волосяного покрова коз оренбургской породы разных типов (оренбургский, желательный и пуховый) для выработки методов усовершенствования продуктивных показателей коз и качества продукции козоводства. Исследования велись в СПК (колхоз) «Донской» Беляевского района Оренбургской области. Полученные в результате проведения исследования сведения, определяющие особенности показателей кожно-волосяного покрова и уровень продуктивных качеств в зависимости от индивидуальных генетических особенностей коз, позволят определить влияние типа шерстного покрова на показатели продуктивности, а также способствовать разработке способа отбора коз оренбургской породы с целью реализации их генетического потенциала при разведении. По результатам индивидуальной чески больший начес пуха получен от коз пухового типа. Они превосходили коз оренбургского типа по указанному показателю на 25,25%, сверстниц желательного типа – на 5,87, особи 2-й группы опережали сверстниц оренбургского типа на 20,58%. Установлено, что имеются определённые межгрупповые различия по показателям удлинения и растяжимости пуховых волокон.

PECULIARITIES OF SKIN AND INTEGUMENTARY PARAMETERS OF ORENBURG GOATS OF DIFFERENT TYPES

V.A. Panin, Doctor of Agricultural Sciences

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

E-mail: oniish@yandex.ru

Keywords: goat production, productivity, under hair -coat covering, goats, Orenburg breed, type, woolfell.

Abstract. Today, goat breeding is characterized by intensive development, the rapid development of technology, and an active increase in goat productivity. The genetic potential of under-hair goats allows to increase production, but certain limiting factors exist. Therefore, research is needed to identify and select goats with the highest productivity indicators. The article presents the results of research conducted in natural climatic conditions of the Orenburg region to study the peculiarities of skin and integumentary hands of goats of the Orenburg breed of different types (Orenburg, desirable and downy) to develop methods of improving the productive indicators of goats and the quality of goat breeding products. Studies were conducted in the Orenburg region’s agricultural production cooperative “Donskoy” Belyaevsky district. The resulting information determined the characteristics of the indicators of the skin and hairline and the level of productive qualities, depending on the individual genetic factors of goats. Also, this information will make it possible to determine the coat type’s effect on productivity indicators and contribute to developing a method for selecting Orenburg goats to realize their genetic potential during breeding. According to the results of individual chess, the authors received more under hair from down-type goats. They surpassed the Orenburg-type goats by 25.25% in this indicator, the desired type peers by 5.87%, and Group 2 individuals outperformed the Orenburg-type peers by 20.58%. Furthermore, it was found that there are specific intergroup differences in the elongation and tensile properties of down fibers.

На сегодняшний день животноводство характеризуется интенсивным развитием, стремительным освоением технологий, активным повышением продуктивности [1–3].

В настоящее время важное значение имеет комплексная характеристика генофонда и фенофонда животных [4–7].

Мониторинг динамики комплексных показателей фенофонда разных пород и видов сельскохозяйственных животных (активность ферментов, генетические полиморфные белковые системы, концентрация метаболитов, химические и цитогенетические показатели и др.) в процессе селекционно-генетической работы даёт возможность оценивать взаимосвязь между полиморфными генетическими системами и количественными признаками.

Для повышения племенных и продуктивных качеств животных необходимо использовать эффективные методы селекции [8].

Важной задачей в селекции животных является изучение фенофонда и генофонда пород. Исследование генетического полиморфизма сельскохозяйственных животных в настоящее время активно проводится с учетом климато-географических условий обитания пород. Особое внимание уделяется производству экологически чистой продукции. Это достигается путем анализа состояния воды, почвы, кормов, органов и тканей животных на концентрацию макро- и микроэлементов [9].

Технологии выращивания и эксплуатации (использования) продуктивных животных не должны вступать в конфликт с биологическими особенностями (требованиями) организма, т. е. должно быть обеспечено двуединое равновесие. Однако промышленное животноводство – это бизнес. А там, где бизнес, там и беспощадная эксплуатация животных, очень часто идущая вразрез с биологическими возможностями организма. Наступает ситуация, когда системы жизнеобеспечения функционируют выше пределов возможного. Особенно это касается системы обмена веществ, т. е. процессов ассимиляции, анаболизма. Комфортные условия содержания животных достигаются на основе требований (положений) основного биологического закона о единстве организма и условий его существования, т.е. в случае сынтегрированности всех звеньев, обеспечивающих промышленное выращивание животных [10].

Кожно-волосяной покров животных играет важную роль в физиологических особенностях организма, с ним связаны многие важнейшие его функции. Существенное влияние на формирование и структурные изменения кожно-волосяного покрова, наблюдаемые в возрастном аспекте, оказывают эколого-биологические факторы [11].

В целом товарные свойства волосяного покрова зависят не только от его высоты (длины) и густоты, но и мягкости, прочности, сминаемости, упругости, пышности, свойлачиваемости, цвета, цветостойкости, маркости, блеска [12,13].

Детальное исследование волокон шерстного покрова многих видов животных с точки зрения принадлежности волос конкретному животному проведено в 2011 г. Л.Ю. Лыхиной [14].

В период 1980–1990-х гг. и в настоящее время большое значение изучению свойств шкур сельскохозяйственных животных стали придавать индийские и китайские ученые [15–18].

Следует отметить, что оренбургская коза является уникальным животным, не имеющим аналогов в мире. Оренбургская порода коз обладает высокими показателями продуктивности, дает ценную продукцию, но в то же время биологические ресурсы коз оренбургской породы в современных экологических условиях используются не полностью [19, 20].

При этом важное значение имеет то, что козы превосходят овец по степени приспособленности к разным природно-климатическим условиям разведения. Разведение коз не требует каких-то особых технических и экономических условии, является одним из самых рентабельных производств, тесно связанных с использованием традиционных домашних хозяйств. Разведение коз в последнее время получило ускоренное развитие, ставшее своего рода увлечением вследствие особого склада этих животных, что в значительной степени сказалось на увеличении поголовья коз во многих животноводческих районах мира, за исключением нашей страны [21, 22].

Возможности приумножения показателей продуктивной результативности отрасли козоводства в условиях Оренбургского региона далеко не исчерпаны, что и обусловливает актуальность выполненного исследования.

Цель исследования – получение новых экспериментальных данных по отдельным показателям продуктивности и качества продукции оренбургских коз в зависимости от типа шерстного покрова.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами выполненного нами исследования явились пуховые козы оренбургской породы. Отобранные животные всех групп имели среднюю упитанность и были пронумерованы. Всего было обследовано 60 особей трех внутрипородных типов. Основные зоотехнические промеры и морфометрия проводились по общепринятой методике. Для проведения опыта были сформированы три группы коз по 20 голов в каждой: особи 1-й группы имели оренбургский тип шерстного покрова, животные 2-й группы – желательный тип, сверстницы 3-й группы – пуховый тип. Величину пуховой продуктивности определяли по результатам чески коз в возрасте 37 месяцев в два этапа. В процессе выполнения эксперимента были задействованы клинически здоровые козы (n=60).

Исследованы некоторые показатели продуктивности подопытных особей в зависимости типа шерстного покрова с направленностью допустимого повышения показателей продуктивности в зависимости от указанных показателей коз оренбургской породы в естественно-географических условиях Оренбургского региона. Место проведения исследований – СПК (колхоз) «Донской» Беляевского района Оренбургской области, Испытательный центр ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Исследование выполнено в соответствии с планом фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2019–2023 гг., ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0006). В ходе выполнения исследования использовалось оборудование ЦКП ФНЦ БСТ РАН.

С целью анализа количественных и качественных показателей пуховой продуктивности и особенностей показателей кожно-волосяного покрова коз применяли статистический метод, позволяющий оценить объективность данных исследования. Полученные при проведении исследования экспериментальные данные обработаны методом вариационной статистики на достоверность различия сравниваемых показателей с использованием критерия Стьюдента, принятым в биологии и зоотехнии, и программного комплекса Microsoft Office.

Эксперименты на животных проводились в соответствии с принципами Европейской конвенции по охране позвоночных животных, используемых для эксперимента или в иных научных целях. При выполнении исследований были приняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество используемых образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами в ходе исследования данные и их анализ показали, что по величине живой массы козы 1-й группы (оренбургский тип) превосходили коз 2-й группы (желательный тип) на 4,53%, 3-й группы (пуховый тип) – на 8,94%. Козы 2-й группы опережали коз 3-й группы на 4,24%. За период первой чески произошло снижение живой массы вследствие стресса и потери пуха во всех трех группах: в группе коз оренбургского типа – на 0,45 кг, у особей желательного типа – на 0,35, у коз пухового типа – на 0,30 кг, что обусловлено главным образом изменением физического состояния коз. Имевшиеся межгрупповые различия в показателях живой массы до начала первой чески хотя и уменьшились, но сохранялись после чески.

Таблица 1

Показатели отдельных свойств пуховых волокон и начеса пуха (X ± Sx)
Indicators of individual properties of down fibers and down combing (X ± Sx)

Показатель	Группа (тип)		
	1-я (оренбургский)	2-я (желательный)	3-я (пуховый)
Растяжимость, % / гс	9,55±0,23	9,15±0,26	9,05±0,23
Полное удлинение, %	45,95±0,30	46,75±0,32	46,55±0,23
Продуктивность, г	382,02±10,31	481,03±6,69	511,05±8,99

Массовую долю пуха, состояние и выход чистого волокна определяли лабораторными методами. По результатам индивидуальной чески выявлено, что больший начес пуха получен от коз пухового типа. Они превосходили коз оренбургского типа по указанному показателю на 25,25%, сверстниц желательного типа – на 5,87, особи 2-й группы опережали сверстниц оренбургского типа на 20,58%.

Установлено, что имеются межгрупповые различия по удлинению и растяжимости пуховых волокон, а также величине начёса (табл. 1). У пуховых волокон коз 1-й группы растяжимость составила 9,55%/гс, что на 0,40%/гс (4,4%) больше, чем у коз 2-й группы, и на 0,50%/гс (5,5%) – 3-й группы. Превосходство коз 2-й группы над ровесницами 3-й группы по данному показателю составило 0,10%/гс (1,1%). Разность в растяжимости пуховых волокон между козами всех групп статистически недостоверна. Следует отметить, что показатели растяжимости пуховых волокон во всех группах достаточно высокие.

Большее полное удлинение пуховых волокон отмечено у коз 2-й группы – 46,75%, что на 0,80% (1,7%) больше, чем у коз 1-й группы и на 0,20% (0,4%) – 3-й группы. Козы 3-й группы по данному признаку превосходили коз 1-й группы на 0,60% (1,3%). Разница в полном удлинении пуховых волокон между козами всех групп, так же как и их растяжимость, хотя и установлена, но статистически недостоверна.

Таким образом, максимальную растяжимость пухового волокна среди исследуемых особей разных типов имеют козы оренбургского типа шерстного покрова (1-я группа), что указывает на лучшее сопротивление их пуха растягивающему внешнему воздействию.

Шкура, снятая с коз, называется козлина. Она отличается от овчины более плотной дермой из-за лучшего развития соединительнотканных волокнообразных структур и более плотного их расположения. Взаимосвязь глубины залегания основной массы волосяных фолликулов в дерме, ее толщины и степени развития шерстного покрова, с одной стороны, и кожевенных качеств козлины – с другой, характеризуется отрицательной корреляцией. Установлена взаимозависимость показателей качества пуховых волокон, густоты шерстного покрова с развитием кожного покрова подопытных коз. В табл. 2 приведены показатели толщины шкуры и ее слоев исследуемых коз в зависимости от внутрипородного типа. Толщина эпидермиса у особей всех типов бала относительно одинаковой, с незначительным преобладанием указанного показателя у коз 3-й группы (пуховых). Меньшее значение показателя имели сверстницы 1-й группы.

Таблица 2

Показатели толщины шкуры и ее слоев исследуемых коз, мкм (X ± Sx)
Skin thickness indicators and its layers of the studied goats, μm (X ± Sx)

Слой кожи	Группа (тип)		
	1-я (оренбургский)	2-я (желательный)	3-я (пуховый)
Эпидермис	39,00 ± 0,49	39,90 ± 0,39	41,20 ± 0,43
Пилярный	1996,90 ± 2,14	1972,40 ± 1,26	1966,60 ± 2,32
Ретикулярный	821,20 ± 2,77	806,00 ± 3,31	790,70 ± 1,91
Кожа в целом	2857,10± 4,84	2818,30 ± 5,12	2798,50 ± 6,19

Показатель толщины пилярного слоя у коз оренбургского типа на 24,5 мкм больше в сравнении с особями желательного типа и на 30,3 мкм (1,52%) – со сверстницами пухового типа. Ретикулярный слой животных оренбургского типа (1-я группа) несколько отличался по своей толщине от коз желательного типа (2-я группа) – на 5,1 мкм и пухового типа (3-я группа) – на 30,5 мкм, или 3,71%. Толщина кожи в целом у коз оренбургского типа была на 38,8 мкм больше в сравнении с особями желательного типа и на 58,6 мкм, или 2,05%, – пухового типа. Имеющиеся разница в показателях толщины шкуры и отдельных ее слоев у особей разных внутрипородных типов связана с величиной пуховой продуктивности и качеством пуха и оказывает влияние на товарные свойства получаемых шкур (козлин). Более высокая живая масса подопытных коз 1-й группы соответствовала большей массе шкур, полученных от них.

При выполнении эксперимента установлено, что количество на 1 мм^2 шкуры первичных фолликулов у подопытных особей 2-й и 3-й групп несколько меньше (7,9 и 7,6) в сравнении с козами 1-й группы (8,5). Разница составляет 7,06 и 10,59% соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Количество волосяных фолликулов на 1 мм^2 шкуры (X ± Sx)
Number of hair follicles per 1 mm2 of skin (X ± Sx)

Фолликулы	Группа (тип)		
	1-я (оренбургский)	2-я (желательный)	3-я (пуховый)
Первичные	8,50±0,24	7,90±0,27	7,60±0,29
Вторичные развитые	69,40±0,31	74,50±0,37	77,30±0,26
Вторичные неразвитые	14,20±1,31	12,50±1,69	11,30±1,19
Суммарное количество волосяных фолликулов	92,10±0,74	94,90±0,83	96,20±0,56

Изучение количества вторичных развитых фолликулов на 1 мм^2 шкуры показало, что максимальное их число (значение) было у особей пухового типа– 77,3 на 1 мм^2, что на 2,8 на 1 мм^2, или 3,62%, больше в сравнении со сверстницами 2-й группы желательного типа и на 7,9 на 1 мм^2, или 10,22%, больше относительно коз оренбургского типа 1-й группы. Вторичные неразвитые волосяные фолликулы в противоположность развитым в большем количестве присутствовали в шкурах коз оренбургского типа – 14,2 на 1 мм^2, что на 1,7 шт. на 1 мм^2, или 11,97%, выше в сравнении со шкурами коз желательного типа и на 2,9 шт. на 1 мм^2, или 20,42%, со шкурами животных пухового типа. Суммарное количество волосяных фолликулов на 1 мм^2 шкуры подопытных особей по группам не имело больших различий и находилось в пределах в среднем от 92,1 до 96,2 шт. на 1 мм^2 шкуры. Тем не менее разница в указанном показателе существовала и составляла по группам 2,8 шт. на 1 мм^2 шкуры, или 2,95%, между 1-й и 2-й группами с большим их количеством в последней группе и 4,1 шт. на 1 мм^2 шкуры, или 4,26%, между 1-й и 3-й группами. Максимальным среди коз изучаемых типов суммарное количество волосяных фолликулов было в 3-й группе, а 2-я группа занимала промежуточное положение по изучаемому показателю среди двух других (1-я и 3-я).

Количество вторичных развитых фолликулов, от которых во многом зависит показатель величины пуховой продуктивности коз, определено более высоким в 3-й группе, начес пуха на одну голову в которой также был максимальным.

На показатель пуховой продуктивности, кроме количества волосяных фолликулов на 1 мм^2, шкуры оказывают влияние такие показатели, как диаметр фолликулов, глубина залегания и ширина их луковицы.

В табл. 4 приведен диаметр первичных и вторичных фолликулов коз подопытных групп. Из таблицы следует, что диаметр первичных фолликулов у особей оренбургского типа составил 149,8 мкм, что меньше, при статистически недостоверной разности, в сравнении с животными желательного типа на 2,3 мкм, или 1,51%, и также меньше относительно сверстниц пухового типа на 4,5 мкм, или 2,92% (разность статистически недостоверна). Подобная тенденция распределения диаметра фолликулов по подопытным группам отмечается и при изучении вторичных фолликулов. В 1-й группе он составил 61,4 мкм, что на 1,1 мкм, или 1,76%, меньше при сопоставлении со 2-й группой и на 1,9 мкм, или 3,00%, также меньше относительно 3-й группы. В дальнейшем при исследовании качества полученного пуха от подопытных животных установлено, что пух, полученный от коз оренбургского типа, был более тонким (15,9±0,26) при сопоставлении с пухом особей желательного и пухового типов. Следует отметить, что меньшая толщина (более тонкий пух) является положительным качеством коз оренбургской породы, определяет ее уникальность и позволяет вырабатывать известные во всем мире пуховые изделия.

Таблица 4

Диаметр фолликулов, мкм (X ± Sx)
Follicle diameter, µm (X ± Sx)

Фолликулы	Группа (тип)		
	1-я (оренбургский)	2-я (желательный)	3-я (пуховый)
Первичные	149,80±1,24	152,10±1,72	154,30±2,29
Вторичные	61,40±0,83	62,50±0,74	63,30±1,16

ВЫВОДЫ

1. Показатели продуктивности коз оренбургской породы более высокими были у особей пухового типа, которые опережали сверстниц оренбургского типа по начесу пуха на 25,25%, животных желательного типа – на 5,87%. Козы желательного типа имели более высокий начес пуха – на 20,58% в сравнении с ровесницами оренбургского типа.

2. Внутрипородный тип животного оказывает определенное влияние на гистологическое строение шкуры коз, что, в свою очередь, влияет на показатели пуховой продуктивности. Толщина шкуры в целом у коз оренбургского типа на 38,8 мкм больше в сравнении с особями желательного типа и на 58,6 мкм – пухового типа. Подтверждена взаимная связь показателей качества пуховых волокон, густоты шерстного покрова со степенью развития кожного покрова исследуемых коз.

3. Количество вторичных развитых фолликулов более высоким было у коз пухового типа – 77,3 на 1 мм^2, что на 2,8 на 1 мм^2, или 3,62%, больше в сравнении с животными желательного типа и на 7,9 на 1 мм^2, или 10,22%, – с козами оренбургского типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Акифьева Г.Е.* Питательная ценность заготавливаемых кормов // Актуальные проблемы АПК в Сибири. – Омск, 2013. – С. 3–6.
2. *Петрова М.Ю., Акифьева Г.Е., Косарева Н.А.* Зависимость молочной продуктивности коров красной степной породы от сбалансированности рационов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 4. – С. 150–156. – https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-150-156.
3. *Clark J.H.* Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. – Washington: National Academy Press, 2001. – 401 p.
4. *Исаева Д.А., Короткевич О.С.* Характеристика эдильбаевской породы овец Республики Казахстан // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 4. – С. 157–163. – https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-157-163.
5. *Биология*, генетика и селекция овцы / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск: НГАУ, 2010. – 524 с.
6. *Паронян И.А., Прохоренко П.Н.* Генофонд домашних животных России. – СПб.: Лань, 2008. – 352 с.
7. *Проблемы* селекции сельскохозяйственных животных / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. предпр. РАН, 1997. – 283 с.
8. *Валиева Е.Р., Унжакова А.А., Кочнев Н.Н.* Оценка влияния материнского генотипа на реализацию продуктивного потенциала голштинизированного скота в условиях Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 4(57). – С. 56–64. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-56-64.
9. *Ассоциация* генотипов β-лактоглобулина с некоторыми биохимическими показателями крови овец романовской породы / Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, В.А. Андреева [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 4(57). – С. 82–87. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-82-87.
10. *Единство* организма и условий его существования – основной биологический закон: прикладной аспект / П.Н. Смирнов, В.Б. Ермолик, О.С. Котлярова [и др.]. // Инновации и продовольственная безопасность. – 2020. – № 4(30). – С. 117–121. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-30-4-117-121.
11. *Мухиддинов А.Р., Камолов Н.Ш.* Особенности возрастных морфологических изменений кожно-волосяного покрова памирского экотипа яков, разводимых в горной зоне Северного Таджикистана // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 3. – С. 97–106. – https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-60-3-97106.
12. *Динамика* кожно-волосяного покрова крупного рогатого скота при адаптации их к ресурсосберегающей технологии / В.Ф. Позднякова, О.В. Соболева, И.А. Смирнова [и др.]. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 506.

13. *Мухиддинов А.Р., Бобоходжаев Р.И., Ниязова Р.К.* Изучение кожного покрова сельскохозяйственных животных в Таджикистане // Проблемы устойчивого развития производства пищевых продуктов в Центральной Азии: материалы 2-й Междунар. конф. ХПИ ТТУ. – Худжанд, 2013. – С. 142.
14. *Лыхина Л.Ю.* Определение вида животных по структуре волоса: автореф. дис. … канд. вет. наук. – Бишкек, 2011. – 23 с.
15. *Histology* of the skin with special reference to the of external cooling in calves / A.D. Patil [et al.] // Indian veter. J. – 1989. – Vol. 5. – P. 432–434.
16. *Saravanakumar V.R., Thiagarajan M.* Comparison of sweat glands, skin characters and heat tolerance among Murrah, Surti and non-descript // Indian J. Anim. Sci. – 1992. – Vol. 7. – P. 625–628.
17. *Singh S.P.* A few physiological parameters of yaks // Indian J. Animal Sci. – 1989. – Vol. 9. – P. 1108–1109.
18. *Cheng Peilien* (Zheng Pilin). Yak (types) Livestock breeds of China // FAO animal production and health paper. – Rome, 1984. – P. 96–108.
19. *Панин В.А.* Биологические ресурсы коз оренбургской породы и использование их в зоне освоенных целинных земель // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2004. – № 3(3). – С. 113–115.
20. *Панин В.А.* Хозяйственно-полезные качества коз Оренбургской породы // Региональная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов: сборник материалов: в 3 ч. – Оренбург, 7–9 февр. 2001 г. / Администрация Оренбург. обл. – Оренбург: Оренбург. гос. ун-т, 2001. – С. 98–99.
21. *Панин В.А.* Инновационное развитие козоводства в условиях часто повторяющихся засух // Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства в условиях часто повторяющихся засух: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летнему юбилею Оренбург. НИИ сел. хоз-ва: сб. науч. тр. – Оренбург, 2017. – С. 318–324.
22. *Панин В.А.* Некоторые показатели биоресурсного потенциала коз оренбургской породы // Доклады ТСХА: материалы международной научной конференции. – М., 2018. – С. 288–290.

REFERENCES

1. Akif'eva G.E., *Aktual'nye problemy APK v Sibiri*, Omsk, 2013, pp. 3–6. (In Russ.)
2. Petrova M.Ju., Akif'eva G.E., Kosareva N.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021 No. 4: pp. 150–156, https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-150-156 (In Russ.)
3. Clark J.H., Nutrient Requirements of Dairy Cattle: *Seventh Revised Edition, Washington*: National Academy Press, 2001, 401 p.
4. Isaeva D.A., Korotkevich O.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 4, pp. 157–163, https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-157-163 (In Russ.)
5. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petuhov V.L., Dimov G., Storozhuk S.I., *Biologiya, genetika i selekciya ovcy* (Biology, genetics and sheep breeding), Novosibirsk: NGAU, 2010, 524 p.
6. Paronjan I.A., Prohorenko P.N., *Genofond domashnih zhivotnyh Rossii* (Russian domestic animal gene pool), Sankt-Peterburg: Lan', 2008, 352 p.
7. Panov B.L., Petuhov V.L., Ernst L.K., Gudilin I.I. [i dr.], *Problemy selekcii sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe predpriyatie RAN, 1997, 283 p.
8. Valieva, E.R., Unzhakova A.A., Kochnev N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 4 (57), pp. 56–64, DOI 10.31677/2072-6724-2020-57-4-56-64. (In Russ.)
9. Klimanova E.A., Konovalova T.V., Andreeva V.A. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet),* 2020, No. 4 (57), pp. 82–87, DOI 10.31677/2072-6724-2020-57-4-82-87. (In Russ.)

10. Smirnov P.N., Ermolik V.B., Kotljarova O.S. [i dr.], *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'*, 2020, No. 4 (30), pp. 117–121, DOI 10.31677/2072-6724-2020-30-4-117-121. (In Russ.)
11. Mukhiddinov A.R., Kamolov N.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 3, pp. 97–106, https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-60-3-97106 (In Russ.)
12. Pozdnjakova V.F., Soboleva O.V., Smirnova I.A., Bravilova E.A., *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, No. 4, 506 p. (In Russ.)
13. Muhiddinov A.R., Bobohodzhaev R.I., Nijazova R.K., *Problemy ustoychivogo razvitiya proizvodstva pishchevykh produktov v Tsentral'noy Azii* (Problems of sustainable development of food production in Central Asia), Proceedings of the Conference, Khudzhand, 2013, 142 p. (In Russ.)
14. Lykhina L.Yu., Opredelenie vida zhivotnykh po strukture volosa (Determination of the type of animal by the structure of the hair), *Extended abstract of candidate´s thesis*, Bishkek, 2011, 23 p. (In Russ.)
15. Patil A.D. [et al.], Histology of the skin with special reference to the of external cooling in *Indian veter. J.,* 1989, No. 5, pp. 432–434.
16. Saravanakumar V.R., Thiagarajan M., Comparison of sweat glands, skin characters and heat tolerance among Murrah, Surti and non-descript *Indian J. Anim. Sci.,* 1992, No. 7, pp. 625–628.
17. Singh S.P., A few physiological parameters of yaks, *Indian J. Animal Sci*, 1989, No. 9, pp. 1108–1109.
18. Cheng Peilien (Zheng Pilin), Yak (types) Livestock breeds of China, *FAO animal production and health paper,* Rome, 1984, pp. 96–108.
19. Panin V.A., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2004, No. 3(3), pp. 113–115. (In Russ.)
20. Panin V.A., *Regional'naja nauchno-prakticheskaja konferencija molodyh uchenyh i specialistov: Sbornik materialov v 3-h chastjah*, (Regional and practical conference of young scientists and specialists: Collection of materials in 3 parts, Orenburg, 07-09 February 2001, Administration of the Orenburg region), Orenburg, 2001, pp. 98–99. (In Russ.)
21. Panin V.A., *Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitija sel'skogo hozjajstva v uslovijah chasto povtorjajushhihsja zasuh.* support of innovative development of agriculture in conditions of frequent droughts), Materials of the international and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Orenburg Research Institute of Agriculture: collection of g, 2017, pp. 318–324. (In Russ.)
22. Panin V.A. *Doklady TSHA* (Reports of the TSHA), Materials of the international conference, Moscow, 2018, pp. 288–290. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-183-196
УДК 631.22

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ОТКОРМОЧНЫХ СВИНЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ МОДУЛЕ

И.Е. Плаксин, кандидат технических наук

А.В. Трифанов, кандидат технических наук, доцент

В.И. Базыкин

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: trifanovav@mail.ru

Ключевые слова: свиноводство, технологический модуль, откорм, продуктивность.

Реферат. Ввиду высокой интенсивности и рентабельности производства свиноводство является привлекательным видом деятельности как для крупных сельскохозяйственных предприятий, так и для фермерских хозяйств. Однако на сегодняшний день весь рост производства приходится на крупные свинофермы и комплексы. Доля мелкотоварных предприятий ежегодно сокращается ввиду отсутствия современных наукоемких технико-технологических и планировочных решений, обеспечивающих снижение трудозатрат и максимальное использование генетического потенциала животных. Для решения обозначенной проблемы авторами статьи был разработан проект и изготовлен опытный образец технологического модуля для откорма свиней. Срок откорма свиней составлял 100 дней с трехмесячного возраста. Исследования показали, что среднесуточные приросты варьировали от 520 до 906 г, а коэффициент конверсии корма – от 3,05 до 3,6 в зависимости от периода года. Затраты воды, электроэнергии и труда, необходимые для набора животными 1 кг живой массы, изменялись в диапазонах 6,54–8,25 л/кг, 0,028–0,069 кВт·ч/кг и 0,031-0,064 чел.-ч/кг соответственно. Содержание вредных газов таких как CO_2, NH_3, H_2S, в целом соответствовало предельно допустимым концентрациям, за исключением некоторых временных промежутков в холодное время года, поэтому была предложена установка дополнительной принудительной системы отвода воздуха в данный период. Эффективность использования разработанного технологического модуля на мелкотоварных предприятиях, исходя из полученных технико-экономических показателей, сопоставима с показателями крупных свиноводческих предприятий.

RESULTS OF RESEARCH ON THE PRODUCTIVITY OF FATTENING PIGS IN THE TECHNOLOGICAL MODULE

I.E., Plaksin, Ph.D. in Technical Sciences

A.V. Trifanov, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor

V. I. Bazykin

Institute of Agroengineering and Ecological Problems of Agricultural Production Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russia

E-mail: trifanovav@mail.ru

Keywords: pig farming, process module, fattening, productivity.

Abstract. Due to the high intensity and profitability of production, pig breeding is an engaging activity for both large agricultural enterprises and farms. Today, however, all the production growth comes from large pig farms and complexes. The share of small-scale farms decreases annually due to the need for modern science-intensive technical and technological planning solutions that reduce labor costs and maximize the use of animal genetic potential. To solve this problem, the authors have developed a project and manufactured a prototype of a technological module for fattening pigs. The fattening period of pigs was 100 days from the age of three months. Studies showed that average daily gains ranged from 520 to 906 g and feed conversion ratio from 3.05 to 3.6 depending on the year. The consumption of water, electricity, and labor required for animals to gain 1 kg of live weight varied in the range of 6.54-8.25 liters/kg, 0.028-0.069 kWh/kg, and 0.031-0.064 person-hours/kg, respectively. The content of harmful gases such as CO2, NH3, and H2S generally complied with the maximum permissible concentrations, except for some time intervals during the cold season, so it was proposed to install an additional forced air extraction system during this period. The effectiveness of using the developed technological module on small-scale commercial enterprises, based on the obtained technical and economic indicators, is comparable to the hands of large pig farms.

Свиноводство – отрасль животноводства, занимающаяся селекцией, свиней их разведением, убоем и реализацией готовой продукции, такой как свинина, свиные субпродукты и свиной шпиг. Производство свиноводческой продукции на сегодняшний день не зависит от земельных ресурсов, так как работает в основном на закупаемых комбикормах [1]. Данная отрасль животноводства является привлекательной как для крупных сельхозпроизводителей, так и для мелкотоварных фермерских хозяйств, поскольку характеризуется высокой интенсивностью производства, многоплодием животных, высоким среднесуточным приростом по стаду, низким коэффициентом конверсии корма, а также высоким убойным выходом.

Мировое производство свинины к концу 2021 г. достигло 100 млн т, основная часть общего объема производства, более 46%, приходится на Китай. По дальнейшим прогнозам, отрасль свиноводства будет только расти, так как ежегодно увеличивается спрос на свинину. В России к концу 2021 г. наблюдалось увеличение спроса на свинину на 4–4,5 % по сравнению с 2020 г. Стимулом к увеличению потребительского спроса является снижение оптовых и розничных цен на 8–10%. Но высокие темпы роста производства, составляющие более 7%, ежегодно наблюдаются только на крупных свиноводческих предприятиях, в секторе фермерских хозяйств и хозяйств населения, напротив, отмечается стагнация, и доля их в производстве свинины в России не превышает 10% [2].

Сокращение мелкотоварного производства свинины наблюдается на фоне распространения африканской чумы свиней (АЧС), использования неэффективных технологий выращивания животных, отсутствия средств механизации и автоматизации производственных процессов, проблем с реализацией произведенной продукции [3].

Однако помимо производства продукции мелкотоварные свиноводческие предприятия выполняют ряд важных социально-демографических функций, таких как создание рабочих мест в деревнях, а также сохранение и развитие сельских территорий страны. Кроме того, производственная мощность малых свиноводческих хозяйств позволяет утилизировать образующийся в ходе ведения деятельности навоз согласно нормам внесения органических удобрений на гектар, что обеспечивает снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду. Немаловажно, что мелкотоварные предприятия по сравнению с крупными свиноводческими комплексами имеют возможность производить органическую продукцию ввиду малой плотности поголовья.

К сожалению, существующие на сегодняшний день технико-технологические и планировочные решения производственных зданий не позволяют полностью реализовать генетический потенциал животных, а также не позволяют получить необходимый для ведения деятельности компартмент свиноводческого предприятия.

Использование неэффективных технологий выращивания свиней, предусматривающих высокий процент ручного труда, способствует увеличению стрессовых ситуаций, а также быстрому распространению инфекционных заболеваний. Подтверждением данных выводов является быстрое распространение африканской чумы свиней в Китае, где порядка 55% производства свиноводческой продукции приходилось на мелкотоварные предприятия. Только за 2019 г. поголовье свиней сократилось более чем на 30% и, по дальнейшим прогнозам, данная тенденция будет сохраняться.

Учитывая важную социально-экономическую роль мелкотоварных свиноводческих предприятий, авторами статьи был разработан и изготовлен опытный образец производственного здания, представляющего собой технологический модуль для откорма свиней, технически оборудованный по типу крупных свиноводческих предприятий (рис.1).

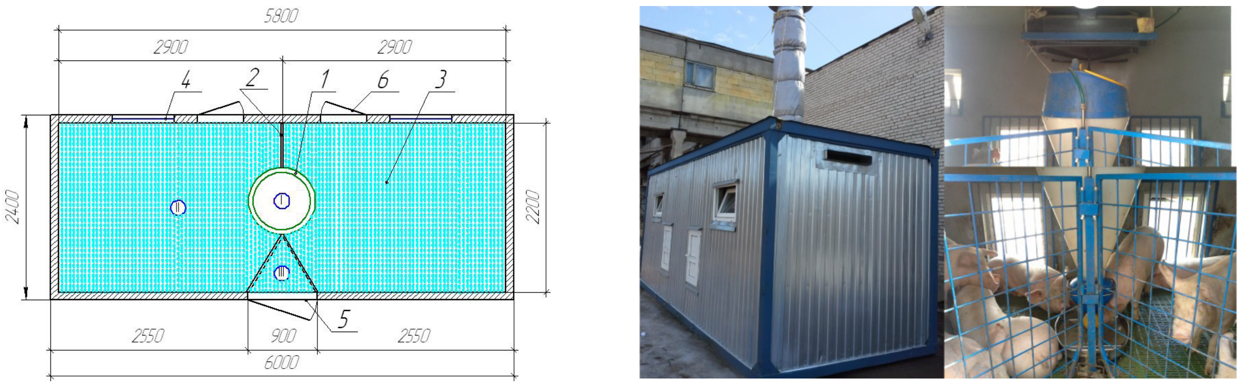


Рис. 1. Технологический модуль для откорма свиней:
I – зона кормления поросят; II – зона отдыха поросят; III – зона технологического обслуживания поросят; 1 – кормушка бункерного типа со встроенными ниппельными поилками; 2 – стойловое ограждение; 3 – щелевой пол; 4 – окно форточного типа; 5 – дверь; 6 – лаз
Fig.1. Technological module for fattening pigs:
I — piglet feeding area; II — piglet rest area; III — zone of technological service for piglets; 1 — bunker-type feeder with built-in nipple drinkers; 2 — stall fencing; 3 — — window type window; 5 — door; 6 – manhole

Цель исследований – определение среднесуточных приростов, коэффициента конверсии корма, затрат воды, электроэнергии и труда, необходимых для набора животными 1 кг живой массы, степени загрязненности станков, а также содержания в воздухе вредных газов за теплый, переходный и холодный периоды года.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методикой исследований предусматривался контроль следующих параметров: среднесуточные приросты, суточное и общее потребление кормов, суточное и общее потребление воды, затраты электроэнергии и труда, загрязненность станков, температура и влажность воздуха внутри технологического модуля, а также содержание углекислого газа (CO_2), аммиака (NH_3) и сероводорода (H_2S) в воздухе производственного помещения.

Определение обозначенных параметров осуществлялось при помощи использования метода пассивного эксперимента, подразумевающего сбор и анализ получаемой информации без изменений входных параметров осуществляемого процесса.

На основе полученных данных были определены следующие показатели: коэффициент конверсии корма, а также затраты воды, электроэнергии, труда для набора животными 1 кг живой массы.

Выражения для определения приведенных показателей идентичны и имеют вид:

– определение средних значений приведенных показателей (X_c):

$$X_c = \frac{Y_o}{\text{Т}}, \tag{1}$$

где Y_o – общие фактические затраты кормов, воды, электроэнергии и труда; Т – продолжительность откорма, сут;

– определение среднесуточных затрат искомых показателей, приходящихся на каждое животное ($X_{\text{с.г.}}$):

$$X_{\text{с.г.}} = \frac{X_c}{n}, \tag{2}$$

где n – количество свиней на откорме, гол.;

– определение коэффициента конверсии корма, а также затрат воды, электроэнергии и труда, необходимых для набора животными 1 кг живой массы ($X_{\text{кг}}$):

$$X_{\text{кг}} = \frac{X_{\text{с.г.}}}{\Delta m}, \tag{3}$$

где Δm – показатель среднесуточных приростов свиней в технологическом модуле, кг.

Степень загрязненности станков определялась в относительном выражении и рассчитывалась как отношение загрязненной площади к общей площади станка.

Определение параметров внутреннего воздуха технологического модуля, таких как температура, влажность, а также газового состава осуществлялось при помощи аспирационного психрометра и ручного пробоотборника с индикаторными трубками на углекислый газ (CO_2), аммиак (NH_3) и сероводород (H_2S).

Исследования проводились круглогодично. Определение контролируемых параметров осуществлялось зонально в центре каждого станка. Зона I – зона отдыха животных от 0 до 0,9 м от щелевого пола, зона II – зона активности животных от 0,9 до 1,5 м от щелевого пола, зона III – зона дыхания оператора от 1,5 до 1,8 м (рис. 2).

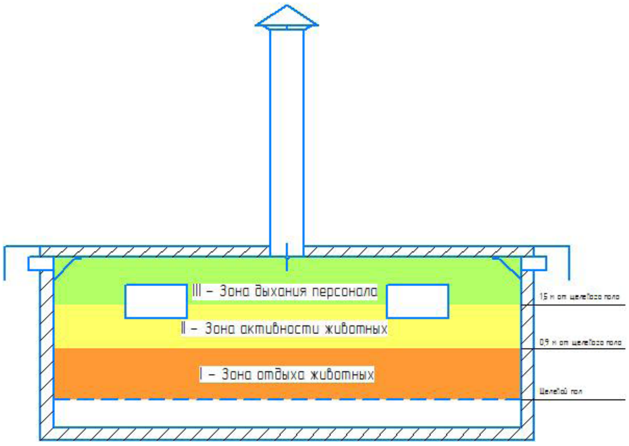


Рис. 2. Расположение зон определения контролируемых параметров
Fig. 2. Location of zones for determining controlled parameters

Опытно-производственная проверка технологического модуля для откорма свиней проводилась на свиноводческих предприятиях различной производственной мощности – от 60 до 54000 откормочных свиней в год.

Постановка свиней на откорм осуществлялась при живой массе свиней от 35 до 39 кг. Для кормления животных использовался сбалансированный комбинированный корм, состав которого менялся в зависимости от возраста животных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведение исследований в технологическом модуле осуществлялось круглогодично в температурном диапазоне от –7,2 до 21,8°С. Возраст животных при постановке на откорм составлял 90 дней. Доступ к кормам и воде предоставлен круглосуточно. Для утилизации навоза из модуля применялась самотечная система ванно-трубного типа периодического действия, подразумевающая содержание животных на щелевом полу. Для освещения в модуле предусмотрены как естественные источники света – окна форточного типа, так и искусственные – диодные светильники. Животных обслуживал один оператор, осуществляющий загрузку кормов, заправку водонакопительного бака, опорожнение навозоприемной ванны. Продолжительность откормочного цикла составляла 100 дней.

Динамика прироста живой массы, потребления кормов, воды, трудозатрат в зависимости от срока откорма представлена на рис. 3–6. Были определены также общие затраты электроэнергии за цикл откорма свиней для теплого, переходного и холодного периодов года, составившие 74; 103,5 и 48 кВт·ч соответственно.

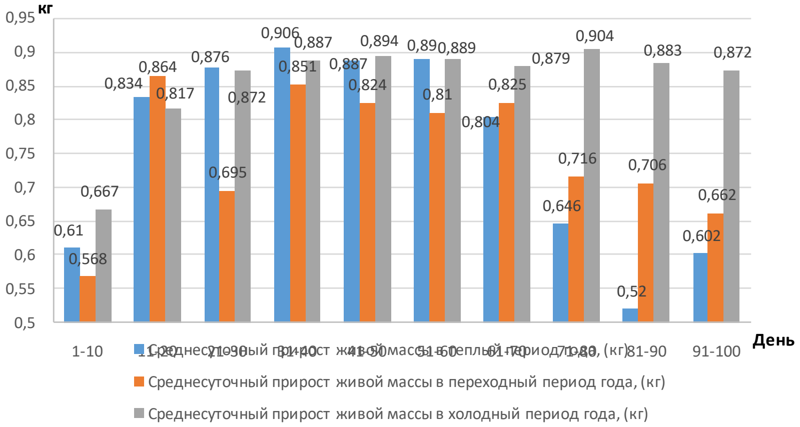


Рис. 3. График изменения среднесуточных приростов в зависимости от срока откорма для каждого периода года
Fig. 3. Graph of changes in average daily gains depending on the fattening period for each period of the year

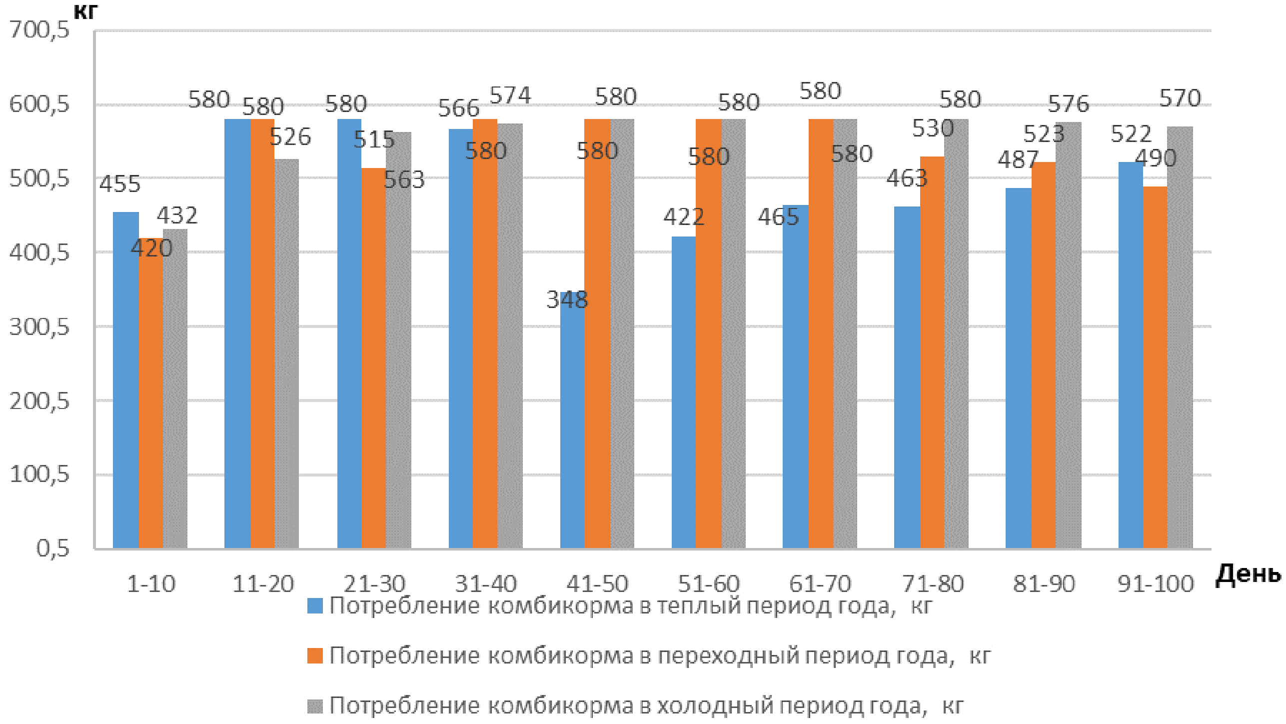


Рис. 4. График изменения потребления кормов в зависимости от срока откорма для каждого периода года
Fig. 4. Graph of changes in feed consumption depending on the fattening period for each period of the year

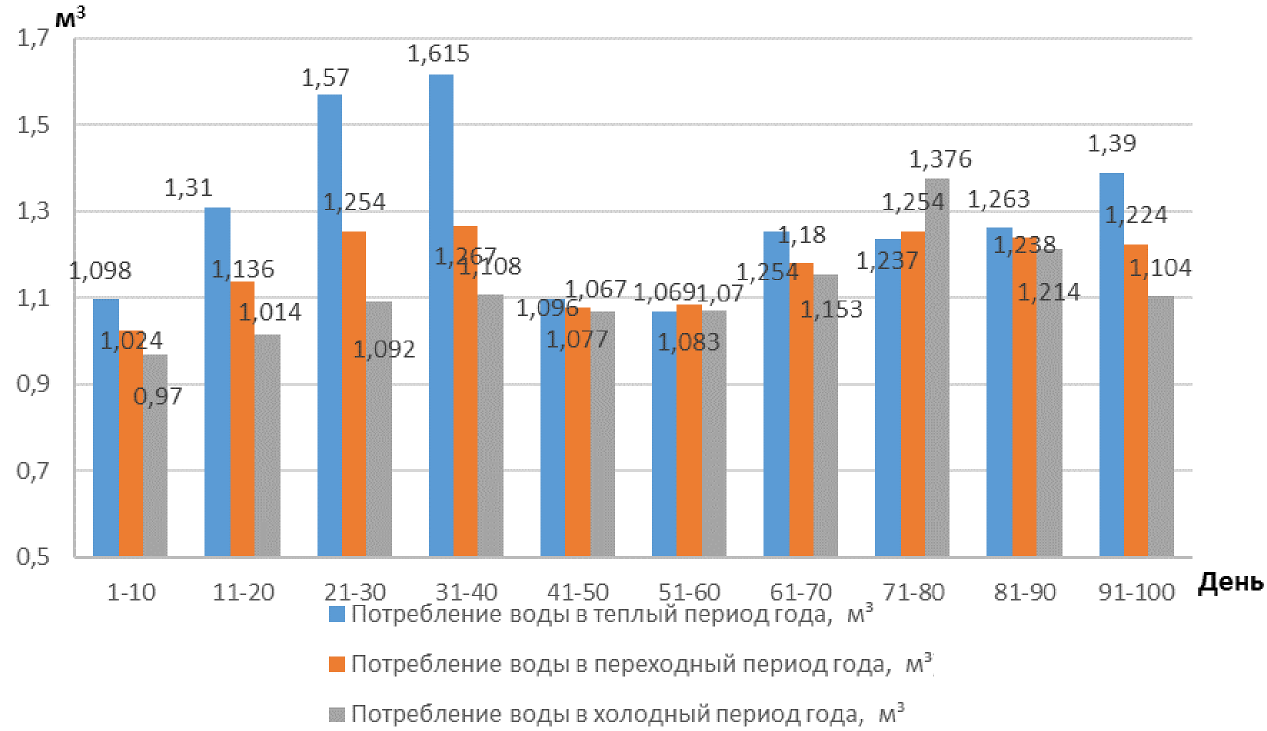


Рис. 5. График изменения потребления воды в зависимости от срока откорма для каждого периода года
Fig. 5. Graph of changes in water consumption depending on the fattening period for each period of the year

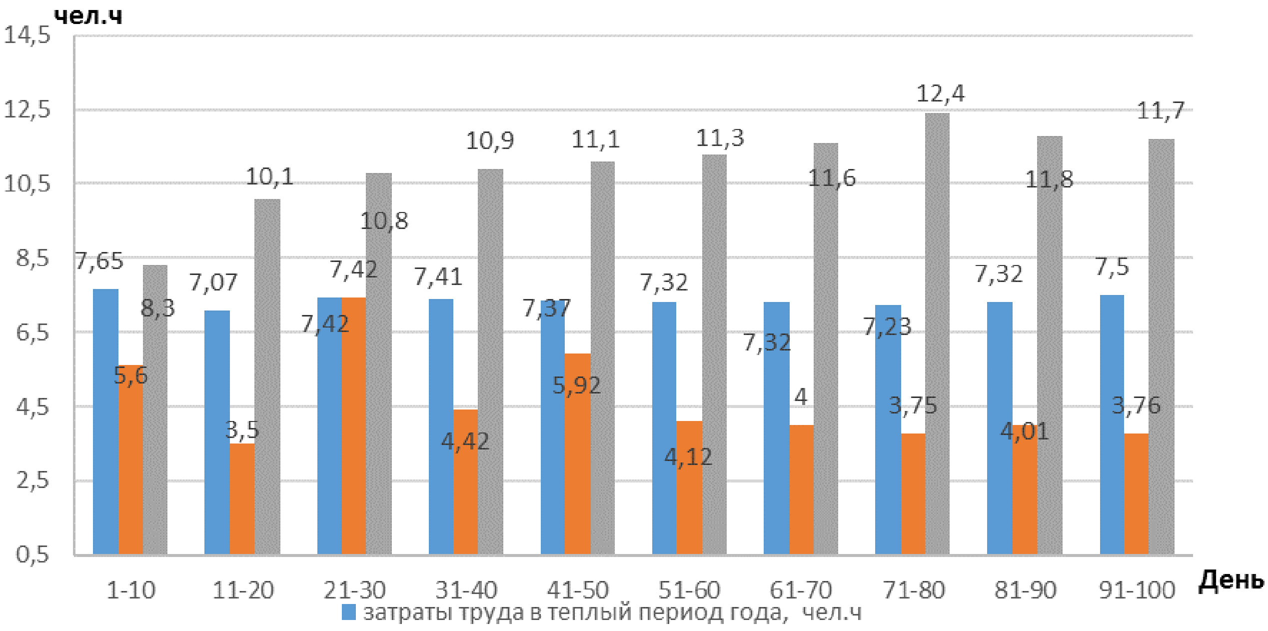


Рис. 6. График изменения затрат труда в зависимости от срока откорма для каждого периода года
Fig. 6. Graph of changes in labor costs depending on the fattening period for each period of the year

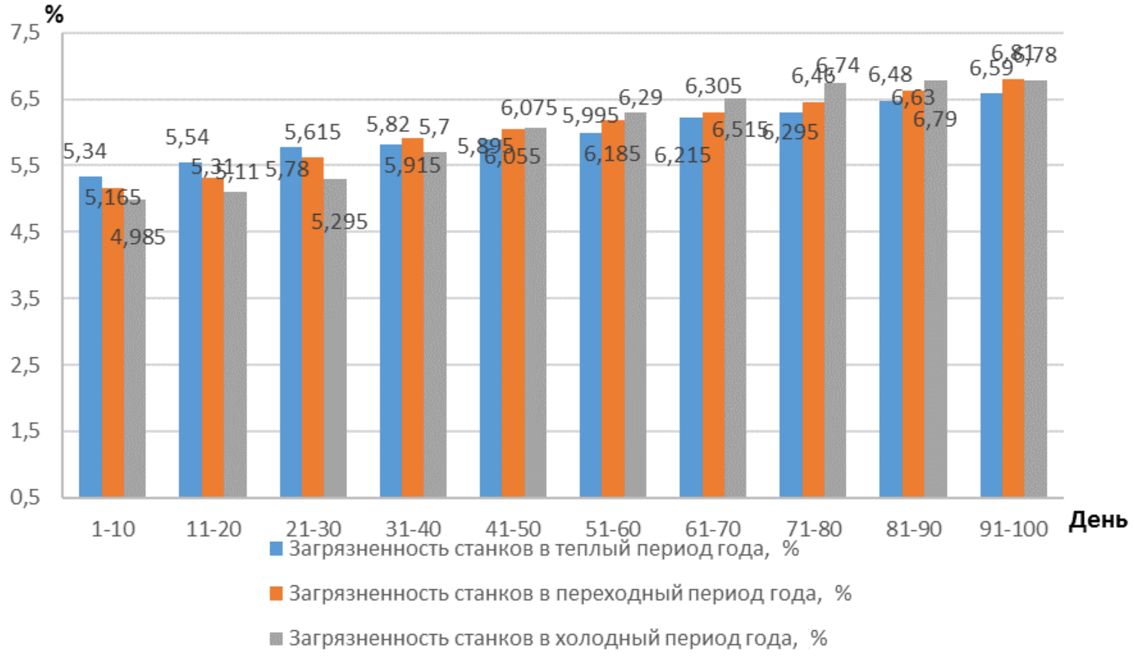


Рис. 7. График изменения загрязненности станков в зависимости от срока откорма для каждого периода года
Fig. 7. Graph of changes in weediness of machines depending on the fattening period for each period of the year

На рис. 7 представлен график изменения загрязненности станков в зависимости от срока откорма для каждого периода года.

Изменение температуры наружного воздуха и температуры в каждой из зон технологического модуля, а также среднее значение влажности приведено на рис. 8–10.

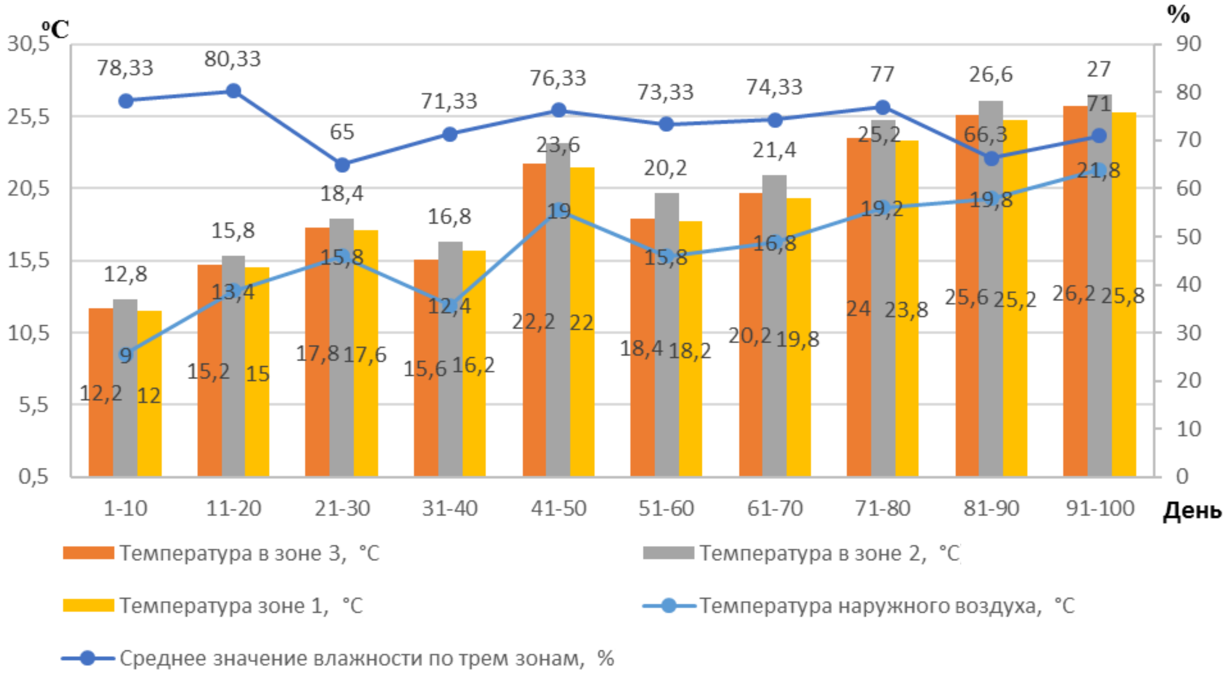


Рис. 8. График изменения температуры наружного воздуха, температуры трех зон внутри технологического модуля, а также влажности в теплый период года

Fig. 8. Graph of changes in the outdoor air temperature, the temperature of the three zones inside the technological module, and features in the year’s warm period.

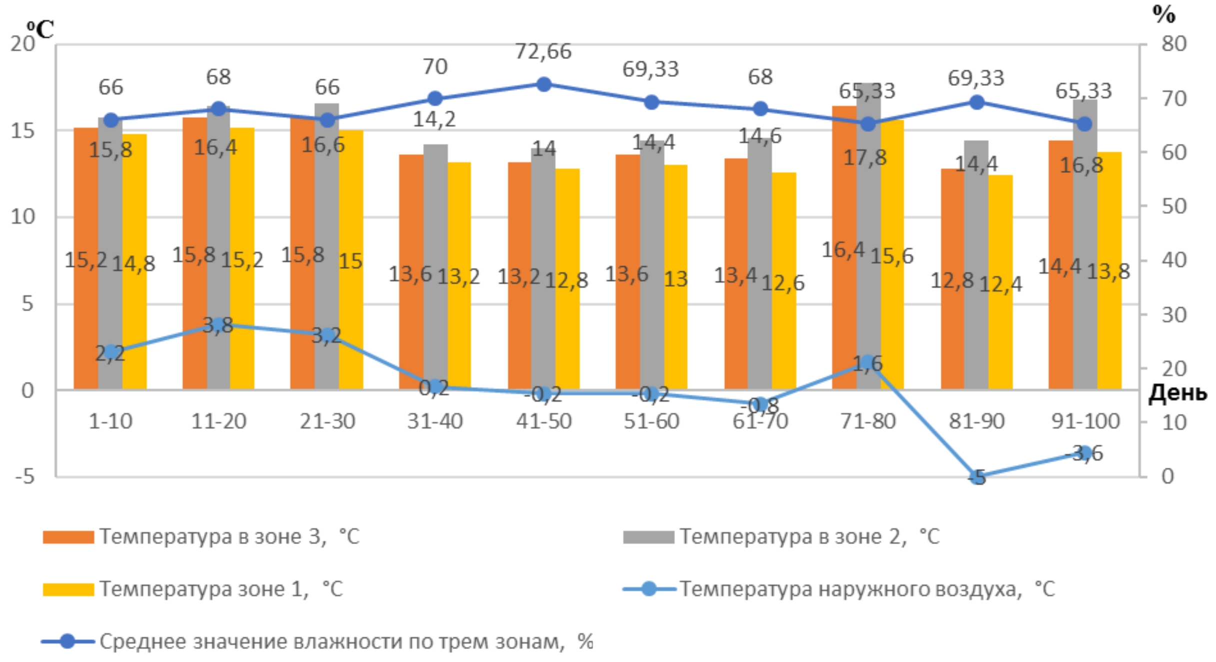


Рис. 9. График изменения температуры наружного воздуха, температуры трех зон внутри технологического модуля, а также влажности в переходный период года

Fig. 9. Graph of changes in outdoor air temperature, the temperature of three zones inside the technological module, as well as humidity during the transitional period of the year

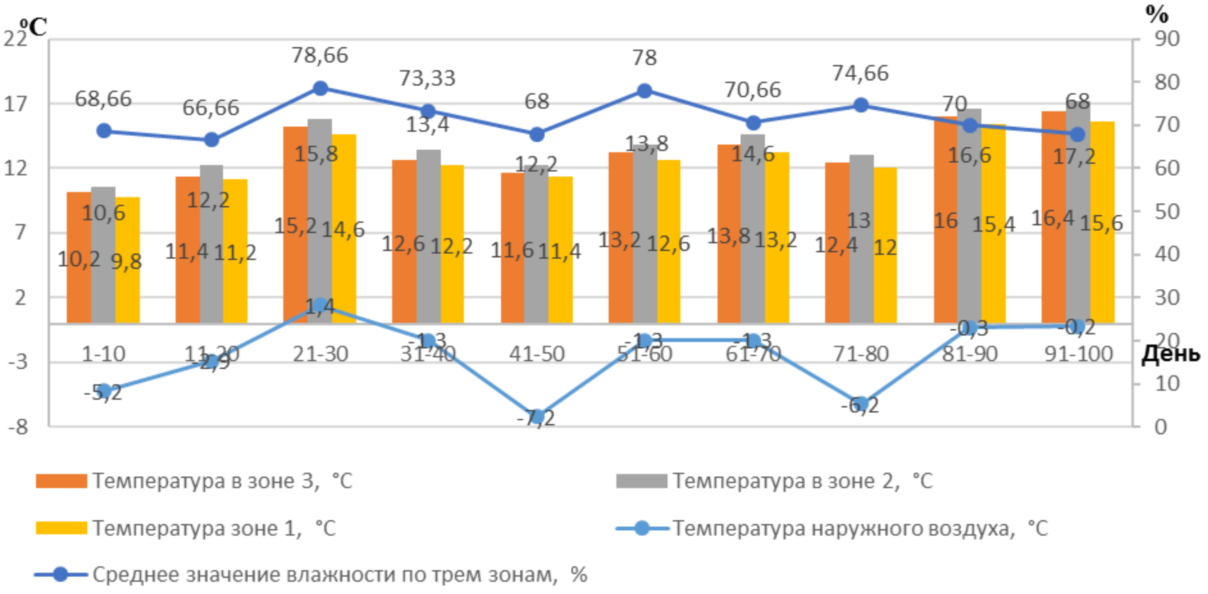


Рис. 10. График изменения температуры наружного воздуха, температуры трех зон внутри технологического модуля, а также влажности в холодный период года

Fig. 10. Graph of changes in outdoor air temperature, the temperature of three zones inside the technological module, as well as humidity during the cold season

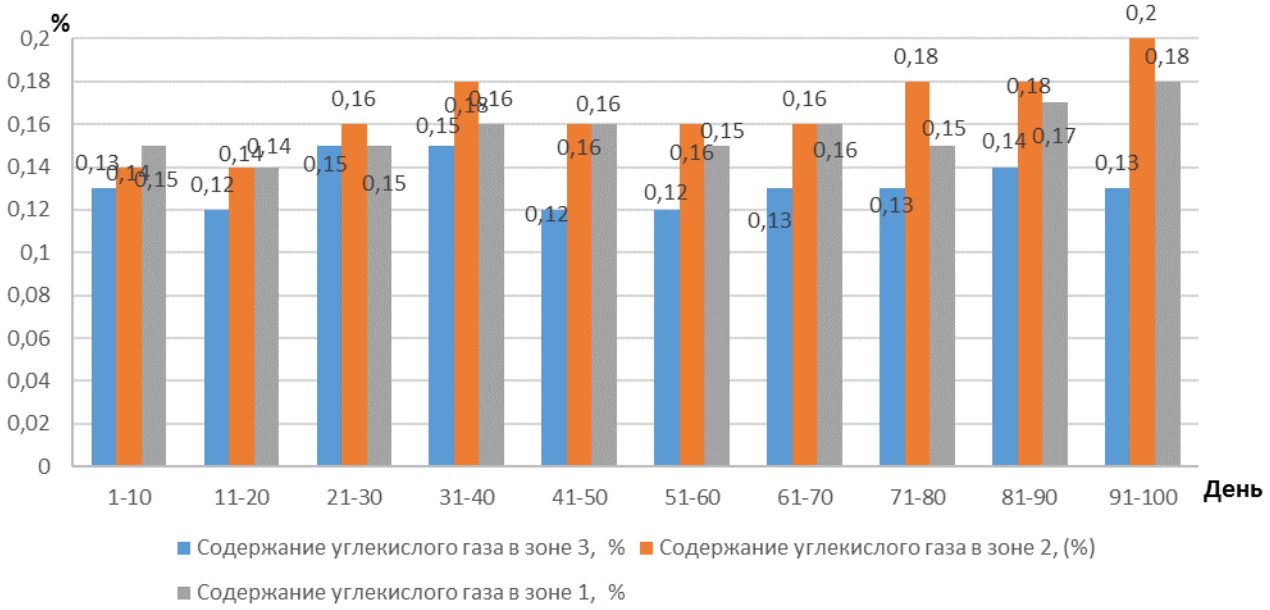


Рис. 11. График содержания углекислого газа в исследуемых зонах технологического модуля в теплый период года

Fig. 11. Graph of carbon dioxide content in the studied areas of the technological module during t he warm period of the year

За период проведения исследований газового состава воздуха в технологическом модуле во всех трех зонах был обнаружен только углекислый газ, показатели содержания которого по трем периодам года представлены на рис. 11–13.

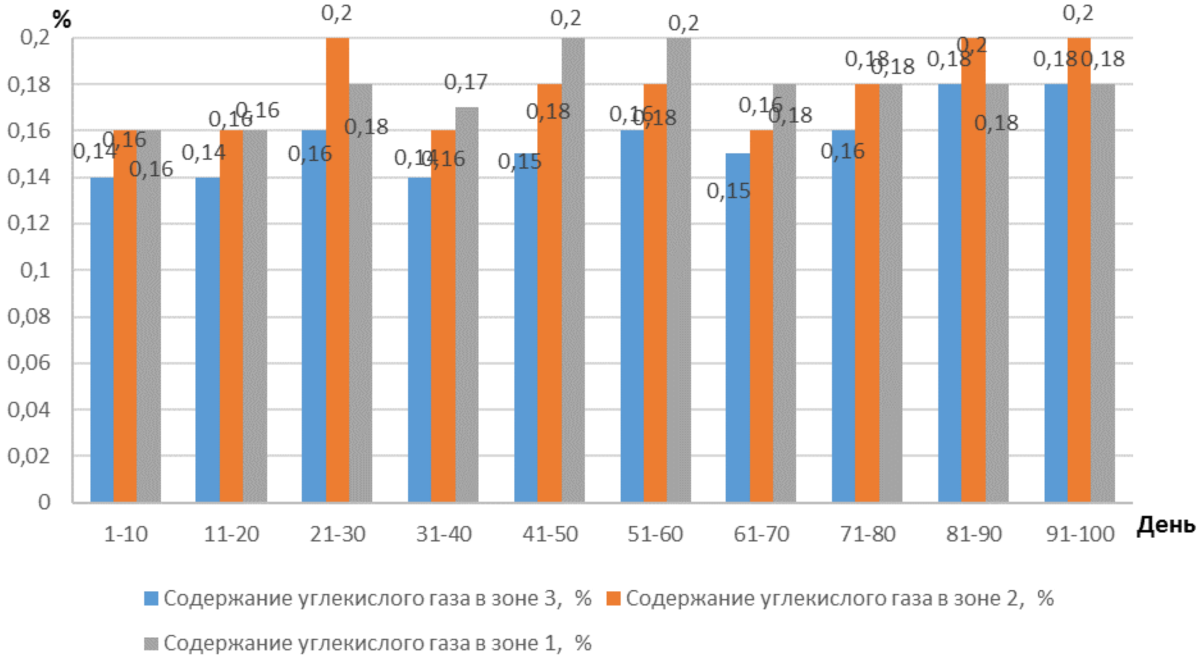


Рис. 12. График содержания углекислого газа в исследуемых зонах технологического модуля в переходный период года

Fig. 12. Graph of carbon dioxide content in the studied areas of the technological module during the transitional period of the year

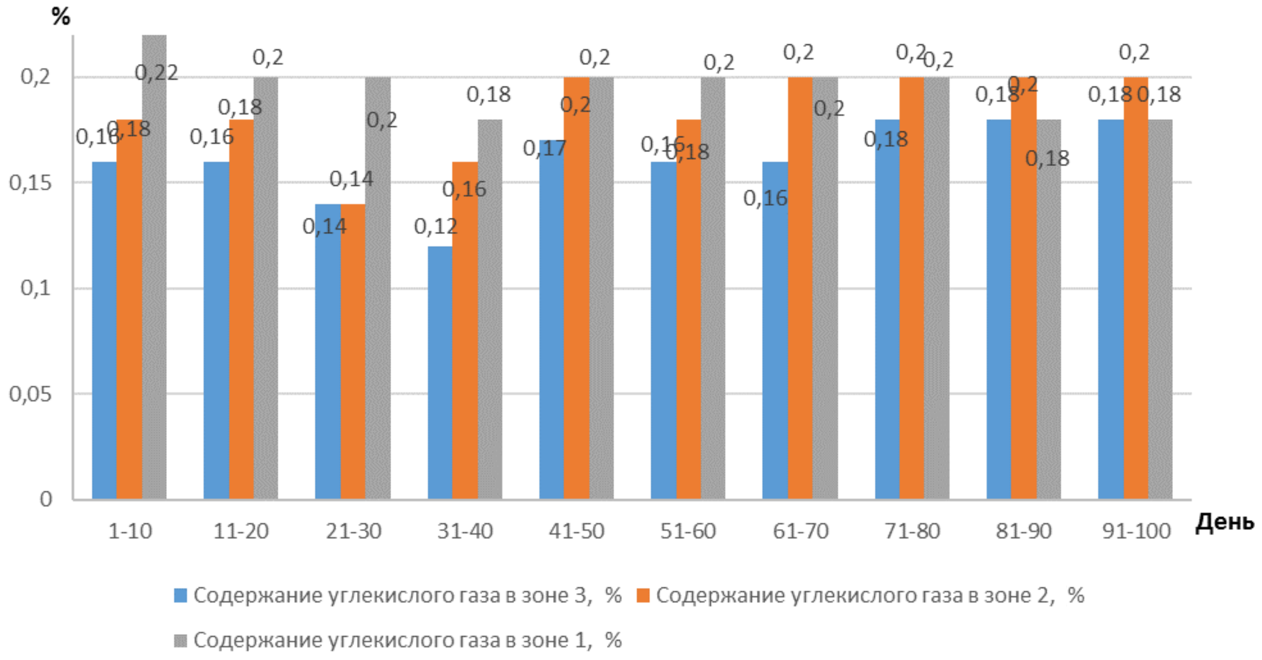


Рис. 13. График содержания углекислого газа в исследуемых зонах технологического модуля в холодный период года

Fig. 13. Graph of carbon dioxide content in the studied areas of the technological module during the cold season

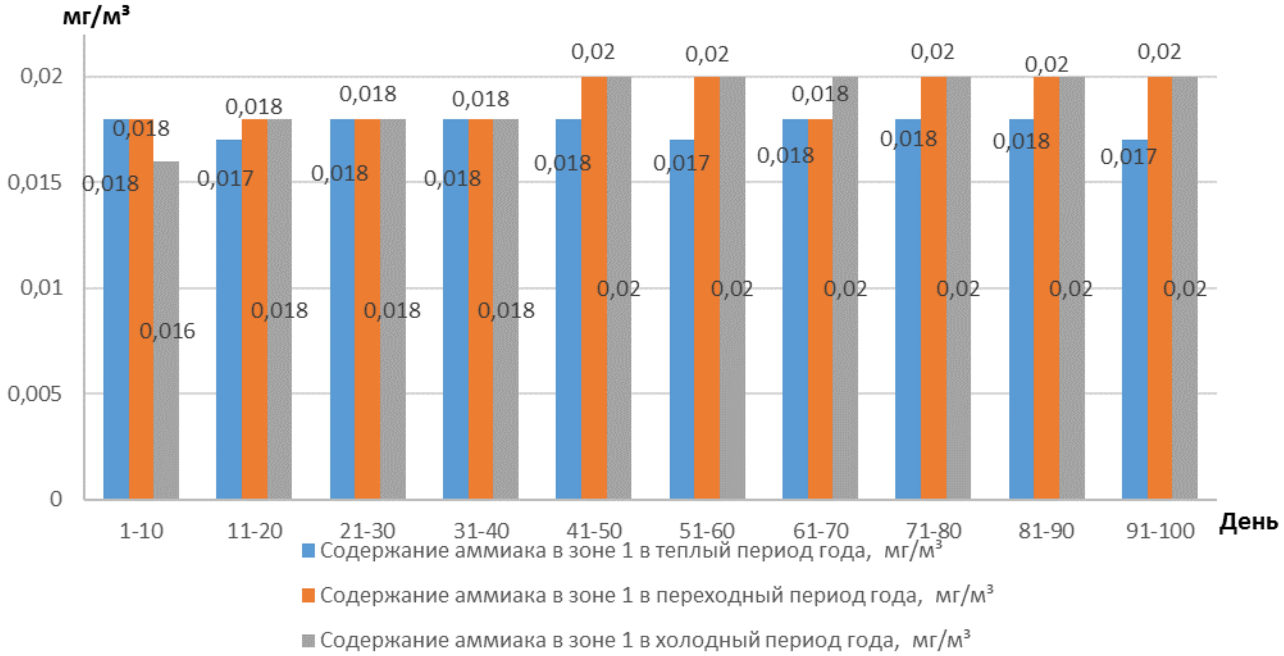


Рис. 14. График содержания аммиака в зоне отдыха животных по всем периодам года
Fig. 14. Graph of ammonia content in the animal recreation area for all periods of the year

Аммиак был обнаружен только в зоне отдыха животных, его содержание по трем периодам года приведено на рис. 14.

Сероводород за время проведения исследований обнаружен не был.

Согласно проведенным ранее исследованиям, живая масса свиней при постановке на откорм должна находиться в диапазоне от 35 до 39 кг [4–6]. Во время проведения исследований начальная масса животных соответствовала данному показателю. Для минимизации травматизма необходимым условием является безвыгульное содержание животных [7].

По окончании производственного цикла живая масса свиней достигала 114–120 кг, что соответствует аналогичным показателям, получаемым на крупных отечественных и зарубежных свиноводческих фермах и комплексах [8, 9].

Полученные данные позволяют утверждать, что наибольшая живая масса свиней при снятии на убой была зафиксирована в холодный период года, что может быть объяснено более комфортной температурой внутри технологического модуля, составляющей 13°С [10, 11].

Для обеспечения лучших санитарно-гигиенических условий содержания свиней, а также минимизации риска заражения животных различными инфекционными заболеваниями в технологическом модуле применяется сухой тип кормления сбалансированными комбикормами, соответствующими возрастной группе свиней [12]. Для подачи корма животным в модуле установлена бункерная кормушка с возможностью дозирования корма.

Потребление корма свиньями изменялось в зависимости от периода года: в теплый период за цикл откорма было затрачено 4888 кг комбикорма, в переходный данный показатель составил 5378 кг, а максимальное потребление пришлось на холодный период года – 5561 кг. Данный результат объясняется необходимостью расходования получаемой энергии на поддержание оптимальной температуры тела животных.

Исходя из данных, представленных на рис. 3, по изменению среднесуточных приростов на протяжении откормочного цикла было определено среднее значение данного показателя, составившее в теплый период 0,758 кг, в переходный – 0,752 и в холодный период года – 0,846 кг. Используя формулы (1) – (3), приведенные выше, мы определили коэффициент конверсии корма для теплого, переходного и ходного периодов года, соответственно составивший 3,05; 3,64 и 3,27.

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее полно корма усваивались животными в холодный период года, так как меньший коэффициент конверсии в теплый период объясняется меньшим потреблением кормов ввиду более высокой температуры внутри технологического модуля. Полученный результат согласуется с ранее проведенными исследованиями по усвояемости питательных веществ свиньями на откорме [13,14].

Применяемый кормовой автомат также оборудован ниппельными поилками, обеспечивающими максимальную эффективность процесса поения свиней на откорме.

Наибольшее потребление воды было зафиксировано в тёплый период года – 12,092 м^3, аналогичный показатель переходного периода был равен 11,728 м^3, а на холодный период пришлось наименьшее потребление воды – 11,168 м^3. Более интенсивное потребление животными воды в теплый и переходный периоды года объясняется необходимостью охлаждения организма ввиду повышенной температуры внутри технологического модуля.

Количество воды, необходимое для набора животными 1 кг живой массы, также определялось согласно вышеприведенной методике и составило для теплого периода года 0,00825 м^3, для переходного – 0,0078 и для холодного периода года – 0,00654 м^3.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что наиболее эффективно вода расходовалась в холодный период года, учитывая максимальные среднесуточные приросты, что объясняется показателями средней температуры, составляющей 13,4^{о}С и соответствующей нормативам, используемым при проектировании свиноводческих предприятий.

Определение расхода электроэнергии в модуле осуществлялось с помощью электросчётчика, фиксировались показания при постановке животных на откорм и снятии их на убой. В холодный и теплый периоды года потребителями электроэнергии являлись только диодные светильники в количестве трех штук и мощностью по 12 Вт каждый. В переходный период потребителем также являлся насос, отвечающий за своевременное наполнение водонакопительного бака, а также саморегулирующийся греющий кабель, предотвращающий замерзание водопровода от насоса до технологического модуля [15].

Наиболее энергозатратным периодом года являлся переходный с показателем затрат электроэнергии 103,5 кВт·ч, в теплый период было затрачено 74 кВт·ч электроэнергии, а в холодный 48 кВт·ч.

Исходя из полученных данных было определено количество электроэнергии, необходимое для набора животными 1 кг живой массы в переходный, теплый и холодный периоды года, соответственно составившее 0,069; 0,046 и 0,028 кВт·ч.

Отсутствие затрат электроэнергии на обогрев технологического модуля за счет применения энергоэффективных материалов и максимального использования производственной площади здания позволило превзойти результаты полученные на свинофермах России и за рубежом [16, 17].

Обслуживание животных на протяжении всего производственного цикла осуществлялось одним оператором. Время, затрачиваемое на выполнение технологических операций, определяли при помощи секундомера, включаемого при заходе в модуль и отключаемого после завершения проведения работ. Общие трудозатраты составили в теплый период года 73,61 чел.-ч, 46,5 – в переходный и 110 чел.-ч в холодный период года. Аналогично предыдущим показателям было рассчитано количество трудозатрат, необходимых для набора животными 1 кг живой массы, составившее 0,046 чел.-ч в теплый, 0,031 – в переходный и 0,064 – в холодный период года, что соответствует проведенным ранее исследованиям.

Наименьшие трудозатраты в переходный период объясняются автоматизацией процесса подачи воды в технологический модуль. Наибольшие трудозатраты в холодный период связаны с необходимостью подогрева крана для подачи воды в модуль при отрицательных температурах.

Для обеспечения максимального использования производственной площади технологического модуля, лучших санитарно-гигиенических условий, максимального комфорта животных и сокращения выброса аммиака содержание свиней осуществлялось на сплошном щелевом полу [18, 19]. Данное технико-технологическое решение позволило достичь показателя загрязненности станков, не превышающего 6%.

Организация оптимального микроклимата в производственном помещении является одной из важнейших задач при проектировании свиноводческого предприятия, так как показатели микроклимата напрямую влияют на продуктивность животных. Согласно методике, показатели микроклимата в технологическом модуле определялись в трех зонах в течение трех периодов года.

Наибольшие показатели температуры за время проведения исследований были зафиксированы в зоне активности животных. Среднее значение температуры данной зоны превышали аналогичный показатель других зон на 0,6–0,8 ^{о}С. Данный факт объясняется наличием конвекции воздуха, а также смешением поступающего свежего и отработанного воздуха. Среднее значение температуры внутри технологического модуля для теплого, переходного и холодного периодов года соответственно составило 18,8; 14,6 и 13,3 °С. Полученные результаты соответствуют исследованиям по эффективности потребления корма в зависимости от температуры содержания свиней [20].

Температура наружного воздуха за время проведения исследований изменялась в диапазоне от -7,2 до +21,8 °С, что при учёте показателей температуры внутри технологического модуля позволяет сделать вывод о правильном подборе теплоизоляционных материалов, препятствующих перепаду температур внутри животноводческого помещения, что минимизирует риск возникновения теплового стресса животных.

Было зафиксировано снижение среднесуточных приростов в зависимости от повышения температуры в технологическом модуле, что также подтверждается проведенными ранее исследованиями о влиянии повышения температуры на физиологические изменения свиней [21].

Полученные результаты по содержанию углекислого газа и аммиака позволяют сделать вывод о том, что их содержание не превышает предельно допустимой концентрации, приведенной в РД-АПК – 1.10.02.04-12. Максимальное значение концентрации углекислого газа было зафиксировано в холодный период года ввиду меньшего воздухообмена по сравнению с другими периодами года [22]. Наличие аммиака было зафиксировано только в зоне отдыха животных. Данный результат объясняется применением пластиковых щелевых полов, обладающих минимальной гигроскопичностью, а также использованием эффективной системы утилизации навоза.

ВЫВОДЫ

1. Объем продукции, производимый мелкотоварными свинофермами, ежегодно сокращается ввиду применения неэффективных технологий содержания животных и отсутствия технико-технологических и планировочных решений производственных зданий. Для решения обозначенных проблем разработан и изготовлен технологический модуль для откорма свиней.

2. Среднесуточные приросты на протяжении откормочного цикла составили в теплый период 0,758 кг, в переходный – 0,752 и в холодный период – 0,846 кг, а коэффициент конверсии корма соответственно 3,05; 3,64 и 3,27.

3. Количество воды, необходимое для набора животными 1 кг живой массы, составило для теплого периода года 0,00825 м^3, для переходного – 0,0078 и для холодного – 0,00654 м^3.

4. Количество электроэнергии, необходимое для набора животными 1 кг живой массы в переходный, теплый и холодный периоды года соответственно составило 0,069; 0,046 и 0,028 кВт·ч.

5. Количество трудозатрат, необходимых для набора животными 1 кг живой массы, составило 0,046 чел.-ч в теплый, 0,031 – в переходный и 0,064 чел.-ч в холодный период года.

6. Проведённые исследования позволяют сделать вывод об эффективности разработанного технологического модуля для откорма свиней при его использовании на мелкотоварных предприятиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Плаксин И.Е., Трифанов А.В.* Результаты производственной проверки технологического модуля для откорма поросят // АгроЭкоИнженерия. – 2014. – № 85. – С. 122–129.
2. *Национальный* союз свиноводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.nssrf.ru (дата обращения: 28.01.2020).
3. *African* swine fever in the Russian Federation: risk factors / S. Khomenko [et al.] // Empres Watch. – 2013. – T. 28. – P. 1–14.
4. *Федюк В.В., Житник И.А., Афанасьев М.А.* Рост, откормочные и мясные качества товарных гибридов свиней при раннем отъеме // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 80. – С. 334–344.
5. *Rinaldo D., Le Dividich J., Noblet J.* Adverse s of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs //Livestock Production Science. – 2000. – T. 66, N 3. – P. 223–234.
6. *Dobeic M., Pintarič Š.* Laying hen and pig livestock contribution to aerial pollution in Slovenia // Acta veterinaria. – 2011. – T. 61, N 2–3. – P. 283–293.

7. of free-range and housing on joint health in a herd of fattening pigs / P.E. Etterlin [et al.] // BMC Veterinary Research. – 2014. – T. 10, N 1. – P. 1–14.
8. *Дойлидов В.А., Волкова Е.М.* Продуктивные качества чистопородного и помесного молодняка свиней с разной предубойной массой //Животноводство и ветеринарная медицина. – 2015. – № 2 (17). – С. 12–17.
9. *The* of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs / M.A. Latorre [et al.] // Journal of animal science. – 2004. – T. 82, N 2. – P. 526–533.
10. *Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Verstegen M.W.A.* Reactions of pigs to a hot environment // Livestock Environment VII, 18-20 May 2005, Beijing, China. – American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2005. – P. 544.
11. of temperature on the performance of swine: I. of a hot, diurnal temperature on average daily gain, feed intake, and feed / J. Lopez [et al.] // Journal of Animal Science. – 1991. – T. 69, N 5. – P. 1843–1849.
12. *The welfare* of pigs under housing and feeding systems: liquid versus dry feeding in fully-slatted and straw-based housing / K. Scott [et al.] // Animal Welfare. – 2007. – T. 16, N 1. – P. 53–62.
13. of adding crude or glycerol to pig diets on fattening performance, nutrient digestibility and carcass evaluation / E. Hanczakowska [et al.] // Annals of Animal Science. – 2010. – T. 10, N 1. – P. 67–73.
14. *Performance*, meat and carcass traits of fattening pigs with organic versus conventional housing and nutrition / S. Millet [et al.] // Livestock Production Science. – 2004. – T. 87, N 2–3. – P. 109–119.
15. *O'connor J.D.H.* Self-regulating electrical heating cable: Patent No. 7566849 США. – 2009.
16. *Затраты* энергии в сельском хозяйстве некоторых стран / И. Гургенидзе [и др.]. – 1999.
17. *Dolman M.A., Vrolijk H.C.J., De Boer I.J.M.* Exploring variation in economic, environmental and societal performance among Dutch fattening pig farms // Livestock Science. – 2012. – T. 149, N 1–2. – P. 143–154.
18. *Rantzer D., Svendsen J.* Slatted versus solid in the dung area: comparison of pig production system (moved versus not moved) and on hygiene and pig performance, weaning to four weeks after weaning // Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science. – 2001. – T. 51, N 3. – P. 175–183.
19. *Pedersen S., Ravn P.* Characteristics of Floors for Pig Pens: Friction, shock absorption, ammonia emission and heat conduction //Agricultural Engineering International: CIGR Journal. – 2008.
20. *Hansen R.K., Bjerg B.* Optimal ambient Temperature with regard to Feed and Daily Gain of pigs // Proceedings of the EurAgEng 2018 Conference, Wageningen, The Netherlands. – 2018. – P. 8–12.
21. of increasing temperatures on physiological changes in pigs at relative humidities Huynh T.T.T. [et al.] // Journal of animal science. – 2005. – T. 83, N 6. – C. 1385–1396.
22. *Venkatesh M.S., Raghavan G.S.V.* An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials // Biosystems engineering. – 2004. – T. 88, N 1. – P. 1–18.

REFERENCES

1. Plaksin I.E., Trifanov A.V., *AgroJekoInzhenerija*, 2014, No. 85. pp. 122–129. (In Russ.)
2. *Nacional'nyj Sojuz Svinovodov*: www.nssrf.ru (data obrashhenija 28.01.2020 g.) (In Russ.)
3. Khomenko S. [et al.], African swine fever in the Russian Federation: risk factors, *Empres Watch*, 2013, T. 28 C. 1–14.
4. Fedjuk V.V., Zhitnik I.A., Afanas'ev M.A., *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, No. 80, pp. 334–344. (In Russ.)
5. Rinaldo D., Le Dividich J., Noblet J., Adverse of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs, *Livestock Production Science*, 2000, T. 66, No. 3, pp. 223–234.
6. Dobeic M., Pintarič Š., Laying hen and pig livestock contribution to aerial pollution in Slovenia, *Acta veterinaria*, 2011, T. 61, No. 2–3, pp. 283–293.

7. Etterlin P.E. [et al.], of free-range and housing on joint health in a herd of fattening pigs, *BMC Veterinary Research*, 2014, T. 10, No. 1, pp. 1–14.
8. Dojlidov V.A., Volkova E.M., *Zhivotnovodstvo i veterinarnaja medicina*, 2015, No. 2 (17), pp. 12–17. (In Russ.)
9. Latorre M.A. [et al.], The of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs, *Journal of animal science*, 2004, T. 82, No. 2, pp. 526–533.
10. Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Verstegen M.W.A., Reactions of pigs to a hot environment, *Livestock Environment VII, 18-20 May 2005, Beijing, China*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2005, pp. 544.
11. Lopez J. [et al.], of temperature on the performance of swine: I. of a hot, diurnal temperature on average daily gain, feed intake, and feed , *Journal of Animal Science*, 1991, T. 69, No. 5, pp. 1843–1849.
12. Scott K. [et al.], The welfare of pigs under housing and feeding systems: liquid versus dry feeding in fully-slatted and straw-based housing, *Animal Welfare*, 2007, T. 16, No. 1, pp. 53–62.
13. Hanczakowska E. [et al.], of adding crude or glycerol to pig diets on fattening performance, nutrient digestibility and carcass evaluation, *Annals of Animal Science*, 2010, T. 10, No. 1, pp. 67–73.
14. Millet S. [et al.], Performance, meat and carcass traits of fattening pigs with organic versus conventional housing and nutrition, *Livestock Production Science*, 2004, T. 87, No. 2–3, pp. 109–119.
15. O'connor J.D.H., Self-regulating electrical heating cable: *Patent No. 7566849 США*, 2009.
16. Gurgenidze I. [i dr.], *Zatraty jenergii v sel'skom hozjajstve nekotoryh stran* (Energy inputs in agriculture in some countries), 1999.
17. Dolman M.A., Vrolijk H.C.J., De Boer I.J.M., Exploring variation in economic, environmental and societal performance among Dutch fattening pig farms, *Livestock Science*, 2012, T. 149, No. 1–2, pp. 143–154.
18. Rantzer D., Svendsen J., Slatted versus solid in the dung area: comparison of pig production system (moved versus not moved) and on hygiene and pig performance, weaning to four weeks after weaning, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 2001, T. 51, No. 3, pp. 175–183.
19. Pedersen S., Ravn P., Characteristics of Floors for Pig Pens: Friction, shock absorption, ammonia emission and heat conduction, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2008.
20. Hansen R.K., Bjerg B., Optimal ambient Temperature with regard to Feed and Daily Gain of pigs, *Proceedings of the EurAgEng 2018 Conference, Wageningen, The Netherlands*, 2018, pp. 8–12.
21. Huynh T.T.T. [et al.], s of increasing temperatures on physiological changes in pigs at -ent relative humidities, *Journal of animal science*, 2005, T. 83, No. 6, pp. 1385–1396.
22. Venkatesh M.S., Raghavan G.S.V., An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials, *Biosystems engineering*, 2004, T. 88, No. 1, pp. 1–18.
23. Philippe F.X., Cabaraux J.F., Nicks B., Ammonia emissions from pig houses: factors and mitigation techniques, *Agriculture, ecosystems & environment*, 2011, T. 141, No. 3-4, pp. 245–260.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-197-205
УДК 579.852.11:636.5.087.8

ПРОБИОТИЧЕСКИЙ ПРЕПАРАТ НА ОСНОВЕ *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* КАК АЛЬТЕРНАТИВА АНТИМИКРОБНЫМ ПРЕПАРАТАМ В РАЦИОНАХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

А.А. Рядинская, доцент кафедры
К.В. Лавриненко, преподаватель кафедры
И.А. Кощаев, доцент кафедры
П.И. Токарь, магистрант

Белгородский государственный аграрный университет, п. Майский Белгородской обл., Россия

E-mail: antonina.yurchenko.63@mail.ru

Ключевые слова: пробиотик, цыплята-бройлеры, сальмонеллёз, антибиотики.

Реферат: Отражены вопросы эффективного кормления сельскохозяйственной птицы и отказа от противомикробных препаратов при выращивании цыплят-бройлеров. Использование противомикробных препаратов в рационах сельскохозяйственной птицы напрямую связано с актуальной проблемой современности – антибиотикорезистентностью. Многие антибиотики, которые активно использовались в птицеводстве раньше, постепенно теряют свою эффективность — бактерии начинают подавлять их действие и могут полностью нейтрализовать лекарство, заболевания начинают протекать в более острой форме. Теоретическая и практическая значимость исследования основывается на отказе от противомикробных препаратов при добавлении в рацион цыплят-бройлеров пробиотического препарата с антагонистическими свойствами к патогенным микроорганизмам. В статье представлены ключевые моменты исследования и результаты лабораторных и практических опытов по выявлению антагонистической активности к патогенным микроорганизмам пробиотического препарата на основе *Bacillus amyloliquefaciens*. Методы исследований, на которых основывалась данная статья, — это лабораторно-практические опыты, научно-хозяйственный эксперимент и статистический анализ данных. Первый этап исследований — лабораторные испытания, подтверждающие антагонистическую активность препарата и выживаемость действующего вещества при прохождении через кислотную среду желудка птицы. Вторым этапом исследований стал научно-хозяйственный опыт на небольшом поголовье цыплят-бройлеров. Благодаря полученным результатам данного исследования была доказана антагонистическая активность пробиотического препарата на основе *Bacillus amyloliquefaciens*, а также подтверждена возможность использования препарата в рационах цыплят-бройлеров как альтернативы антимикробным препаратам.

PROBIOTIC DRUG BASED ON *BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS* AS AN ALTERNATIVE TO ANTIMICROBIAL DRUGS IN BROILER CHICKEN DIETS

A.A. Ryadinskaya, Associate Professor
K.V. Lavrinenko, Lecturer of the Department
I.A. Koshchaev, Associate Professor
P.I. Tokar, Master Degree Student

Federal State Budgetary Education Institute of the Higher Education “Belgorod state agrarian university,” Maisky settlement, Belgorod region, Russia

E-mail: antonina.yurchenko.63@mail.ru

Keywords: probiotic; broiler chickens; salmonellosis; antibiotics.

Abstract: This article reflects on the issue of adequate poultry feeding and the case of refusing antimicrobial drugs when growing broiler chickens. Antimicrobials use in poultry diets is directly related to the actual problem of our time - antibiotic resistance. Many antibiotics, actively used in poultry farming before, gradually lose their effectiveness - bacteria begin to suppress their action and even completely neutralize the medicine. Diseases start to occur in a more acute form. The theoretical and practical significance of the study is based on the rejection of antimicrobial drugs when a probiotic pill with antagonistic properties to pathogenic microorganisms is added to the diet of broiler chickens. The article presents the key points of the study and the results of laboratory and practical experiments to identify the antagonistic activity of a probiotic preparation based on bacillus amyloliquefaciens to pathogenic microorganisms. The research methods on which this article was based are laboratory and practical experiments, scientific and economic experiments, and statistical data analysis. The first stage of research is laboratory tests confirming the drug's antagonistic activity and the active substance's survival when passing through the acidic environment of the bird's stomach. The second research stage was a scientific and economic experiment on a small number of broiler chickens. The authors proved the antagonistic activity of the probiotic preparation based on bacillus amyloliquefaciens based on the results of this study. In addition, the authors confirmed the possibility of using the drug in the diets of broiler chickens as an alternative to antimicrobials.

Высокая продуктивность и сохранность птицы – крайне важный аспект промышленного птицеводства [1]. Распространение таких патогенных микроорганизмов, как *Salmonella*, – серьезная проблема всего мясного птицеводства, которая, в первую очередь, отражается на сохранности птицы. Гибель птицы от острой кишечной инфекции, вызываемой *Salmonella*, наступает от обезвоживания, многочисленных кровоизлияний, интоксикации и сепсиса [2–4].

В большинстве случаев антибиотики используются для предотвращения падежа птицы и поддержания ее продуктивности [5–7]. Следует отметить, что около 80% всех препаратов, используемых в животноводстве, – препараты антимикробного действия [8]. Ужесточение норм по применению антибиотиков как стимуляторов роста необходимо в первую очередь для предотвращения их попадания в пищевые продукты. Кроме того, широкое до недавних пор их применение привело к проблеме резистентности новых штаммов болезнетворных бактерий [9, 10]. Ученые и практики разрабатывают и применяют современные средства кормления, способные послужить альтернативой антибиотикам [11–13]. Потенциальный спектр заменителей разнообразен, и одной из многообещающих перспектив являются пробиотики [14]. В наших исследованиях рассматривается пробиотический препарат на основе *Bacillus amiloliquefaciens*, разработанный на базе ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

Пробиотики – это иммунобиологические препараты, оказывающие воздействие на формирование нормобиоценоза и рост собственной резистентности организма к воздействию факторов, неблагоприятно влияющих на состояние организма, к которым можно отнести инфекционные заболевания, неполноценное и несбалансированное кормление, токсичность и микробную загрязненность кормов, неблагоприятные условия содержания, поствакцинальные реакции и проч. [15, 16]. Пробиотики создаются на основе микробных культур, которые близки к микрофлоре желудочно-кишечного тракта [17]. Они активно подавляют рост и развитие патогенных и условно-патогенных бактерий, активизируют обменные процессы. Пробиотические добавки довольно часто вводятся в рационы молодняка с повышенным уровнем клетчатки, чтобы улучшить усвоение содержащихся в них питательных веществах [18, 19].

Цель исследования – изучить влияние пробиотического препарата на основе *Bacillus amyloliquefaciens* на организм цыплят-бройлеров, проанализировать эффективность действующего вещества препарата и целесообразность его использования как альтернативы антимикробным препаратам в рационах сельскохозяйственной птицы.

ОБЬЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом данного исследования является антагонистическая активность действующего вещества пробиотического препарата, а предметом исследования – пробиотический препарат на основе *Bacillus amyloliquefaciens*. В ходе изучения данного пробиотического препарата использовались несколько методов исследований – лабораторно-практические опыты, научно-хозяйственный эксперимент и статистический анализ данных.

Все исследования можно разделить на два этапа – лабораторные испытания и научно-хозяйственный эксперимент. В ходе лабораторных исследований были изучены антагонистическая активность пробиотического препарата и выживаемость действующего вещества препарата при прохождении через желудочно-кишечный тракт птицы, что подтвердило целесообразность организации опытных исследований на небольшом поголовье цыплят-бройлеров.

В ходе практических исследований были изучены сохранность птицы и динамика набора живой массы как факторы подтверждения эффективности применения пробиотического препарата.

Данные эксперимента были обработаны по методике Н.А. Плохинского на базе программного пакета Microsoft Excel. Разницу значений считали достоверной на уровне $P<0,05$; $P<0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что пробиотические культуры положительно воздействуют на организм: являются антагонистами для патогенов и условно-патогенных микроорганизмов вследствие конкуренции за места обитания и питательные вещества; синтезируют гидролитические ферменты; служат иммуномодуляторами; деструктивно воздействуют на различного рода токсины и аллергены [20], тем самым создавая благоприятные условия для развития нормальной микрофлоры кишечника – чрезвычайно важного аспекта в жизнедеятельности организма-хозяина. Они обеспечивают колонизационную резистентность, осуществляя пищеварительную, иммуномодулирующую и детоксикационную функции [21].

Ключевая роль в действии пробиотических кормовых добавок отводится колонизационной резистентности кишечника – совокупности механизмов, способных анатомически стабилизировать микрофлору и обеспечить предотвращение заселения организма посторонними микроорганизмами [22]. Кишечная микробиота функционирует как самостоятельный «орган», покрывая стенку кишечника биопленкой, препятствующей внедрению чужеродных микроорганизмов, и играет важную роль в гомеостазе кишечника.

Лабораторно было доказано, что *Bacillus amyloliquefaciens* – уникальное действующее вещество, неотъемлемый компонент пробиотика, являющегося антагонистом патогенных микроорганизмов, таких как кишечная палочка, сальмонелла и др.

В качестве тестового микроорганизма использовали эталонный штамм *Salmonella enteritidis*. При подготовке к эксперименту отмерили 0,5 мл препарата *S. enteritidis* и нанесли на застывшую агаровую пластинку питательной среды, стерильным шпателем распределили по ее поверхности.

Проверку активности пробиотика в борьбе с патогенном – возбудителем сальмонеллеза – проводили при помощи культивации микроорганизмов на питательной среде ГМФ-агар. Из агаровых пластинок выделили симметрично расположенные диски диаметром 10 мм, в отверстия вносили 4–6 симметрично расположенных блоков с пробиотиком на основе *Bacillus amyloliquefaciens* и *Bacillus* spp. (действующее вещество пробиотика для сельскохозяйственной птицы) для сравнения показателей.

Пробиотик внесли в отдельные лунки, а затем поместили чашки Петри в термостат с целью активации и последующего размножения. Термостатирование проводилось18–24 ч при температуре 37°C, до выявления на поверхности среды сплошного слоя колоний. На следующие сутки измеряли диаметр зоны задержки роста *S. enteritidis* в миллиметрах. Результаты исследования показаны на рис. 1.

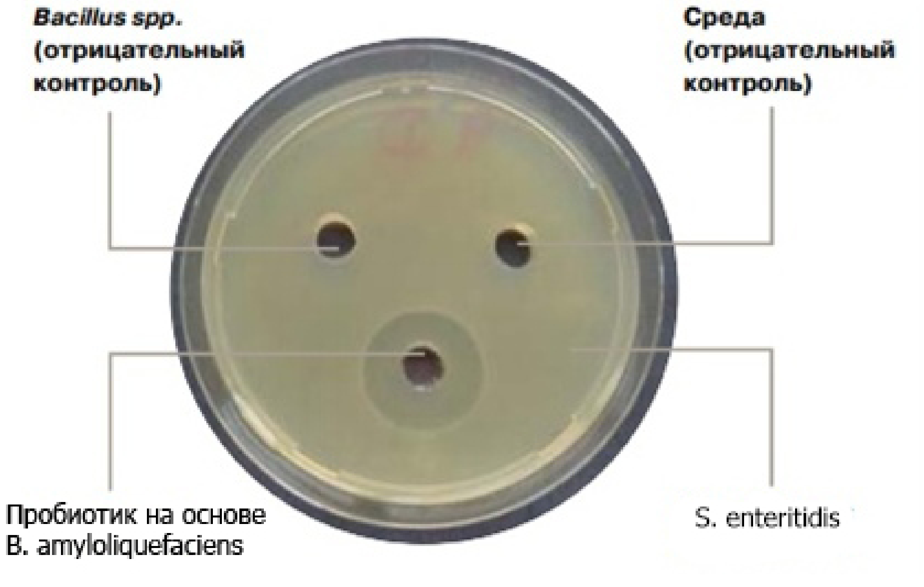
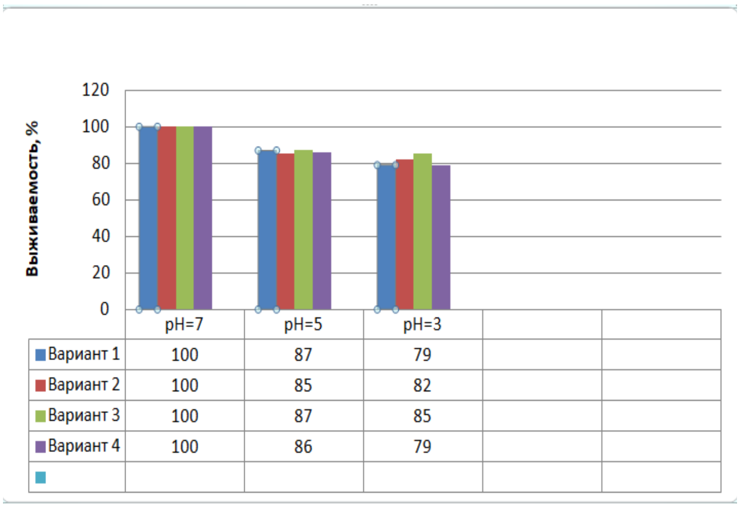


Рис. 1. Результаты диффузии, подтверждающие активность пробиотика против *S. enteritidis*
Fig. 1. *S. enteritidis*

Второе не менее важное исследование – анализ выживаемости действующего вещества при прохождении через кислотную среду желудка птицы. Кислотность среды – первостепенный фактор, оказывающий непосредственное влияние на развитие и жизнедеятельность прокариот. Если препарат активно борется с патогенными микроорганизмами, но не может выдержать кислотную среду желудка, то как он сможет «обосноваться» в кишечнике?

Для *Bacillus amyloliquefaciens* нейтральная среда является наиболее оптимальной, но при прохождении через желудок, где pH около 3, они подвергаются кислотному шоку и частично теряют свою активность. Следует отметить, что вопросы, касающиеся адаптации *Bacillus amyloliquefaciens* к кислотному стрессу остаются малоизученными.

С этими физиологическими явлениями связаны дальнейшие исследования, которые посвящены изучению устойчивости пробиотика к низким значениям pH. Для этого проводили модельные опыты. Было подготовлено три среды с pH7, pH 5, pH 3. Подкисление сред осуществлялось при помощи соляной кислоты. Результаты представлены на рис. 2.



	pH=7	pH=5	pH=3		
🟦 Вариант 1	100	87	79		
🟥 Вариант 2	100	85	82		
🟩 Вариант 3	100	87	85		
🟪 Вариант 4	100	86	79		
🟦					

Рис. 2. Показатели выживаемости действующего вещества пробиотика в кислотной среде
Fig. 2. Indicators of the survival of the active substance of the probiotic in an acidic environment

Для чистоты эксперимента мы произвели посев *Bacillus amyloliquefaciens*, ранее пророщенных на питательной среде ГМФ-агар, на 12 чашек Петри (по 4 образца на каждый показатель кислотности, контролем выступила нейтральная среда). Мы получили процентное соотношение выживаемости микроорганизмов, сравнив число образовавшихся колоний в подкисленной среде с показателями контроля.

Выживаемость пробиотика на нейтральной среде оказалось близкой к 100%, а с увеличением кислотности жизнеспособность микроорганизмов уменьшалась. Эксперимент показал, что кислотность среды, близкая к кислотности желудка сельскохозяйственной птицы, может вызывать гибель лишь малой части микроорганизмов. С повышением кислотности жизнеспособность микроорганизмов уменьшается.

После лабораторного подтверждения активности и выживаемости пробиотика при прохождении через кислотную среду желудка птицы на базе лаборатории птицеводства был проведен научно-исследовательский опыт по применению пробиотического препарата в рационах цыплят-бройлеров в качестве альтернативы антимикробным препаратам. Рекомендации по применению пробиотической добавки были разработаны и практически применены на цыплятах-бройлерах кросса Ross-308.

Из партии суточных цыплят одного вывода было сформировано 12 групп по 65 голов в каждой. Для эксперимента суточных цыплят-бройлеров разделили по полу, использовали только петушков. Всего исследовали 4 различных рациона, т. е. каждый рацион скармливали 3 группам (повторностям).

Опыт длился 42 дня. Параметры содержания, кормления и поения были аналогичными как для опытных, так и контрольной групп и соответствовали нормативным показателям.

Птица получала комбикорма «Старт» (0–10-е сутки), «Рост» (11–24-е сутки), «Финиш» (25–42-е сутки) соответственно периоду выращивания. Схема кормления цыплят-бройлеров заключались в следующем: 1-я группа, контрольная, получала основной рацион (ОР), сбалансированный по питательности; 2-я группа: ОР+ пробиотик на основе *Bacillus amyloliquefaciens* (норма ввода – 250 г/т корма); 3-я группа: ОР+ пробиотик на основе *Bacillus amyloliquefaciens* (норма ввода – 500 г/т корма); 4-я группа: ОР + пробиотик на основе *Bacillus amyloliquefaciens* (норма ввода – 1000 г/т корма).

Как по сохранности птицы можно судить об эффективности пробиотического препарата? Безусловно, сохранность поголовья – это все составляющие выращивания птицы: профилактика, вакцинация, полноценное кормление, новые технологии, микроклимат, квалификация обслуживающих хозяйство специалистов. Какова же роль пробиотика в этом ряду?

В ходе лабораторных испытаний была доказана и обоснована антагонистическая активность действующего вещества пробиотического препарата на основе *Bacillus amyloliquefaciens*, и данный препарат был введен в рационы цыплят-бройлеров. Но что это значит для организма птицы? Бактерии препарата вместе с пищей попадают в желудочно-кишечный тракт цыпленка. В процессе переваривания пищи в желудке большая часть бактерий выживает и направляется в кишечник. Уже в кишечнике птицы бактерии закрепляются и из состояния спор переходят в состояние активной жизнедеятельности. *Bacillus amyloliquefaciens* синтезирует молочную кислоту(о роли которой говорилось ранее) и антибактериальные вещества, подавляющие жизнедеятельность патогенных микроорганизмов. Действующее вещество пробиотического препарата не дает развиваться патогенным микроорганизмам, как следствие, количество случаев падежа птицы сокращается, а сохранность увеличивается.

Влияние разработанной пробиотической добавки на резистентность организма и показатели продуктивности цыплят-бройлеров мы оценивали путем определения основных зоотехнических показателей, в частности, учитывая сохранность по отдельным периодам выращивания, а также в целом за опытный период (табл. 1).

Таблица 1

Показатели сохранности цыплят-бройлеров при добавлении в рационы пробиотического препарата, %

The safety indicators of broiler chickens when a probiotic preparation is added to the diets, %

Группа	Повторность			Среднее
	первая	вторая	третья	
Контроль	93,8	93,8	98,5	95,4
1-я опытная	98,5	98,5	95,4	97,5
2-я опытная	98,5	96,9	98,5	98,0
3-я опытная	98,5	96,9	98,5	98,0

Анализ данных табл. 1 показывает, что сохранность была ниже в контрольной группе, где в рацион дополнительно не вводился пробиотик, – выживаемость зафиксирована на уровне 95,4 %. Максимальный показатель сохранности (98,0%) наблюдался в нескольких группах, получавших пробиотический препарат на основе *Bacillus amyloliquefaciens*, что выше показателя контрольной группы на 2,6 %.

Динамика набора живой массы – один из важнейших показателей в мясном птицеводстве. По этому показателю судят о здоровье птицы, ее генетических потенциалах. На динамику набора живой массы влияет совокупность сразу нескольких факторов – кросс птицы, условия содержания и, конечно же, кормление. Для нормального развития организма и, собственно, для синтеза клеточного белка нужны подходящие условия и достаточное количество питательных веществ и энергии, которые служат «строительным материалом». Благодаря синтезу белка организмом синтезируются новые клетки, птица набирает массу. Конкретный пример применения пробиотического препарата иллюстрирует воздействие бактерий пробиотика на пищеварение птицы. Благодаря синтезу молочной кислоты бактерией *Bacillus amyloliquefaciens* собственные бактерии кишечника птицы начинают активный рост и размножение. Таким образом, жизнедеятельность бактерий пробиотика и бактерий кишечника повышает эффективность процесса пищеварения птицы, как следствие, увеличивая интенсивность синтеза белка. Начинается «цепная реакция» – процесс синтеза белка в этом случае обусловливает более интенсивный набор живой массы.

Цыплята-бройлеры кросса Ross-308 имеют генетическую предрасположенность к ускоренному набору живой массы и, как следствие, отличаются высокими показателями прироста. В связи с этим необходимо создание благоприятных условий для максимальной реализации их потенциала и достижения высоких показателей продуктивности, в частности живой массы.

Живая масса цыплят-бройлеров опытных групп в сравнении с контрольной варьировали в различные возрастные периоды. При практически равной живой массе в 1-е и 10-е сутки, на 24-е сутки цыплята 3-й опытной группы имели более высокие показатели живой массы (табл. 2).

Таблица 2

Живая масса цыплят-бройлеров, г
Live weight of broiler chickens, g

Рацион	Возраст, сут	Повторность			Среднее
		первая	вторая	третья	
Контроль	1	46,4±0,3	46,4±0,4	46,4±0,3	46,4±0,2
	10	360,7±7,4	363,6±4,7	368,2±6,5	364,2±3,8
	24	1324,7±24,0	1368,0±26,8	1359,1±22,5	1350,6±18,9
	42	3044,7±47,2	3025,5±42,6	3033,8±37,5	3034,7±30,2
1-я опытная	1	46,2±0,3	46,7±0,3	45,9±0,4	46,3±0,2
	10	374,6±6,5	361,4±5,2	350,7±6,8	362,2±4,1
	24	1333,3±24,3	1345,7±25,8	1387,8±21,4	1355,6±17,8
	42	3068,3±39,8	3085,2±46,7	3062,6±52,1	3072,0±40,1
2-я опытная	1	46,6±0,3	47,3±0,3	47,5±0,4	47,3±0,2
	10	367,1±7,9	366,6±8,5	367,9±9,4	367,2±5,4
	24	1374,8±28,7	1383,4±27,0	1349,4±21,8	1369,2±20,4
	42	3114,3±35,6	3110,5±39,2	3122,2±41,8	3115,7±27,2*
3-я опытная	1	47,0±0,4	47,1±0,4	47,0±0,3	47,0±0,2
	10	361,1±5,8	356,9±6,7	374,6±4,9	364,2±3,8
	24	1414,8±23,0	1341,3±25,7	1415,6±20,7	1390,6±17,3
	42	3126,1±41,8	3142,0±40,2	3131,6±47,7	3133,2±32,7*

*P>0,95.

На конец опытного периода лучшие результаты зафиксированы во 2-й и 3-й опытных группах, в рацион кормления которых-дополнительно вводили пробиотическую добавку. Так, цыплята-бройлеры 2-й опытной группы превзошли показатели контроля на 81 г (2,67 %), а показатели 3-й опытной группы были выше контроля на 98,5 г (3,25 %).

ВЫВОДЫ

1. Пробиотики – перспективные препараты в современном сельскохозяйственном производстве, состоящие из живых микроорганизмов испособные всецело оказывать положительное воздействие на организм сельскохозяйственной птицыввиду формирования, и поддержания нормальной микрофлоры как в пищеварительном тракте, так и на местах их выращивания. В современном птицеводстве возможно использование пробиотиков вместо антибиотиков. Комплекс бактерий с выраженными антагонистическими свойствами к патогенной и условно-патогенной микрофлоре выполняет противомикробную функцию, а также способствуют улучшению пищеварения.

2. Применение пробиотического препарата на основе *Bacillus amyloliquefaciens* – экологичный и безопасный способ улучшить продуктивность сельскохозяйственной птицы. Лабораторно и практически доказано, что пробиотический препарат на основе *Bacillus amyloliquefaciens* эффективно борется с патогенными микроорганизмами, вследствие чего сохранность птицы увеличивается с 95,4 до 98,5%. Применение препарата положительно влияет на динамику роста цыплят-бройлеров

и оказывает благоприятное воздействие на желудочно-кишечный тракт птицы.

3. Включение пробиотического препарата в дозировке 500 г/т комбикорма позволило повысить массу на 81 г, что превосходит контрольную группу на 2,67 %. При норме ввода пробиотика 1000 г/т живая масса в возрасте 42 суток была на уровне 3133,2 г, что выше показателей контрольной группы на 98,5 г (3,25 %).

Работа выполняется при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых–кандидатов наук МК-2474.2022.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кощаев И.А.* Обеспечение сельскохозяйственной птицы кальцием // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2018. – № 2 (8). – С. 3–8.
2. *Буяров А.В., Буяров В.С.* Приоритетные направления развития мясного птицеводства в России // Вестник Алтайского ГАУ. – 2015. – № 6. – С. 165–171.
3. *Зюбан А.В., Каледина М.В.* Разработка функциональной кормовой добавки для молодняка сельскохозяйственных животных // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: материалы Междунар. студ. науч. конф.: в 4 т., Майский, 18–19 марта 2020 г. – Майский: Белгород. ГАУ им. В.Я. Горина, 2020. – Т. 2. – С. 370.
4. *Кудряшов Л.С.* Влияние стресса животных на качество мяса // Мясная индустрия. – 2014. – № 9. – С. 34–37.
5. *Изучение* корреляции между основными зоотехническими показателями и параметрами используемых в кормах пробиотических культур / И.А. Кощаев, К.В. Мезинова, Н.Н. Сорокина [и др.] // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2020. – № 4 (18). – С. 123–130.
6. *Котарев В.И., Иванова Н.Н.* Химический состав мяса и печени цыплят-бройлеров при использовании в рационе комплекса дополнительного питания «Заслон 2+» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1 (53). – С. 183–187. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-183-187.
7. *Котарев В.И., Иванова Н.Н., Шипилов В.В.* Влияние комплекса дополнительного питания «Заслон 2+» на содержание микроэлементов в крови и печени цыплят-бройлеров // Ветеринария Кубани. – 2021. – № 3. – С. 17–18. – DOI: 10.33861/2071-8020-2021-3-17-18.
8. *Нетрадиционные* корма в рационах сельскохозяйственной птицы / О.Е. Татьяничева, А.П. Хохлова, Н.А. Маслова, О.А. Попова. – Белгород. ГАУ им. В.Я. Горина, 2018. – 200 с.
9. *Отченашко В.* У каждого подкислителя свои особенности // Животноводство России. – 2016. – № S1. – С. 29–31.
10. *Рационализация* использования антибактериальных средств в промышленном животноводстве и птицеводстве. Бактериофаги и органические кислоты как средство эффективной борьбы с бактериальными инфекциями / А.В. Данилюк, А.Д. Митрикова, Э.А. Якимова, А.В. Капустин // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2018. – № 1 (25). – С. 124–128. – DOI: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201801021.
11. *Повышение* стресс-устойчивости, продуктивности и экологической чистоты продукции коров, кур-несушек и бройлеров при использовании в рационах сорбирующих и антиоксидантных добавок / В.Е. Улитько, С.П. Лифанова, О.Е. Ерисанова [и др.]. – Ульяновск : Ульян. ГАУ им. П.А. Столыпина, 2019. – 434 с.
12. *Современные* технологии выращивания цыплят-бройлеров: монография / А.Н. Добудько, В.А. Сыровицкий, О.Н. Ястребова, С.А. Чуев; Белгород. ГАУ им. В.Я. Горина. – Майский, 2020. – 204 с.
13. *Татьяничева О.Е., Трубчанинова Н.С., Кощаев И.А.* Мясные качества цыплят-бройлеров при включении в их рацион цельного зерна пшеницы и ячменя // Международные научные исследования. – 2017. – № 3 (32). – С. 120–124.
14. *Использование* современных кормовых добавок в рационах сельскохозяйственной птицы / О.Е. Татьяничева, О.А. Попова, А.П. Хохлова, Н.А. Маслова, Т.Н. Устинова. – Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгород. ГАУ, 2020. – С. 202.

15. *Disorders* of the metabolic status and morphofunctional state of liver and kidneys of chicken / P. Anipchenko, S. Shabunin, V. Kotarev [et al.] // FASEB Journal. – 2020. – Vol. 34, N S1. – P. 03896. – DOI: 10.1096/fasebj.2020.34.s1.03896.
16. *Calcium* And Phosphorus Feed Supplement FAX-2 In The Feeding Of Laying Hens Of Industrial HERD / A.N. Dobudko, O.E. Tatyanicheva, I.A. Boyko [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological, and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9(6). – P. 1551–1559.
17. *Histomorphometric* indicators of chicken-broilers spleen of the cobb-500 cross within the species- interferon / V.I. Kotarev, E.V. Mikhailov, N.A. Khokhlova [et al.] // BIO Web of Conferences: International Scientific Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), Kazan, November 13–14, 2019. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 00100. – DOI: 10.1051/bioconf/20201700100.
18. of cases of pododermatitis in broiler chickens when feeding a probiotic feed additive / I. Koshchaev, K. Mezinova, A. Ryadinskaya [et al.] // E3S Web of Conferences : 8, Rostovon-Don, August 19–30, 2020. – Rostovon-Don, 2020. – P. 06023. – DOI: 10.1051/e3sconf/202021006023.
19. *Various* sources of methionine in broiler chicken rations / I. Koshchaev, K. Mezinova, A. Ryadinskaya [et al.] // E3S Web of Conferences : 8, Rostovon-Don, August 19–30, 2020. – Rostovon-Don, 2020. – P. 06009. – DOI: 10.1051/e3sconf/202021006009.
20. *Мартынова Е.Г., Корниенко П.П.* Опыт использования кормовых добавок в кормлении кур яичных пород // Молодёжный аграрный форум – 2018: материалы междунар. студ. науч. конф., Белгород, 20–24 марта 2018 г. – Белгород: Белгород. ГАУ им. В.Я. Горина, 2018. – С. 183.
21. *Многофакторное* влияние условий содержания на продуктивность цыплят-бройлеров / О.Н. Ястребова, А.Н. Добудько, В.А. Сыровицкий, А.Е. Ястребова. – Белгород: Политерра, 2018. – 63 с.

REFERENCES

1. Koshhaev I.A., *Aktual`ny`evoprosy` sel`skoxozyajstvennojbiologii*, 2018, No. 2 (8), pp. 3–8. (In Russ.)
2. Buyarov A.V., Buyarov V.S., *Vesnik Altajskogo GAU*, 2015, No. 6, pp. 165–171. (In Russ.)
3. Zyuban A.V., Kaledina M.V., *Gorinskie chteniya. Innovacionny`e resheniya dlya APK* (Gorinsky readings. Innovative solutions for the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, Majskij, 18–19 Marta 2020 goda. – Majskij: Belgorod. GAU im. V.Ya. Gorina, 2020, pp. 370. (In Russ.)
4. Kudryashov L.S., *Myasnaya industriya*, 2014, No. 9, pp. 34–37. (In Russ.)
5. Koshhaev I.A., Mezinova K.V., Sorokina N.N. [i dr.], *Aktual`ny`e voprosy` sel`skoxozyajstvennoj biologii*, 2020, No. 4 (18), pp. 123–130. (In Russ.)
6. Kotarev V.I., Ivanova N.N., *Vestnik Ul`yanovskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii*, 2021, No. 1 (53), pp. 183–187, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-183-187. (In Russ.)
7. Kotarev V.I., Ivanova N.N., Shipilov V.V., *Veterinariya Kubani*, 2021, No. 3, pp. 17–18, DOI: 10.33861/2071-8020-2021-3-17-18. (In Russ.)
8. Tat`yanicheva O.E., Xoxlova A.P., Maslova N.A., Popova O.A., *Netradicionny`e korma v racion axsel`skoxozyajstvennojpticy* (Non-traditional feeds in the diets of poultry), Belgorod, Belgorodskij GAU im. V.Ya. Gorina, 2018, 200 p.
9. Otchenashko V.U., *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2016, No. S1, pp. 29–31. (In Russ.)
10. Danilyuk A.V., Mitrikova A.D., Yakimova E`.A., Kapustin A.V., *Problemy` veterinarnoj sanitarii, gigieny` i e`kologii*, 2018, No. 1 (25), pp. 124–128, DOI: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201801021. (In Russ.)
11. Ulit`ko V.E., Lifanova S.P., Erisanova O.E. [i dr.], *Povy`shenie stress-ustojchivosti, produktivnosti i e`kologicheskoj chistoty` produkcii korov, kur-nesushek i brojlerov pri ispol`zovanii v racionax sorbiruyushhix i antioksidantny`x dobavok* (Increasing stress resistance, productivity and envi-

ronmental friendliness of cows, laying hens and broilers when using sorbent and antioxidant additives in diets), Ul`yanovsk : Ul`yan. GAU im. P.A. Stoly`pina, 2019, 434 p.

12. Dobud`ko A.N., Sy`roviczkij V.A., Yastrebova O.N., Chuev S.A., *Sovremenny`e texnologii vy`rashhivaniya cyplyat-brojlerov* (Modern technologies for growing broiler chickens), Belgorodskijgos. a. un-t imeniV.Ya. Gorina; BelGAU, 2020, 204 p.
13. Tat`yanicheva O.E., Trubchaninova N.S., Koshhaev I.A., *Mezhdunarodny`e nauchny`e issledovaniya*, 2017, No. 3 (32), pp. 120–124. (In Russ.)
14. Tat`yanicheva O.E., Popova O.A., Xoxlova A.P., Maslova N.A., Ustinova T.N., *Ispol`zovanie sovremenny`x kormovy`x dobavok v racionax sel`skoxozyajstvennoj pticy* (The use of modern feed additives in the diets of poultry), Belgorod: Izd-vo FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2020, pp. 202.
15. Anipchenko P., Shabunin S., Kotarev V. [et al.], Disorders of the metabolic status and morphofunctional state of liver and kidneys of chicken, *FASEB Journal*, 2020, Vol. 34, No. S1, P. 03896, DOI: 10.1096/fasebj.2020.34.s1.03896.
16. Dobudko A.N., Tatyanicheva O.E., Boyko I.A., Popova O.A., Kornienko P.P., Burlakov V.S., Litvinov Y.N., Calcium And Phosphorus Feed Supplement FAX-2 In The Feeding Of Laying Hens Of Industrial HERD, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological, and Chemical Sciences*, 2018, Vol. 9 (6), pp. 1551–1559.
17. Kotarev V.I., Mikhailov E.V., Khokhlova N.A. [et al.], Histomorphometric indicators of chicken-broilers spleen of the cobb-500 cross within the interferon, *BIO Web of Conferences: International Scient Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), Kazan, November 13-14, 2019*, Kazan: EDP Sciences, 2020, pp. 00100, DOI: 10.1051/bioconf/20201700100.
18. Koshchaev I., Mezinova K., Ryadinskaya A. [et al.], of cases of pododermatitis in broiler chickens when feeding a probiotic feed additive, *E3S Web of Conferences: 8, Rostovon-Don, August 19-30, 2020,* Rostovon-Don, 2020, pp. 06023, DOI: 10.1051/e3sconf/202021006023.
19. Koshchaev I., Mezinova K., Ryadinskaya A. [et al.], Various sources of methionine in broiler chicken rations, *E3S Web of Conferences: 8, Rostovon-Don, August 19–30, 2020*, Rostovon-Don, 2020, pp. 06009, DOI: 10.1051/e3sconf/202021006009.
20. Marty`nova E.G., Kornienko P.P., *Molodyozhny`jagrarny`j forum – 2018* (Youth Agricultural Forum - 2018), Proceedings of the Conference Title, Belgorod, 20–24 marta 2018, Belgorod: Belgorod.GAU im. V.Ya. Gorina, 2018, pp. 183. (In Russ.)
21. Yastrebova O.N., Dobud`ko A.N., Sy`roviczkij V.A., Yastrebova A.E., *Mnogofaktornoe vliyanie uslovij soderzhaniya na produktivnost` cyplyat-brojlerov* (Multifactorial of housing conditions on the productivity of broiler chickens), Belgorod: POLITERRA, 2018, 63 p.

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-206-212
УДК 638.132.2

МЕДОВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ ГЕОПАРКА ТОРАТАУ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

[1]**И.Д. Самсонова**, доктор биологических наук, профессор
[2]**М.Р. Нуркаева**, преподаватель
[2]**В.Н. Саттаров**, доктор биологических наук, профессор
[3]**Н.Д. Машинская**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

[1]*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия*
[3]*Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия*
E-mail: isamsonova18@mail.ru

Ключевые слова: растительные формации, липняки, кленовники, вязовники, медовая продуктивность.

Реферат. Республика Башкортостан – один из регионов России, где исторически сложились благоприятные ландшафтные и климатические условия для развития отрасли пчеловодства. Территория геопарка Торатау обладает невероятным биологическим разнообразием. Пчелы являются опылителями энтомофильных растений, что, в свою очередь, отражается на продуктивности ягодных и плодовых растений и способствует возрождению естественной флоры лесных ресурсов. К нектаропродуктивным липнякам, произрастающим в трехкилометровой зоне пасек, относятся только 360 тыс. га, остальные находятся в труднодоступных районах республики. Неблагоприятные погодные условия, складывающиеся в период цветения липы, не дают получить продуктивный медосбор, поэтому целью исследований явилось определение медовой продуктивности растительных формаций на территории геопарка Торатау. Результаты исследований показали, что высокой медовой продуктивностью характеризуются липняки снытьевые (574,4 кг/га) и крапиво-таволговые (458,1 кг/га). Формация кленовников является источником обильного медосбора в весенний период с медовой продуктивностью снытьевого типа леса 350,4 кг/га, снытьево-костяничникового – 332,3 кг/га. В ранневесенний период обеспечивают поддерживающий медосбор и наращивание силы пчелиной семьи вязовник пойменный со значительной медовой продуктивностью – 254,3 кг/га и вязовник снытьево-костяничниковый (252,3 кг/га). Полученные знания о медовой продуктивности растительных формаций на исследуемой территории представляют собой научный вклад в области рационального использования медоносных ресурсов на территории Башкортостана для сохранения естественной флоры лесных ресурсов, для оптимизации численности, расширения ареала и поддержания генетической чистоты популяции аборигенной бурзянской бортевой пчелы (*Apis mellifera L.*), а также для получения продуктивных медосборов.

HONEY PRODUCTIVITY OF PLANT FORMATIONS IN THE TORATAU GEOPARK OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

[1]**I.D. Samsonova,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[2]**M.R. Nurkaeva,** teacher
[2]**V.N. Sattarov,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[3]**N.D. Mashinskaya,** Ph.D. in Agricultural Science, Associate Professor

[1]*Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia*
[2]*Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmullah, Ufa, Russia*
[3]*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*
E-mail: isamsonova18@mail.ru

Keywords: plant formations, limpets, maple forest, Elm trees, honey productivity.

Abstract. The Republic of Bashkortostan is one of the regions of Russia where historically, there are favorable landscape and climatic conditions for developing the beekeeping industry. The territory of the Toratau Geopark has incredible biodiversity. Bees are pollinators of entomophilous plants, which, in turn, affects the productivity of berry and fruit plants and contributes to the revival of the natural flora of forest resources. However, only 360 thousand hectares of nectar-producing linden are growing in the three-kilometer zone of apiaries, and the rest are located in inaccessible areas of the republic.Unfavorable weather conditions do not allow for productive honey harvesting during the linden blossom period. Hence, the research aimed to determine the honey productivity of plant formations in the territory of the Toratau Geopark. The results of the studies showed that high honey productivity is characterized by gnat's linden (574.4 kg/ha) and nettle twigs (458.1 kg/ha). Maplewood formation is a source of abundant honey harvesting in the spring period, with honey productivity of the forest type of the gnarly forest - 350.4 kg/ha, prickly-bristled barry forest - 332.3 kg/ha. In early spring, floodplain elm with significant honey productivity (254.3 kg/ha) and bramble elm (252.3 kg/ha) provide supportive honey collection and build-up of bee family strength. The knowledge gained about the honey productivity of plant formations in the study area is a scientific contribution to the rational use of honey resources in the territory of Bashkortostan. Also, these studies help preserve the natural flora of forest resources, optimize the population, expand the range, and maintain the genetic purity of the people of the native Burzyan wild bee (Apis mellifera L.), as well as for obtaining productive honey collections.

Медосборные условия и медоносные ресурсы с течением времени претерпевают изменения, и зачастую не в лучшую сторону. Трансформация земель, включая предыдущее обезлесение и интенсивное культивирование, негативно сказывается на популяции насекомых и их адаптации к новым условиям окружающей среды [1]. Успешное сохранение биоразнообразия как условие сохранения устойчивости экосистем и биосферы в целом, возможно только на основе всестороннего изучения составляющих ее видов и популяций. В этой связи возникает необходимость анализа кормовой базы пчеловодства и оценка перспектив использования медоносных ресурсов.

Одним из регионов России, где исторически сложились благоприятные ландшафтные и климатические условия для развития отрасли пчеловодства, является Республика Башкортостан (РБ). Пчеловодство в республике служит традиционным занятием для большинства сельских жителей [2]. Регионы РБ – это один из центров биологического разнообразия, который в последние годы постоянно подвергается разрушению, в результате чего исчезают многие ценные виды растений. Значение развития лесного пчеловодства проявляется и в увеличении обсеменения лесной, кустарниковой, полевой, садовой, луговой энтомофильной растительности, которая при интенсивном опылении стабильно повышает урожайность семян в 1,5–2 раза, так как пчелы в период сбора нектара и пыльцы посещают до 80% перекрестноопыляемых растений, как дикорастущих, так и сельскохозяйственных [3–5].

Территория геопарка Торатау обладает невероятным биологическим разнообразием. Геопарк – это территория с естественными обозначенными границами, не являющаяся особо охраняемой природной территорией (ООПТ) и в целом не имеющая ограничений хозяйственной и рекреационной деятельности. Однако ключевые геологические и иные природные и культурные объекты, являющиеся основой геопарка, подлежат строгой охране, режиму использования в рамках федерального, регионального и местного законодательства и являются научной ценностью.

Основой геопарка Торатау, как и других геопарков, входящих в Глобальную сеть геопарков ЮНЕСКО (Global Geopark Network GGN), являются геологические объекты международного значения (www.unesco.org). На сегодняшний день на территории проектируемого геопарка Торатау расположено 48 природных объектов, 27 из них являются особо охраняемыми природными территориями. К ним относятся 10 комплексных особо охраняемых памятников природы, семь геологических, шесть ботанических, три гидрологических и один проектируемый памятник природы [6].

Район расположения объекта исследований – лесостепная зона Южно-Уральского лесостепного района, зона средней лесопатологической угрозы, Южно-Уральский горно-лесной лесозащитный район. Включает Гафурийский, Ишимбайский, Мелеузовский и Стерлитамакский административные районы.

Липовые насаждения на территории геопарка представлены второй группой (липы в составе 10–30 %) в Стерлитамакском лесничестве с преобладающим ростом твердолиственных пород, дуба, средневозрастными липняками и третьей группой (доля липовых насаждений превышает 30 %) в Макаровском лесничестве, где преобладают зрелые и перестойные леса липы, береза, осина, клен и дуб, а также Гафурийском лесничестве с липовыми и кленовыми насаждениями [7].

Насаждения с примесью липы в Республике Башкортостан составляют более 35 % площади всех насаждений липы мелколистной, произрастающей в России [8]. По учету лесного фонда Республики

Башкортостан, насаждений с примесью липы мелколистной более 1 млн га. Однако к нектаропродуктивным липнякам, произрастающим в трехкилометровой зоне пасек, по данным А.Ф. Хайретдинова и др. [9], относится только 360 тыс. га. Большая часть липовых насаждений произрастает в труднодоступных районах республики, где плохо развита транспортная инфраструктура и нет возможности для развития кочевого пчеловодства. Определяя медовую продуктивность лесной, ограничиваться оценкой запасов липы мелколистной нерационально. Так, в частности, в 2012 г. липовые насаждения практически не выделяли нектар, и кормовые запасы, а также товарный мед были получены за счет медоносных ресурсов лесных земель [10].

Целью исследований явилась оценка медоносных ресурсов на основе определения медовой продуктивности растительных формаций на территории геопарка Торатау РБ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Уточнение и выявление видового разнообразия медоносной флоры в различных растительных формациях проводилось стационарным и маршрутно-геоботаническим методами с использованием «Определителя растений Башкирской АССР» [11]. Количество медоносов и занимаемую ими площадь леса и луга определяли путем специального обследования. Перед началом работы составляли маршруты обследования по лесным кварталам, а затем приступали к обследованию угодий. Маршрут движения экспедиции был проложен по территориям Гафурийского, Макаровского и Стерлитамакского лесничеств исходя из лесохозяйственных регламентов, а также наличия дорог для передвижения. Выбор места описания осуществлялся методом типичного отбора. Для исследования видового состава медоносов в различных типах леса и определения медовой продуктивности растительных сообществ нами были заложены пробные площади в насаждениях разного возраста, представляющих интерес для пчеловодства. Пробные площади закладывали с использованием материалов лесоустроительных предприятий (планов лесонасаждений, таксационных описаний 01.01.2018 г., проведенных Федеральной службой лесного хозяйства РФ). Тип леса, особенности рельефа и описание почв указывали в соответствии с таксационными описаниями. При определении медовой продуктивности лесных угодий учитывали количество медоносных деревьев и кустарников на пробных площадях. Долю участия медоноса в общем запасе насаждения рассчитывали, используя формулу состава [12].

Таксационные характеристики древостоев определяли по общепринятым методикам (ОСТ 56-69-83, ГОСТ 16-128-88). Для выявления количественного участия медоносов в структуре живого напочвенного покрова на трансектах закладывали круговые учетные площадки радиусом 1,785 м в соответствии с патентом РФ № 2084129. Для установления числа растений отдельных видов на 1 га таких угодий определяли проективное покрытие в процентах к площади отдельно по каждому виду изучаемых медоносных растений и переводили его на сплошной травостой [12]. Для расчета медовой продуктивности липы и растительных формаций в составе различных насаждений мы использовали формулу $M = N \times 0{,}1K \times C \times S$, где M – медовая продуктивность липы на участке; N – медовая продуктивность на 1 га; K – коэффициент липы в составе насаждения; C – продолжительность цветения липы (принимается равной 14 дням); S – площадь выдела.

Для учета подлеска использовали показатели коэффициента встречаемости соответственно категории и численности подлеска по густоте из таксационных описаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С.Ф. Курнаев [14] называет леса из липы «главнейшей формацией» коренных широколиственных лесов Русской равнины. Распределение липы в Предуралье неравномерно. Она встречается здесь в основном в виде островков леса и составляет 16,4% от лесопокрытой площади природной зоны. Насаждения характеризуются средней полнотой 0,66 и запасом древесины 169 $м^3$ /га.

Оценка лесных ресурсов на территориях Гафурийского и Макаровского лесничеств показала, что здесь представлены преимущественно липняки и кленовники снытьевые и снытьево-костяничниковые, злаковые, кустарниковые, а также вязовники широкотравные, крапиво-таволговые и пойменные. На пробных площадках проводился учет медоносных древесных пород (липа, клен, вяз), кустарниковых и травянистых видов. Для определения медовой продуктивности лесных угодий в различных лесорастительных условиях нами проводились наблюдения на 17 пробных площадях, заложенных в типичных липовых фитоценозах. Для систематизации результатов исследования проводили по группам с учетом преобладающей породы и типа леса.

Анализ собранных по липнякам материалов позволяет сделать вывод, что в исследуемой группе районов липа является весьма пластичной породой и успешно произрастает как на ровных местоположениях, так и на склонах различной экспозиции и крутизны.

Таблица 1

Медовая продуктивность растительных формаций на территории геопарка Торатау
Honey productivity of plant formations on the territory of the Toratau Geopark

Преобладающий медонос в составе древостоя	Тип леса	Медовая продуктивность, кг/га
Липа мелколистная	Снытьевый	574,4
	Крапиво-таволговый	458,1
	Снытьево-костяничниковый	440,2
	Злаковый	384,2
	Кустарниковый	330,0
Клен остролистный	Снытьевый	350,4
	Снытьево-костяничниковый	332,3
	Крапиво-таволговый	283,0
	Кустарниковый	233,2
Вяз обыкновенный	Пойменный	254,3
	Снытьево-костяничниковый	252,3
	Снытьевый	233,4
	Широкотравный	215,2
	Крапиво-таволговый	166,1

Преобладающей ассоциацией является липняк снытьевый и различные его варитеты. Типичным доминирующим бонитетом для липняка снытьевого является III бонитет. В условиях хорошего увлажнения северо-западные экспозиции склона предгорий Южного Урала достаточно производительные липняки III бонитета были встречены и на крутых каменистых склонах (уклон 25–30°) южной и юго-восточной экспозиции. При этом липа с успехом произрастает даже на малоразвитых скелетных почвах с выходами щебенки на поверхность. Стелющаяся липа по периферии ареала ее естественного распространения – также свидетельство ее пластичности [15].

Исследования липняков в ряде точек с несомненностью подтверждают формирование их на месте бывших дубрав. Например, липняк снытьевый, возникший на месте дубравы: 8Лп2Дн+Б, Кл А – 65 лет, Н – 19 м, Д – 22 см, полнота – 0,7, бонитет III; подрост редкий – клен остролистный, липа; подлесок средней густоты из крушины; покров редкий из чины весенней, фиалки коротковолосистой. Наличие единичных дубов в возрасте 100 лет II–III бонитета свидетельствует о том, что здесь раньше от подошвы до вершины были дубравы, сменившиеся липняком.

Примером липняка, сформировавшегося на месте бывшего высокопроизводительного соснового насаждения, может быть следующий: липняк снытьево-костяничниковый, Лп№Кл2Лп1Б ед. С А – 15–61 год, разновозрастный, Н – 6 м, Д – 8 см, полнота – 0,6, бонитет III; подрост редкий – клен, липа; подлесок редкий – черемуха, рябина; в травяном покрове – сныть, медуница, первоцвет весенний, фиалка, колокольчик.

Наибольшую продуктивность в широколиственном лесу с преобладанием в составе древостоя липы дает древесная растительность, являющаяся главным источником нектара. Следует отметить, что чем больше липы мелколистной, клена остролистного и вяза обыкновенного на единицу площади, тем выше медовая продуктивность угодий. Это объясняется неодинаковыми условиями местопроизрастания (влажность и плодородие почвы), которые определяют разные доли участия важных медоносов – липы, кленов и других пород в составе древостоев. Этой же закономерности подчиняется и распределение различных видов растений на менее однородных участках фитоценоза. Так, липы предпочитают пониженные участки, где почвы более влажные и плодородные.

Наиболее заметные различия в распределении энтомофильных растений наблюдаются между липняками снытьевыми и кустарниковыми, а уменьшение их численности в древостое отражается на проективности угодий.

Максимальное участие липы мелколистной в составе древостоя отмечается в снытьевом и снытьево-костяничниковом типе леса, а клена остролистного – в снытьево-костяничниковом и кустарничковом.

Видовой состав и количественное обилие кустарников и травянистых растений зависит не только от почвенных условий, экспозиции склонов, но также от особенностей исходных типов леса.

Второе место по площади в исследуемых районах Южного Урала занимают кленовые насаждения, представленные по преимуществу кленовниками снытьевыми и снытьево-костяничниковыми. Большинство кленовников не могут быть причислены к группе высокопроизводительных древостоев.

Кленовники снытьевые и снытьево-костяничниковые сформировались, по-видимому, на месте основных ассоциаций типа дубняка снытьевого в результате сукцессии чисто антропогенного характера.

Следует учитывать, что медовая продуктивность растительной формации в данном типе леса (350,4 кг/га) складывается из входящих в состав древостоя клена остролистного и липы мелколистной. Под пологом значительную роль играет средней густоты подлесок, который отличается заметным видовым разнообразием и состоит из таких медоносных растений, как шиповник, крушина ломкая, черемуха. В живом напочвенном покрове встречаются медоносные травы. Это сныть обыкновенная, медуница неясная, чина весенняя.

В снытьево-костяничниковом кленовнике на пониженных плато и пологих склонах преобладающий медонос составляет в древостое 40–70%. Большую медовую продуктивность формаций обеспечивает в летний период липа мелколистная (150 кг/га).

Сравнивая кленовники злаковый и кустарниковый, расположенные соответственно на западном склоне крутизной 10° и юго-восточном – 5°, можно отметить, что незначительные отличия исследуемых формаций (233,2 кг/га злаковый и 283 кг/га кустарниковый), связаны с изменениями в проективном покрытии и встречаемости сныти в живом напочвенном покрове, а также с динамикой густоты подлеска.

Вяз обыкновенный по сравнению с другими древесными породами несколько более влаголюбив, в силу чего его местообитания связаны с поймами рек и склонами речных долин [16]. Вяз растет преимущественно в нижней трети склона, изредка поднимаясь в виде примеси до середины склона и почти никогда не встречается на верхней трети или на гребнях возвышенностей. По мере подъема по склону и на водоразделах вяз обычно заменяется ильмом. Вяз более светолюбив и в значительной мере является деревом опушек, в то время как ильм приурочен к центрам лесных массивов и к сомкнутым насаждениям.

Анализируя обработанные материалы, мы видим, что в условиях увлаженных западных предгорий Южного Урала вяз успешно произрастает и на довольно крутых склонах – в пределах 15° и даже 40°.

Наибольшей продуктивностью вязовников обладают формации пойменного (254,3 кг/га) и снытьево-костяничникового типа (252,3 кг/га), которые обеспечивают поддерживающий медосбор ранней весной. В пойменном типе леса медовую продуктивность формации обеспечивают, помимо находящихся в древостое вяза (50%) и липы мелколистной (30%), произрастающие в подлеске ива кустарниковая средней густоты (64,3 кг/га), а также ежевика в травянистом ярусе (15,0 кг/га).

ВЫВОДЫ

1. Исследования, проведенные в липняках Южного Урала, позволяют констатировать факт закономерного увеличения роста и развития многих медоносных растений от группы типа леса липняки кустарниковые к группе липняки снытьевые на равнинных местах между холмами, т. е. типы леса с лучшей влагообеспеченностью и хорошей освещенностью продуктивнее.

2. Кленовники являются ценными угодьями для пчеловодства. Благодаря наличию кленов в древесном ярусе эта формация является источником обильного медосбора в весенний период, а вязовники – в ранневесенний.

3. Полученные знания о медовой продуктивности растительных формаций на исследуемой территории представляют собой научный вклад в организацию рационального использования медоносных ресурсов на территории Башкортостана для сохранения есте-

ственной флоры лесных ресурсов, для оптимизации численности, расширения ареала и поддержания генетической чистоты популяции аборигенной бурзянской бортевой пчелы (*Apis mellifera* L.), а также для получения продуктивных медосборов.

Статья подготовлена в рамках гранта «Оценка потенциала и рациональное использование медоносных ресурсов геопарка Торатау Республики Башкортостан» Фонда грантов главы Республики Башкортостан.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *The Area* Requirements of an Ecosystem Service: Crop Pollination by Native Bee Communities in California / C. Kremen, N.M. Williams, R.L. Bugg, [et al.] // Ecology Letters. – 2004. – N 7(11). – P. 1109–1119.
2. *Хисамов Р.Р., Фархутдинов Р.Г., Хасанов Ф.Р.* Мониторинг естественных медоносных ресурсов Бугульминско-Белебеевской возвышенности в пределах Республики Башкортостан // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5–1. – С. 84–88.
3. *Srdić D.* Važnost pčelarstva za šumarstvo // Šumarski list. – 1946. – Vol. 1–6. – P. 55–56.
4. *Эколого-биологический* анализ медоносов березняков / И.Д. Самсонова, В.Ю. Нешатаев, Д.В. Тхао, Н.Т. Зыонг // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – № 229. – С. 104–117.
5. *Самсонова И.Д., Саттаров В.Н.* Ресурсный потенциал угодий для медосбора степного Придонья: монография. – Воронеж, 2021. – 210 с.
6. *Гареев Э.З.* Геологические памятники природы Республики Башкортостан. – Уфа: Тау, 2004. – 296 с.
7. *Маннапов А.Г.* Формирование кадастра медоносных ресурсов Караидельского района темнохвойно-липовых лесов Уфимского плато / А.Г. Маннапов, М.А. Талыпов, Р.Р. Хисамов, Р.Г. Фархутдинов, Р.Ф. Мустафин, Д.Р. Дихин, И.Ф. Султанов // Естественные и технические науки. – 2021. – № 7(158). – С. 88–93.
8. *Кучеров Е.В., Сираева С.М.* Медоносные растения Башкирии. – М.: Наука, 1980. – 128 с.
9. *Леса* Башкортостана / А.Ф. Хайретдинов, К.М. Габдрахимов, С.И. Конашова [и др.]. – Уфа: БГАУ, 2004. – 400 с.
10. *Кадастровая* оценка медоносных ресурсов горно-лесной зоны Республики Башкортостан / Р.Р. Хисамов, Р.Г. Фархутдинов, Р.К. Ташбулатов, А.А. Кулагин // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2014. – № 2. – С. 41–49.
11. *Определитель* высших растений Башкирской АССР: в 2 т. / АН СССР, Урал. отд-ние, Башк. науч. центр, Ин-т биологии; Ю.Е. Алексеев [и др.]; отв. ред. Е.В. Кучеров, А.А. Мулдашев. – М.: Наука, 1988 – 1989. – 320 + 376 с.
12. *Самсонова И.Д.* Медопродуктивность растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2017. – № 4(358). – С. 69–83. – DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.69.
13. *Самсонова И.Д., Сидаренко П.В.* Медоносы Нижнего Дона. – Новочеркасск: НГМА, 2011. – 114 с.
14. *Курнаев С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР. – М.: Наука, 1973. – 203 с.
15. *Федорако Б.И., Кучеров Е.В.* Леса западных предгорий Южного Урала и некоторые вопросы их рационального использования // Дикорастущие и интродуцируемые полезные растения в Башкирии. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, – 1968. – Вып. 2. С. 178–205.
16. *Самсонова И.Д.* Современное состояние и оценка ресурсного потенциала медоносных угодий Донского бассейна // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(94). – С. 71–79.

REFERENCES

1. Kremen C., Williams N.M., Bugg R.L., Fay J.P., Thorp R.W., The Area Requirements of an Ecosystem Service: Crop Pollination by Native Bee Communities in California, *Ecology Letters*, 2004, No. 7 (11), pp. 1109–1119.

2. Khisamov R.R., Farkhutdinov R.G., Khasanov F.R., *Fundamental'nye issledovanija*, 2014, No. 5–1, pp. 84–88. (In Russ.)
3. Srdić D., Važnost pčelarstva za šumarstvo, *Šumarski list*, 1946, Vol. 1–6, pp. 55–56.
4. 4. Samsonova I.D., Neshataev V.Yu., Thao D.V., Zuong N.T., *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotehnicheskoj akademii,* 2019, No. 229, pp. 104–117. (In Russ.)
5. Samsonova I.D., Sattarov V.N., *Resursnyj potencial ugodij dlja medosbora stepnogo Pridon'ja* (Resource potential of land for the meadditional collection of the steppe Pridonya), Voronezh, 2021, 210 p.
6. Gareev E.Z., *Geologicheskie pamjatniki prirody Respubliki Bashkortostan* (Geological natural monuments of the Republic of Bashkortostan). Ufa: Tau, 2004, 296 p.
7. Mannapov A.G., Talypov M.A., Khisamov R.R., Farkhutdinov R.G., R.F., Dikhin D.R., Sultanov I.F., *Estestvennye i tehnicheskie nauki*, 2021, No. 7 (158), pp. 88–93. (In Russ.)
8. Kucherov E.V., Siraeva S.M., *Medonosnye rastenija Bashkirii* (Honey plants of Bashkiria), Nauka, 1980. 128 p.
9. Khayretdinov A.F., Gabdrakhimov K.M., Konashova S.I. [i dr.], *Lesa Bashkortostana* (Forests of Bashkortostan), Ufa: BGAU, 2004, 400 p.
10. Khisamov R.R., Farkhutdinov R.G., Tashbulatov R.K., Kulagin A.A., *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Serija: Biologija. Nauki o Zemle*s, 2014, No. 2, pp. 41–49. (In Russ.)
11. Alekseev Yu.E. [i dr.], *Opredelitel; vysshikh rasteniy Bashkirskoy ASSR* (Key to higher plants of the Bashkir ASSR), AN SSSR, Ural. otd-nie, Bashk. Nauch. tsentr, In-t biologii, Moscow: Nauka, 1989, 375 p
12. Samsonova I.D., *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2017, No. 4 (358), pp. 69–83, DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.69. (In Russ.)
13. Samsonova I.D., Sidarenko P.V., *Medonosy Nizhnego Dona* (Honey plants of the Lower Don), Novocherkassk: NGMA, 2011, 114 p.
14. Kurnaev S.F., *Lesorastitel'noe rajonirovanie SSSR* (Forest zoning of the USSR), Moscow: Science, 1973, 203 p.
15. Fedorako B.I., Kucherov E.V., *Dikorastushhie i introduciruemye poleznye rastenija v Bashkirii*, Kazan: Izd-vo Kazan. un-ta, Is. 2, 1968, pp. 178–205. (In Russ.)
16. Samsonova I.D., *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, No. 2 (94), pp. 71–79. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-213-224
УДК 636.2:636.082:577.17

СОДЕРЖАНИЕ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕСТОСТЕРОНА У ВЗРОСЛЫХ И МОЛОДЫХ БАРАНОВ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ

Е.И. Тарасенко, аспирант
Т.В. Коновалова, старший преподаватель
О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор
Е.А. Климанова, аспирант
В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор
О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент
А.И. Желтиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
М.Л. Кочнева, доктор биологических наук, профессор
В.Г. Маренков, кандидат биологических наук, доцент
Н.Н. Кочнев, доктор биологических наук, профессор
А.А. Плахова, доктор биологических наук, доцент
Л.А. Осинцева, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: tarasenkoo1997@mail.ru

Ключевые слова: овцы, бараны, тестостерон, возраст, романовская порода, гормоны, половая зрелость.

Реферат. У овец романовской породы в Западной Сибири проводится комплексное изучение интерьера, включающее биохимические, физиологические, физико-химические, цитогенетические и другие показатели. Для исследования взяты пробы сыворотки крови у 10 баранов - производителей и 30 баранчиков в возрасте 4 месяцев. Образцы крови отобраны по общепринятым методикам. Исследования проводились в лаборатории биохимии Новосибирского государственного аграрного университета с использованием метода конкурентного иммуноферментного анализа с набором реагентов «СтероидИФА-тестостерон» для количественного определения концентрации тестостерона в сыворотке крови. В зоне разведения овец проводился постоянный мониторинг содержания тяжелых металлов в воде, почве, кормах, органах и тканях. Концентрация химических элементов не превышала уровня ПДК. Иммуноферментный анализ провели на анализаторе Thermo Scientific Multiskan FC. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с помощью стандартных методов описательной статистики и языка статистического программирования или среды анализа данных RStudio (при помощи функций descrstats, summary, sd, read.table, write.table, aes). Было установлено влияние возраста онтогенеза на содержание тестостерона у баранов романовской породы. Представлен рисунок с двумя вариационными кривыми с высокой трансгрессией. Средний уровень тестостерона был выше в 1,8 раза у баранов-производителей (0,774 ммоль/л), чем у баранчиков. Концентрация тестостерона характеризовалась высокой фенотипической изменчивостью. Выявлены референсные интервалы по тестостерону в сыворотке крови в зависимости от экологических условий у баранов романовской породы Западной Сибири.

TESTOSTERONE CONTENT AND VARIABILITY IN ADULT AND YOUNG ROMANOV SHEEP

E.I. Tarasenko, Ph.D. student
T.V. Konovalova, Senior Lecturer
O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor
E.A. Klimanova, Ph.D. student
V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor
O. I. Sebezhko, Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
A.I. Zheltikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
M.L. Kochneva, Doctor of Biological Sciences, Professor
V.G. Marenkov, Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor
N.N. Kochnev, Doctor of Biological Sciences, Professor
A.A. Plakhova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
L.A. Osintseva, Doctor of Biological Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

Keywords: sheep, Lambs, testosterone, age, Romanov sheep, hormones, pubescence.

Abstract. In the article, the authors conducted a comprehensive study of the interior, including biochemical, physiological, physicochemical, cytogenetic, and other indicators in sheep of the Romanov breed of Western Siberia. For the study, blood serum samples were taken from 10 rams-producers and 30 lambs at four months. Conventional methods took blood samples. Analyses were performed in the biochemistry laboratory of Novosibirsk State Agrarian University using the technique of competitive enzyme immunoassay with the reagent kit "SteroidIFA-testosterone" for the quantitative determination of testosterone concentration in blood serum. In the sheep breeding area, the authors constantly monitored the content of heavy metals in water, soil, feed, organs, and tissues. The concentration of chemical elements did not exceed the permissible exposure limit. Enzyme-linked immunosorbent assay was performed on a Thermo Scientific Multiskan FC analyzer. The authors performed statistical processing of experimental data using standard methods of descriptive statistics, the statistical programming language, or the RStudio data analysis environment (using the functions DescrStats, Summary, Sd, Read. Table, Write. Table, Aes). The authors established the influence of the age of ontogenesis on the testosterone content in Romanov rams. Presented figure with two variation curves with high transgression. The average testosterone level was 1.8 times higher in lambs (0.774 mmol/l) than in lambs. Testosterone concentration was characterized by high phenotypic variability. The authors have identified reference intervals for testosterone in blood serum depending on environmental conditions in sheep of the Romanov breed of Western Siberia.

В Западной Сибири ученые уделяют большое внимание изучению фенофонда и генофонда различных пород сельскохозяйственных животных [1].

Романовская порода – уникальный памятник культуры русского народа (рис. 1). Она является лучшим отродьем северных короткохвостых овец, хорошо приспособленных к природно-климатическим условиям Центральной Нечерноземной зоны России. Романовская порода характеризуется уникальными продуктивными и биологическими качествами: высокой плодовитостью – 270 ягнят и более на 100 маток, полиэстричностью – способностью осеменяться и ягниться во все времена года, в отличие от других пород овец. Овчины романовских овец являются лучшими в мире. Благодаря особенностям морфологического строения руна и гистологии кожи романовские овчины легкие, прочные, теплоемкие и имеют прекрасный эстетический вид [2]. Наряду с ценными продуктивными и биологическими качествами животные этой породы имеют пониженную жизнеспособность и мясную продуктивность [2, 3].

При интродукции в Сибирь животных из других климатогеографических зон обращают внимание на процессы адаптации [4].

Овцы склонны к медленным инфекциям, особенно к легочному аденоматозу в раннем возрасте. Неудовлетворительные убойные качества характеризуются низким коэффициентом мясности; туши молодняка до года имеют нетоварный вид [5].

Рис. 1. Романовская порода овец
Fig. 1. Romanov sheep breed

Родина романовских овец — Ярославская область. На сегодняшний день овцеводством в Ярославской области занимаются 9 сельскохозяйственных предприятий, 23 крестьянских (фермерских) хозяйства и более 700 личных подсобных хозяйств. Численность овец в хозяйствах всех категорий составляет свыше 25 тыс. голов. По породному составу наибольший удельный вес занимают именно овцы романовской породы – 69,6 %, остальные – помеси романовской с мясными породами, используемыми для производства баранины, а также овцы дагестанской, ташлинской, катумской пород. По расчетам специалистов Ярославского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства, для сохранения устойчивости генеалогической структуры породы численность поголовья романовских овец должна насчитывать не менее 13,7 тыс. голов, в том числе 5,5 тыс. голов овцематок [6, 7].

Для быстрого увеличения поголовья и улучшения мясных качеств романовских овец сотрудники ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста разработали программу сохранения и развития романовского овцеводства, а также методику создания и разведения мясо-шубных овец в типе романовской породы с повышенной жизнеспособностью. С помощью этой методики и программы создан тип мясо-шубных овец пронский в романовской породе [8, 9].

Романовская порода входит в 200 уникальных пород овец мира по классификации ФАО. Она широко используется для улучшения других пород овец путем создания внутрипородных типов и линий с заданными признаками [9].

Овец романовской породы разводят в Российской Федерации практически повсеместно. Самое большое количество животных в Центральном федеральном округе – 49,8 тыс. голов. Разведением овец романовской породы занимаются не только в нашей стране (в России её разводят в 36 регионах), но и за рубежом: во Франции, Чехии, Испании, Португалии, Канаде, Болгарии, Венгрии и других государствах. Для поддержания общего поголовья овец романовской породы и совершенствования ее продуктивности большое внимание уделяется племенной работе в племенных стадах [8]. В основу селекции в романовском овцеводстве положено чистопородное разведение по генеалогическим группам, межлинейное кроссирование и топкроссинг с обязательной ротацией генеалогических групп во всех племенных и генофондных хозяйствах. Особое внимание при этом обращается на повышение эффективности оценки и отбора овец по продуктивным и племенным качествам, проведение целенаправленного подбора пар, позволяющего закрепить в потомстве желательные для породы продуктивные признаки [10].

Воспроизводительные способности баранов-производителей в сравнении с матками изучены в меньшем объеме. Установлено очень раннее половое созревание овец романовской породы. Баранчики способны к спариванию с 3–4- месячного возраста, что, видимо, является результатом естественного отбора, связанного с фактом совместного выращивания самцов и самок. Однако целенаправленную работу по использованию баранов, особенно для искусственного осеменения маток, целесообразно начинать с 12–15-месячного возраста при их живой массе 50–55 кг [11].

В настоящее время в романовском овцеводстве большое внимание должно уделяться генофондным и племенным стадам – носителям наследственности ценных хозяйственно полезных признаков породы. Для этого нужна комплексная оценка фенофонда романовской породы овец в условиях Западной Сибири. Отбор и подбор родительских пар в этих стадах является наиболее ответственной задачей селекционеров, поскольку сохранение на надлежащем уровне многочисленных полезных признаков в малочисленной популяции – очень сложная задача [8, 9]. Существующая в настоящее время система выращивания племенных баранчиков и способы их оценки до периода первого в их жизни племенного назначения и реализации потребителям при бонитировке не предусматривают предварительную их оценку по воспроизводительной способности и не гарантируют последующее полноценное использование этих животных как производителей. До 20% и более нормально развитых баранчиков, отвечающих необходимым зоотехническим требованиям, при достижении воспроизводительного возраста не могут быть сразу оценены и использованы как производители из-за стойкого торможения их половых рефлексов [12,13].

В настоящее время растет интерес и потребность в дополнительных знаниях, касающихся репродуктивных характеристик сельскохозяйственных животных, особенно у животных с сезонным полиэструсом. Половое поведение и качество спермы являются основными параметрами, ограничивающими репродуктивную эффективность самцов, и зависят от породы, географического положения, сезона года. Характеристики спермы, гормональные профили и характеристики семенной жидкости также меняются со временем у разных пород [14,15].

Известно, что семенная плазма содержит вещества, которые поддерживают сперматозоиды. Некоторые вещества также отражают эффективность репродуктивной системы и сперматозоидов. Основная роль семенной плазмы, как правило, заключается в создании оптимальной среды для хранения спермы. Так, например, семенная плазма также способствует внешнему оплодотворению, создавая благоприятную микросреду для движения сперматозоидов. Таким образом, информация о сезонных изменениях и составе семенной плазмы или других биологических жидкостей может быть использована в целях создания среды для использования в качестве разбавителя или для хранения спермы. Катионы Na^+ и K^+ в семенной плазме устанавливают осмотический баланс, в то время как необходимые микроэлементы являются компонентами многих важных ферментов. Таким образом, биохимическая оценка семенной плазмы может быть важна для оценки качества спермы [16,17].

Сезонность у овцы может быть измерена наличием или отсутствием желтого тела в яичниках и количеством фолликулов, которые изменяют типы и уровни секретируемых стероидных гормонов (тестостерон, эстрадиол, прогестерон, кортизол). Аналогичным образом, у баранов имеются признаки сезонности половой активности, о чем свидетельствуют изменения диаметра яичек и уровня секреции половых гормонов. С.С. Вачевский и др. [14] показали, что эти сезонные изменения примерно соответствуют активному размножению самок одной и той же породы. Следовательно, давление отбора, оказываемое на самок с целью постепенного продления сезонной активности, также может быть отражено сезонными изменениями в характеристиках и функциях семенников их мужского потомства [18,19].

В регионах с умеренным климатом большинство пород овец вступают в эструс только в осенние и зимние месяцы. До этого времени баранов не рассматривали как сезонных производителей, поскольку они сохраняют свою плодовитость в течение всего года. Однако в летние месяцы объем семени уменьшается, и у животных может наблюдаться снижение влечения к самкам [20].

Выраженные изменения уровня тестостерона в течение года подчеркивают тот факт, что барана, как и овцу, следует рассматривать как сезонного производителя, даже несмотря на то, что он никогда не впадает в период полного полового покоя и бесплодия в любое время года. Когда изучали закономерности секреции ЛГ (лютеинизирующего гормона) и тестостерона у животных, стало очевидно, что баран, как и бык, и человек выделяет ЛГ и тестостерон эпизодически в течение 24 ч. У быка и барана пики тестостерона часто, по-видимому, связаны с предшествующими всплесками ЛГ, хотя у человека эта связь менее очевидна [21].

У баранов очевидное сезонное изменение частоты пиков тестостерона может представлять собой острую стероидогенную реакцию на повышенную частоту выделения ЛГ, тогда как повышенные базальные уровни тестостерона могут представлять собой хроническую реакцию на более общее увеличение секреции ЛГ [22].

Тестостерон у самцов вырабатывается в интерстициальных клетках (клетках Лейдига) семенников под контролем гонадотропин-рилизинг-гормона (ГнРГ) гипоталамуса, лютеинизирующего гормона гипофиза и в незначительном количестве в коре надпочечников. ЛГ стимулирует клетки Лейдига на выработку тестостерона, дигидротестостерона и небольшого количества эстрадиола [17].

Фолликулостимулирующий гормон (ФСГ) не напрямую стимулирует сперматогенез, а путем действия на клетки Сертоли. Эти клетки также секретируют ингибин, который оказывает влияние на гипофиз и регулирует секрецию фолликулостимулирующего гормона [19].

Глобулин, связывающий половые гормоны (SHBG) у овец, является циркулирующим гликопротеином, который транспортирует тестостерон и другие стероиды в крови. Глобулин, связывающий половые гормоны (SHBG), представляет собой гликопротеин, продуцируемый в печени, который транспортирует определенные половые стероиды в системе кровообращения и регулирует их доступ к клеткам-мишеням. SHBG переносит тестостерон и другие стероиды в плазме крови, снижает их метаболический клиренс и регулирует их доступ к тканям-мишеням.

SHBG может секвестрировать стероиды из тканей-мишеней [23, 24].

Андрогенный рецептор (AR) – один из рецепторов стероидных гормонов у овец, активируемый андрогенами – тестостероном или дигидротестостероном. Относится к подсемейству 3, группе С семейства ядерных рецепторов, способных непосредственно взаимодействовать с ядерной ДНК. Андрогеновый рецептор активируется при связывании с андрогенами в цитоплазме, а затем переносится в ядро [25, 26].

У самок тестостерон в незначительном количестве вырабатывается в надпочечниках и яичниках. В свою очередь, по механизму отрицательной обратной связи тестостерон регулирует секрецию гонадолиберина и гонадотропина [19].

Повышение уровня прогестерона, эстрогена и тестостерона подавляет выработку ГнРГ или ЛГ и, следовательно, секрецию тестостерона. Тестостерон, ГнРГ и ЛГ имеют пульсирующий характер секреции с импульсами, происходящими у самцов через каждые 80 мин. Существует также суточная периодичность выработки гормона с наиболее низкой концентрацией тестостерона, приходящейся на утренние часы [21].

Тестостерон оказывает локальное действие на ткани, является основным андрогеном в циркулирующем русле. Он также служит в качестве прогормона и может превращаться с помощью 5α(альфа)-редуктазы в дигидротестостерон или путем ароматизации в эстрадиол-17β(бета) в периферических тканях. Эти гормоны оказывают паракринное действие, также они могут входить в кровоток и оказывать гемокринное (гормональное) действие [20].

Тестостерон вызывает дифференциацию вольфовых протоков, индуцирует и способствует сперматогенезу, а также поддерживает потенцию. Дигидротестостерон вызывает вирилизацию наружных половых органов, развитие простаты и развитие вторичных половых признаков у самцов в период полового созревания [16].

При крипторхизме тестостерон у животных вырабатывается, а сперма — нет. Такие самцы имеют габитус и поведение типичного самца, несмотря на крипторхизм и стерильность. Врожденный гипогонадизм связан с аномально малыми размерами семенников, тестикулярной дисфункцией и/или нарушением функции со стороны гипоталамуса или выделения гонадотропина [16].

Повышенный уровень тестостерона у животных наблюдается при андрогенпродуцирующей опухоли яичка или яичников, синдроме Иценко-Кушинга; пониженный уровень – при кастрации (приводит к быстрому снижению уровня тестостерона), остром голодании, наличии эстрогенпродуцирующей опухоли, гермафродитизме, использовании половых гормонов в качестве терапевтических средств [17].

Цель работы – изучение содержания и изменчивости тестостерона у взрослых и молодых баранов романовской породы в условиях Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является гормональный статус овец романовской породы в различные периоды онтогенеза в Западной Сибири. Кровь отбирали у 10 баранов-производителей и у 30 баранчиков 4-месячного возраста с помощью вакуэт-метода из яремной вены животного в утренние часы до кормления. Рацион кормления соответствовал зоотехническим нормам для овец романовской породы. Животные на момент взятия проб были клинически здоровы.

В зоне разведения овец проводился постоянный комплексный мониторинг содержания тяжелых металлов в воде, почве, кормах, органах и тканях. В почве, воде и кормах разных районов Сибири уровень содержания микроэлементов находится в пределах агрохимических и биогеохимических норм [27, 28].

В сыворотке крови по унифицированной методике был определен гормон тестостерон. Исследование на тестостерон выполняли методом конкурентного иммуноферментного анализа с набором реагентов «СтероидИФА-тестостерон» для количественного определения концентрации тестостерона в сыворотке крови. Лунки покрыты мышиными моноклональными к тестостерону антителами. Тестостерон из отобранного образца конкурирует с тестостероном в конъюгате за связывание с антителами на поверхности лунок с последующим образованием «сэндвича», содержащего пероксидазу. Регистрация результатов происходит по изменению оптической плотности. Иммуноферментный анализ проводили на анализаторе Thermo Scientific Multiskan FC (с инкубатором).

Иммуноферментный анализ (ИФА) – лабораторный иммунологический метод качественного или количественного определения различных соединений, от низкомолекулярных соединений, пептидных и стероидных гормонов, фармакологических препаратов, пестицидов, до вирусов и бактерий и даже до других антител. В основе ИФА лежит специфическая реакция «антиген – антитело». Выявление образовавшегося комплекса проводят с использованием фермента в качестве метки для регистрации сигнала [29–31].

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась при помощи стандартных методов описательной статистики: средняя арифметическая, стандартная ошибка, стандартное отклонение, коэффициент вариации, медиана, минимальное и максимальное значения, первый и третий квартили, межквартильный размах [32].

Статистическая обработка исходных данных проводилась с помощью программы Microsoft Office Excel 2007 и языка статистического программирования и среды анализа данных RStudio, версии 1.2.5033. Для обработки данных в данной программе использовали следующие функции: descrstats, summary, sd, read.table, write.table, aes.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гормонодиагностика – определение концентрации гормонов для диагностики эндокринных заболеваний, глубоких нарушений обмена веществ и нарушений воспроизводительной функции. Наиболее часто в ветеринарной практике определяются концентрация прогестерона, тестостерона, эстрадиола и его метаболитов, трийод- и тетрайодтиронина [29].

Тестостерон – андрогенный мужской половой гормон, вырабатываемый клетками Лейдига, расположенными в семенниках самцов, из холестерина. У самок в небольших количествах секретируется яичниками. Тестостерон у самцов участвует в развитии половых органов самца и вторичных половых признаков, в активизации метаболизма липидов, холестерина, углеводов, белков и т.д., а также регулирует поведение и сперматогенез. Уровень тестостерона в крови является важным показателем при оценке функционального состояния семенников [31].

Когда популяции находятся под угрозой исчезновения, мужская фертильность является критическим фактором для продолжения выживания вида, поэтому важно понимать, как эти факторы также становятся ограничивающими [33].

В популяциях, которые находятся в упадке, снижение фертильности приводит к падению числа потомства, что, в свою очередь, сужает спектр генетического отбора. Это сокращение генетического спектра имеет далеко идущие последствия для романовской породы и других местных пород в России [34].

Поэтому одним из важных показателей биотехники репродукции животных являются уровень и динамика основного полового гормона самцов – тестостерона.

Содержание тестостерона у взрослых и молодых баранов романовской породы представлено в табл. 1. Установлено, что среднее содержание тестостерона в сыворотке крови было выше у баранов-производителей в 1,8 раза, чем у баранчиков ($p < 0,05$).

Таблица 1

Содержание тестостерона у взрослых и молодых баранов романовской породы, ммоль/л
Testosterone content in adult and young Romanov breed rams, mmol/l

Показатель	n	$\bar{X} \pm S_x$	Me	Соотношение крайних вариант	Референсные значения
Бараны-производители	10	0,774 ± 0,138	0,546	1:4,4	0,65–1,54
Баранчики (4 мес)	30	0,422 ± 0,046	0,340	1:8,2	0,20–0,88

Для каждой породы овец в зависимости от экологических условий должны разрабатываться референсные значения. Полученные значения позволят при необходимости осуществлять биокоррекцию функционального состояния органов романовских овец.

Графики распределения тестостерона у баранов-производителей и баранчиков романовской породы представлены на рис. 2.

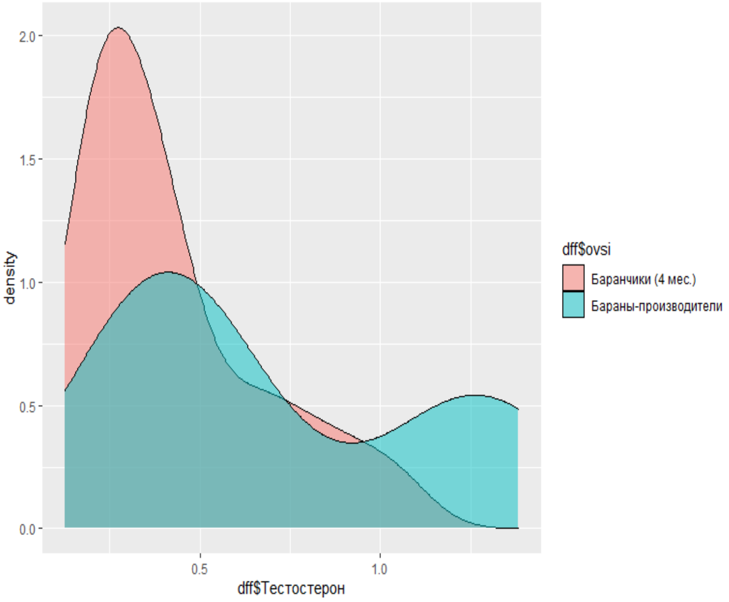


Рис. 2. Графики распределения тестостерона у баранов-производителей и баранчиков романовской породы
Fig. 2. Graphs of testosterone distribution in sheep and rams of the Romanov breed

При распределении двух выборок некоторая часть членов этих выборок оказалась в одних и тех же классах вариационного ряда. Такие ряды, у которых часть классов оказывается общей, называют трансгрессирующими, а сам факт неполного разобщения вариационных рядов и их графиков – трансгрессией. На рис. 2 вариационные кривые трансгрессирующих рядов выглядят так, что правая сторона одной кривой и левая сторона другой взаимно проникают друг в друга, так что под ними образуется часть общей площади в системе прямоугольных координат, показывающая большую величину трансгрессии. Это указывает на неидентичность групп.

В исследованиях P. Sarlos et al. [22] показано, что бараны во Франции, которые только что достигли половой зрелости, и в возрасте до 1 года имели гораздо более низкий репродуктивный потенциал, чем 2- и 3-летние самцы. Это говорит о том, что более низкий репродуктивный потенциал у 1–2-летних баранчиков может быть следствием высокого потенциала роста, который подавляет репродуктивное развитие, пока животное не достигнет половой зрелости.

Изменчивость тестостерона в сыворотке крови у взрослых и молодых баранов романовской породы представлена в табл. 2.

Таблица 2

Изменчивость тестостерона у взрослых и молодых баранов романовской породы
The variability of testosterone in adult and young rams of the Romanov breed

Показатели	Sd	Min	Max	Q_1	Q_3	IQR
Бараны-производители	0,437	0,307	1,38	0,417	1,22	0,803
Баранчики (4 мес)	0,251	0,128	1,06	0,233	0,549	0,316

Уровень тестостерона характеризовался высокой индивидуальной изменчивостью. У производителей соотношение крайних вариант было значительно ниже (1 : 4,5), чем у молодых баранов (1 : 8,3). Это объясняется и тем, что при отборе производителей обращают внимание также на живую массу.

Увеличение семенных параметров, таких как объем спермы, подвижность сперматозоидов, концентрация сперматозоидов и процент живых сперматозоидов, наблюдается у баранов-производителей в возрасте от 2 до 3 лет по сравнению с баранчиками в возрасте 4 месяцев [35].

Данное исследование романовских баранов дало некоторые знания о таком факторе, как возраст, который может влиять на воспроизводство романовских овец, что облегчает понимание того, как этим фактором можно манипулировать для улучшения племенного потенциала баранов и содействия усилиям по сохранению данной породы. Романовские бараны достигают своего пика репродуктивного потенциала в 3 года, в то время как параметры семени снижаются в 4 года. Качество спермы улучшилось с увеличением возраста до 3 лет, поэтому возраст может использоваться в качестве критерия для селекции племенных баранов [36, 37].

Таким образом, возраст барана в овцеводстве важен, поскольку он влияет на количество овцематок, которых баран способен обслужить, и на качество спермы, вырабатываемой животным.

Средние показатели уровня тестостерона в крови у баранов разных пород в условиях Ставропольского края приведены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание тестостерона у разных пород овец, ммоль/л [4]
Testosterone content in different breeds of sheep, mmol/l [4]

Порода овец	$\bar{X} \pm S_x$	Живая масса, кг
Северо-кавказская мясо-шёрстная	4,96±0,25	105–160
Российский мясной меринос	4,76±0,27	60–68
Полл дорсет	4,28±0,3	110–150
Тексель	3,59±0,22	130
Карачаевская	1,96±0,12	60–70
Романовская	0,774 ± 0,138	65–75

Сравнивая полученные результаты исследований с данными литературы, удалось заметить характерные межпородные различия по концентрации тестостерона в сыворотке крови баранов. Максимальное содержание гормона в сыворотке крови выявлено у северо-кавказской мясо-шёрстной породы (4,96 ммоль/л), минимальное же – у породы карачаевская (1,96 ммоль/л). Наши данные, полученные в условиях Западной Сибири, имеют самое минимальное значение среди представленных пород (0,774 ммоль/л). Таким образом, приведенные материалы свидетельствуют о межпородных различиях в содержании тестостерона в сыворотке крови.

Кроме того, эти породы различаются по живой массе. Наибольшую массу имеют бараны северо-кавказской мясо-шерстной породы (105–160 кг). Романовские и карачаевские производители характеризуются более низкой живой массой (60–75 кг). Видимо, уровень тестостерона определяется и живой массой. Однако среди этих пород имеется исключение – бараны российского мясного мериноса с живой массой 60–68 кг имели высокий уровень тестостерона.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены различия в уровне тестостерона у овец романовской породы в зависимости от периода онтогенеза. У взрослых баранов содержание тестостерона было в 1,8 раза выше, чем у баранчиков ($p<0,05$).

2. Концентрацию тестостерона можно предварительно использовать в качестве физиологической нормы для популяции романовских баранов в условиях Западной Сибири.

3. Установлены референсные границы для романовских баранов-производителей (0,65–1,54 ммоль/л) и баранчиков в возрасте 4 месяцев (0,2–10,88 ммоль/л).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Correlations* of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in as1-casein and β-lactoglobulin genes in romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich [et al.] // Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018. — 2018. — С. 47.

2. *Двалишвили В.Г.* Романовская порода овец, методы повышения мясной продуктивности // Сельскохозяйственный журнал. — 2017. — № 10. — С. 1–8.
3. *Особенности* липидного состава мышечной ткани молодняка овец основных пород, разводимых на Южном Урале / В.И. Косилов, П.Н. Шкилёв, Д.А. Андриенко [и др.] // Известия ОГАУ. — 2013. — № 1 (39). — С. 93–95.
4. *Проблемы* сельскохозяйственной экологии / А.Г. Незавитин, В.Л. Петухов, А.Н. Власенко [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2000. – 255 с.
5. *Билтуев С.И.* Создание типа и породы овец в специфических экологических условиях Западной Сибири и Республики Бурятия (методы создания, биологические особенности и продуктивные качества): монография / Бурят. ГСХА им. В. Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2010. – 240 с.
6. *Ерохин А.И., Ерохин С.А.* Овцеводство. – М.: Изд-во МГУП, 2004. — 480 с.
7. *Скляров П.Н., Кошевой В.П., Науменко С.В.* Разработка методики гинекологической, акушерской и андрологической диспансеризации овец и коз // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2015. – № 1–2. – С. 68–70.
8. *Кушнир А.В.* Биология, генетика и селекция овцы / Ин-т цитологии и генетики СО РАН [и др.]. – Новосибирск, 2010. — 524 с.
9. *Трушников В.А., Лобанова Т.В., Попова И.Ю.* Животноводство Алтая (становление, развитие, современное состояние): монография. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. — 606 с.
10. *Костылев М.Н., Барышева М.С.* Продуктивность овец романовской породы в племенных хозяйствах Ярославской области // Овцы, козы, шерстяное дело. — 2019. — № 2. — С. 37–39.
11. *Лобков В.Ю., Белоногова А.Н., Арсеньев Д.Д.* Биологические особенности овец романовской породы: монография. – Ярославль: Ярослав. ГСХА, 2012. – 162 с.
12. *Глазко В.И.* Традиционная и метаболомическая селекция овец: монография. – Москва: ИНФРА-М, 2014. — 558 с.
13. *Афанасьева А.И.* Особенности гормонального статуса беременных коз горноалтайской пуховой породы при технологических нагрузках // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2006. – № 2. – С. 50–54.
14. *Вачевский С.С., Осипчук Г.В., Браду Н.Г.* К вопросу повышения репродуктивных качеств молодых баранов // Сборник научных трудов СКНИИЖ. — 2016. — № 2. — С. 1–4.
15. *Клещев М.А., Петухов В.Л., Осадчук Л.В.* Влияние породы и генеалогической линии на показатели спермопродукции и разнообразие морфологических форм сперматозоидов у быков-производителей // Вавиловский журнал генетики и селекции. — 2018. — Т. 22, № 8. — С. 931–938.
16. *Zamiri M.J., Khodaei H.R.* Seasonal thyroidal activity and reproductive characteristics of Iranian fat - tailed rams // Animal Reproduction Science 88. — 2005. — P. 245–255.
17. *Seasonal* on sperm parameters, scrotal measurements, and serum testosterone in Ouled-Djellal breed rams in Algeria / S. Belkadi, B. Safsaf, N. Heleili [et al.] // Vet. World. — 2017. — N 10 (12). — P. 1486–1492.
18. *Мамонтова Т.В., Айбазов М.М., Сеитов М.С.* Сравнительная характеристика половой активности, уровня спермопродукции и устойчивости к криоконсервации спермы баранов различных пород // Известия ОГАУ. — 2018. — №1 (69). — С. 145–147.
19. *Karagiannidis A., Varsakeli S., Karatzas G.* Characteristics and seasonal variations in the semen of Alpine // Saanen and Damascus goat bucks born and raised in Greece. Theriogenology 53:1285. — 2000. — P. 84–90.
20. *Belkhiri Y., Bouzebda-afri F., Bouzebda Z.* Age and Season on Sexual Parameters in Mature Rams Used in l Insemination Center (Algeria) // Global Veterinaria. — 2017. — N 18 (1). — P. 31–40.
21. *Марченко В.В.* Влияние полового тренинга на эндокринную активность семенников и воспроизводительную способность баранчиков // Известия СПбГАУ. — 2017. — № 2 (47). — С. 133–137.

22. *Pubertal* changes in testicular parameters and secretion of testosterone in Najdi and Naemi ram lambs under desert conditions / A.A. Ahmed, M.M. Alfuraiji, S.A. Kandeal [et al.] // Indian Journal of Animal Research. — 2018. — N 52 (2). — P. 212–219.
23. *Kouretas D.* Sex-hormone binding globulin from sheep serum: and of pregnancy and treatment with exogenous estradiol // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology. – 1999. – T. 123, N. 3. – C. 233–239.
24. *Kassab D.* labeling of homologous met-133 and met-139 amino acids of rabbit and sheep sex hormone-binding globulins with the unsubstituted testosterone photoreagent // Biochemistry. – 1998. – T. 37, N. 40. – C. 14088–14097.
25. *Cook B., Hunter R.H.F., Kelly A.S.L.* Steroid-binding proteins in follicular and peripheral plasma from pigs, cows and sheep // Reproduction. – 1977. – T. 51, N 1. – C. 65–71.
26. *Xita N.* Association of the (TAAAA) n repeat polymorphism in the sex hormone-binding globulin (SHBG) gene with polycystic ovary syndrome and relation to SHBG serum levels // The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. – 2003. – T. 88, N 12. – C. 5976–5980.
27. *Ecological* and biochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia / A.I. Syso, V.A. Sokolov, V.L. Petukhov [et al.] / J. Pharm. Sci. And Res. — 2017. — Vol. 9 (4). — P. 368–374.
28. *Проблемы* селекции сельскохозяйственных животных / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1997. – 283 с.
29. *Качество* спермопродукции и воспроизводительная способность быков-производителей красной степной породы ОАО племпредприятие «Барнаульское» / А.И. Желтиков, О.И. Себежко, О.С. Короткевич [и др.] // Вестник НГАУ. — 2017. — № 3 (44). – С. 125–135.
30. *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. – 2017. – N 2. – С. 52–61.
31. *Влияние* различных факторов на жизнеспособность овец и коз / В.В. Герилович, М.В. Забелина, А.П. Скрынников [и др.] // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2016. – № 4. – С. 12–16.
32. *Фенотипическая* изменчивость активности ферментов полновозрастных овцематок романовской породы в условиях Кузбасса / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, Е.И. Тарасенко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 6. – С. 61–65.
33. *Хуснетдинова Н.Ф., Иолчиев Б.С.* Эндокринный профиль гибридных и чистопородных баранов-производителей в сравнительном аспекте // Проблемы и перспективы повышения эффективности племенного животноводства и кормопроизводства. – 2021. – С. 135–137.
34. *Sarlos P.* Seasonal changes of scrotal circumference, blood plasma testosterone concentration and semen characteristics in Racka rams // Small Ruminant Research. – 2013. – T. 111, N 1–3. – P. 90–95.
35. *Hoseini S.A., Mohammadzadeh S., Kadivar A.* Сравнительное изучение семени баранов романовской породы и породы LoriBakhtiari // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 2. – С. 318–325.
36. *Developmental* programming: impact of prenatal testosterone excess on steroidal machinery and cell markers in visceral adipocytes of female sheep / M. Puttabyatappa, C. Lu, J.D. Martin // Reprod Sci. – 2018. – № 25 (7). – P. 1010–1023.
37. *Ассоциация* генотипов β-лактоглобулина у овец романовской породы с гематологическими показателями крови / Е.А. Климанова, З.Т. Поповский, Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 4 (61). – С. 126–136.

REFERENCES

1. Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Nazarenko A.V., Kamaldinov E.V., Andreeva V.A., Petukhov V.L., Popovski Z.T., Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in as1-casein and β-lactoglobulin genes in romanov

sheep breedб *Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018*, 2018, p. 47.

2. Dvalishvili V.G., *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal*, 2017, No. 10, pp. 1–8. (In Russ.)
3. Kosilov V.I., SHkilyov P.N., Andrienko D.A., Nikonova E.A., *Izvestiya OGAU*, 2013, No. 1 (39), pp. 93–95. (In Russ.)
4. Nezavitin A.G., Petuhov V.L., Vlasenko A.N., Zhigachev A.I., Zaharov N.B., Kobcev M.F., Korotkevich O.S., Naplekova N.N., *Problemy sel'skohozyajstvennoj ekologii* (Problems of agricultural ecology), Novosibirsk: Nauka, 2000, p. 255.
5. Biltuev S.I., *Sozdanie tipa i porody ovets v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoy Sibiri i Respubliki Buryatiya (metody sozdaniya, biologicheskie osobennosti i produktivnye kachestva)* (Creation of the type and breed of sheep in the environmental conditions of Western Siberia and the Republic of Buryatia (creation methods, biological characteristics and productive qualities)), Buryatskaya GSKHAim. V. R. Filippova, Ulan-Ude, 2010, 240 p.
6. Erohin A.I., Erohin S.A., *Ovtsevodstvo* (Sheep breeding), Izd-vo MGUP, 2004, 480 p.
7. Sklyarov P.N., Koshevoj V.P., Naumenko S.V., *Agrarnyj vestnik YUgo-Vostoka*, 2015, No. 1–2, pp. 68–70. (In Russ.)
8. Kushnir A.V., *Biologiya, genetika i selektsiya ovtsy* (Biology, genetics and sheep breeding), Novosibirsk, 2010, 524 p.
9. Trushnikov V.A., Lobanova T.V., Popova I.YU., *Zhivotnovodstvo Altaya (stanovlenie, razvitie, sovremennoe sostoyanie)* (Animal husbandry of Altai (formation, development, current state)), Barnaul: Izd-vo AGAU, 2005, 606 p.
10. Kostylev M.N., Barysheva M.S., *Ovcy, kozy, sherstyanoedelo*, 2019, No. 2, pp. 37–39. (In Russ.)
11. Lobkov V.YU., Belonogova A.N., Arsen'ev D.D., *Biologicheskie osobennosti ovets romanovskoy porody* (Biological features of sheep of the Romanov breed), Yaroslavl: Izd-vo YAroslavskaya GSKHA, 2012, 162 p.
12. Glazko V.I., *Traditsionnaya i metabolomicheskaya selektsiya ovets* (Traditional and metabolomic breeding of sheep), Moscow: Infra-M, 2014, 558 p.
13. Afanas'eva A.I., *Ovcy, kozy, sherstyanoedelo*, 2006, No. 2, pp. 50–54. (In Russ.)
14. Vachevskij S.S., Osipchuk G.V., Bradu N.G., *Sbornik nauchnyh trudov SKNIIZH*, 2016, No. 2, pp. 1–4. (In Russ.)
15. Kleshchev M.A., Petuhov V.L., Osadchuk L.V., *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 2018, T. 22, No. 8, pp. 931–938. (In Russ.)
16. Zamiri M.J., Khodaei H.R., Seasonal thyroidal activity and reproductive characteristics of Iranian fat - tailed rams, *Animal Reproduction Science 88*, 2005, pp. 245–255.
17. Belkadi S., Safsaf B., Heleili N. [et al.], Seasonal on sperm parameters, scrotal measurements, and serum testosterone in Ouled Djellal breed rams in Algeria, *Vet. World*, 2017, No. 10(12), pp. 1486–1492.
18. Mamontova T.V., Ajbazov M.M., Seitov M.S., *Izvestiya OGAU*, 2018, No. 1 (69), pp. 145–147. (In Russ.)
19. Karagiannidis A., Varsakeli S., Karatzas G., Characteristics and seasonal variations in the semen of Alpine, *Saanen and Damascus goat bucks born and raised in Greece, Theriogenology 53:1285*, 2000, pp. 84–90.
20. Belkhiri Y., Bouzebda-afri F., Bouzebda Z., Age and Season on Sexual Parameters in Mature Rams Used in Insemination Center (Algeria), *Global Veterinaria*, 2017, No. 18 (1), pp. 31–40.
21. Marchenko V.V., *Izvestiya SPbGAU*, 2017, No. 2 (47), pp. 133–137. (In Russ.)
22. Ahmed A.A., Alfuraiji M.M., Kandeal S.A. [et al]., Pubertal changes in testicular parameters and secretion of testosterone in Najdi and Naemi ram lambs under desert conditions, *Indian Journal of Animal Research*, 2018, No. 52 (2), pp. 212–219.
23. Kouretas D., Sex-hormone binding globulin from sheep serum: and of pregnancy and treatment with exogenous estradiol, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 1999, T. 123, No. 3, pp. 233–239.
24. Kassab D., labeling of homologous met-133 and met-139 amino acids of rabbit and sheep sex hormone-binding globulins with the unsubstituted testosterone photoreagent, *Biochemistry*, 1998, T. 37, No. 40, pp. 14088–14097.
25. Cook B., Hunter R.H.F., Kelly A.S.L., Steroid-binding proteins in follicular and peripheral plasma from pigs, cows and sheep, *Reproduction*, 1977, T. 51, No. 1, pp. 65–71.

26. Xita N., Association of the (TAAAA) n repeat polymorphism in the sex hormone-binding globulin (SHBG) gene with polycystic ovary syndrome and relation to SHBG serum levels, *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2003, T. 88, No. 12, pp. 5976–5980.
27. Syso A.I., Sokolov V.A., Petukhov V.L. [et al.], Ecological and biochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *J. Pharm. Sci. andRes*, 2017, Vol. 9 (4), pp. 368–374.
28. Panov B.L, Petukhov V.L., Ernst L.K. [i dr.], *Problemy selektsii sel'sko khozyaistvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk: Nauka, 1997, 283 p.
29. ZHeltikov A.I., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Marenkov V.G., Nezavitin A.G., Dement'ev V.N., Klimenok I.I., *Vestnik NGAU*, 2017, No. 3 (44), pp. 125–135. (In Russ.)
30. Osadchuk L.V., Sebezhko O.I., Shishin N.G., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Petukhov V.L., Fikhman E.V., *Vestnik NGAU*, 2017, No. 2, pp. 52–61. (In Russ.)
31. Gerilovich V.V., Zabelina M.V., Skrynnikov A.P., Babochkin P.S., *Ovcy, kozy, sherstyanoedelo*, 2016, No. 4, pp. 12–16. (In Russ.)
32. Morozov I.N., Sebezhko O.I., Tarasenko E.I., Klimanova E.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, T. 36, No. 6, pp. 61–65. (In Russ.)
33. Husnetdinova N.F., Iolchiev B.S., *Problemy i perspektivy povysheniya plemennogo zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*, 2021, pp. 135–137. (In Russ.)
34. Sarlos P., Seasonal changes of scrotal circumference, blood plasma testosterone concentration and semen characteristics in Racka rams, *Small Ruminant Research*, 2013, T. 111, No. 1–3, pp. 90–95.
35. Hoseini S.A., Mohammadzadeh S., Kadivar A., *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2018, T. 53, No. 2, pp. 318–325. (In Russ.)
36. Puttabyatappa M., Lu C., Martin J.D., Developmental programming: impact of prenatal testosterone excess on steroidal machinery and cell ntiation markers in visceral adipocytes of female sheep, *ReprodSci*, 2018, No. 25 (7), pp. 1010–1023.
37. Klimanova E.A., Popovskij Z.T., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Sebezhko O.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 4 (61), pp. 126–136. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-225-234
УДК636.32/38.082.13:636.082.12

СВЯЗЬ ГЕНОТИПОВ ПО ГЕНАМ BLG, IGF1 И CSN3 С ПУХОВОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ АЛТАЙСКОЙ БЕЛОЙ ПУХОВОЙ ПОРОДЫ КОЗ

[1]**О.Л. Халина,** научный сотрудник
[1,2]**Д.А. Авадани,** младший научный сотрудник, аспирант
[1,2]**Г.М. Гончаренко,** доктор биологических наук
[1]**Т.С. Хорошилова,** кандидат биологических наук
[3]**Т.Б. Каргачакова,** старший научный сотрудник
[1]**Н.Б. Гришина,** кандидат биологических наук

[1]*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук*
[2]*Новосибирский государственный аграрный университет*
[3]*Горно-Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий*

E-mail: sibniptij@ngs.ru

Ключевые слова: козы, генотип, аллель, пуховая продуктивность, молоко, калорийность.

Реферат. Представлены исследования по изучению генотипической структуры алтайской белой пуховой породы по генам BLG, IGF-1 и CSN3. Геномную ДНК выделяли из крови 113 животных с использованием набора экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-В». Молекулярно-генетические реакции проведены на амплификаторе С1000 BioRad. Визуализация и идентификация результатов осуществлялись методом горизонтального электрофореза в 2 %-м агарозном геле с использованием гельдокументирующей системы E-Box-CX5.TS-20.M (Франция) в проходящем ультрафиолетовом свете. В результате исследований установлена частота генотипов и аллелей: BLG^{S1S1} – 17,7%, BLG^{S1S2} – 57,5, BLG^{S2S2} – 24,8, соответственно частота аллелей BLG^{S1} – 0,46; BLG^{S2} – 0,54; IGF^{AA} – 2,7; IGF^{AB} – 28,3 и IGF^{BB} – 69,0%. Частота аллелей составляет: IGF^{A} – 0,17, IGF^{B} – 0,83. Ген CSN3 у коз алтайской белой пуховой породы оказался мономорфным по аллелю $CSN3^{A}$. Анализ фактического и теоретического распределения генотипов BLG и IGF1 генов коз свидетельствует о генетическом равновесии в стаде. Пуховая продуктивность у исследованных животных составляет: начёс – 680 г, тонина пуха –19,13 мкм, длина пуха – 9,29 см. Козы с генотипом IGF^{AB} имеют больший начес пуха в сравнении с гомозиготным генотипом IGF^{AA}. Жирность молока животных находится в пределах 6,03–6,24 %, содержание белка – 3,48–3,72, лактозы – 4,56–4,90 %. При исследовании качественных показателей молока алтайских белых пуховых коз с разными генотипами BLG, IGF и CSN3 не выявлено достоверных различий. Наблюдается тенденция к увеличению содержания жира в молоке и калорийности молока у коз с генотипом IGF^{AA} – 7,62. Исследуемые козы алтайской белой пуховой породы имели высокую уравненность показателей по живой массе, длине пуха, содержанию пуха в процентах, тонине пуха – Cv<10 %.

RELATIONSHIP OF BLG, IGF1, AND CSN3 GENOTYPES WITH FLUFF AND MILK PRODUCTIVITY OF ALTAIC WHITE FLUFFY GOATS

[1]**O.L. Khalina,** Research Fellow
[1,2]**D.A. Avadani,** Junior Researcher, Ph.D. Student
[1,2]**G.M. Goncharenko,** Doctor of Biological Sciences
[1]**T.S. Khoroshilova,** Ph.D. in Biological Sciences
[3]**T.B. Kargachakova,** Senior Researcher
[1]**N.B. Grishina,** Ph.D. in Biological Sciences

[1]*Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences*
[2]*Novosibirsk State Agrarian University*
[3]*Gorno-Altay research institute of agriculture– branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology*

E-mail: sibniptij@ngs.ru

Ключевые слова: , milk, energy value.

Abstract. Studies on the genotypic structure of the Altai white down breed by BLG, IGF-1, and CSN3 genes are presented. Genomic DNA was isolated from the blood of 113 animals using the Amplie Prime DNA-Sorb-B clinical extraction kit. Molecular genetic reactions were performed on a C1000 BioRad amplifier. Visualization and identification of the results were determined by flatbed electrophoresis in 2% agarose gel using the E-Box-CX5.TS-20.M gel-documentation system (France) in transmitted ultraviolet light. As a result, the frequency of genotypes and alleles was established as follows: BLG^{S1S1} – 17,7%, BLG^{S1S2} – 57,5, BLG^{S2S2} – 24, respectively; BLG^{S1} – 0,46; BLG^{S2} – 0,54; IGF^{AA} – 2,7; IGF^{AB} – 28,3 и IGF^{BB} – 69,0%. The allele frequencies are IGF^{A} – 0,17 and IGF^{B} – 0,83. The CSN3 gene in Altai white down goats was monomorphic for the $CSN3^{A}$ allele. Analysis of the actual and theoretical distribution of BLG and IGF1 genotypes of goat genes indicates a genetic equilibrium in the flock. The down productivity of the studied animals is fleece - 680 g, down fineness -19.13 microns, and down length - 9.29 cm. Goats with the IGF^{AB} genotype have more wool than the homozygotic IGF^{AA} genotype. The fat content of the milk ranges from 6.03-6.24%, the protein content is 3.48-3.72%, and the lactose content is 4.56-4.90%. The study of milk quality indicators of Altai white down goats with different genotypes of BLG, IGF, and CSN3 revealed no significant differences. However, goats tend to increase milk fat and caloric content with the IGF^{AA} genotype - 7.62. The studied goats of the Altai white down breed had a high equilibrium of indicators by live weight, length of down, down content in percentage, and down fineness - Cv<10%.

Пуховое козоводство в Республике Алтай занимает ведущее положение в сельскохозяйственном производстве. Козы, благодаря своей неприхотливости к кормам, могут осваивать неудобные для других видов животных (крупный рогатый скот, лошади) гористые участки, от них получают высокого качества пух – могер, стоимость которого на мировом рынке находится в пределах 1500–1800 руб. По данным ВНИИплем, в 2020 г. в племенных хозяйствах России содержалось 21,2 тыс. голов пуховых коз, из них в Республике Алтай – 15,7 тыс. (74,0 %), в том числе белых пуховых коз – 6,0 тыс. голов [1]. Порода белых пуховых коз как селекционное достижение была утверждена в 2016 г. (патент №8985). Козы отличались высокой пуховой продуктивностью, начёс пуха в среднем составлял 735 г [2], в настоящее время этот признак находится на этом же уровне – 731 г [1].

Ценность пуха зависит от его тонины, чем она меньше, тем ценнее пух. Тонина пуха алтайских белых пуховых коз составляет 18–23 мкм, что по международной классификации относится к кашгоре, менее ценному пуху по сравнению с кашмирским. Кроме того, в шерстном покрове этой породы есть переходное волокно, которое можно устранить путём скрещивания с породами, имеющими более тонкий и уравненный пух, и последующим отбором особей с желательными признаками [3]. При этом необходимо учитывать корреляционные отношения фенотипических признаков: живая масса – настриг шерсти или начёс пуха, тонина пуха – начёс пуха и его длина, молочная продуктивность – энергия роста молодняка. Корреляции, обусловленные взаимодействием генов, связанных с продуктивными признаками, представляют особый интерес в оценке и прогнозировании развития селекционно-значимых признаков.

У коз, в отличие от крупного рогатого скота, SNP структурных генов изучено и описано немного. Тем не менее ряд исследователей показали значимость для селекции коз изучения полиморфизма генов BLG, IGF, CSN3 и определения желательных генотипов.

Ген BLG коз находится на 11-й хромосоме и представлен 4 аллелями, среди которых наиболее распространённые A и B [4]. Частота генотипов (BLG^{AA}, BLG^{AB}, BLG^{BB}) у разных пород коз значительно различается. Так, по некоторым данным [5, 6], у 79 % коз зааненской породы и у 92,1 % коз альпийской породы встречается генотип BLG^{BB}, тогда как у коз нубийской породы частота генотипов BLG^{BB} и BLG^{AB} практически одинаковая (50%). В то же время в другом стаде коз зааненской породы частота генотипа BLG^{AA} составляла 68 %, на долю генотипа BLG^{BB} приходилось 32 %. Молоко коз с генотипом BLG^{AA} характеризовалось повышенным содержанием жира (+0,17 %), белка (+0,11 %), лактозы (+0,09 %), СОМО (+0,17 %) [7].

Козы зааненской породы с гетерозиготным генотипом BLG^{AB} отличались более продолжительной лактацией, и от них получено больше молока на 110 кг, молочного жира – на 3,7, молочного белка – на 3,5 кг по сравнению с гомозиготными (BLG^{AA}) животными по этому гену [5]. Сравнительная оценка полиморфизм гена β- лактоглобулина (BLG) в стадах пуховых коз Республики Алтай показала, что генотип BLG^{S1S1} встречается чаще у коз алтайской белой пуховой породы на 8,3 и 11,5% ($p \leq 0{,}01$), чем у серых пуховых коз чуйского типа (СПК «Белтир»). Частота генотипа BLG^{S2S2} серых пуховых коз превосходит на 14,1–17,4 % белых ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$). Существенных отличий по гетерозиготному генотипу BLG^{S1S2} между белыми и серыми козами не выявлено [8].

Ген IGF-1 (инсулиноподобный фактор роста 1) представляет собой полипептид, по структуре и функциям похожий на инсулин. Он участвует в эндокринной, аутокринной и паракринной регуляции процессов роста, развития и дифференцировки клеток и тканей организма. Инсулиноподобный фактор роста представляет собой белок, который у человека кодируется геном IGF-1. Одним из важных эффектов IGF-1 является стимуляция роста костей в длину. Его уровень является лучшим маркёром для оценки продукции гормона роста [9]. Как показал ряд исследований [10–12], полиморфные варианты IGF-1 оказали влияние на рост и развитие курдской, аборигенной египетской и индийских пород коз.

Молочная продуктивность самок – важный селекционный признак не только для производства молока, но и для вскармливания потомства, находящегося на подсосе, так как в его первый период 1,5–2 месяца молоко матери является единственным кормом для них.

Количество и качество молочного питания молодняка в первые месяцы жизни оказывает глубокое воздействие на формирование их конституции и активное становление жизненно важных систем организма. В молочном козоводстве для увеличения товарности молока используют различные технологии вскармливания козлят: ранний отъём, смешанное и искусственное вскармливание [13]. Молочность коз алтайской белой пуховой породы за 5 месяцев лактации в среднем составила 1049 кг при жирности молока 4,36% с колебаниями по отдельным животным от 3 до 6% [14]. Такая высокая изменчивость при равных условиях кормления и содержания может быть обусловлена генетическими различиями генов, экспрессирующих белки молока. Большинство белков, содержащихся в молоке домашних жвачных животных, кодируется хорошо охарактеризованными генами: LALAB, BLG, CSN1S1, CSN1S2, CSN2 и CSN3 (α-LA; β-LG; и αS1-, αS2-, β- и κ-казеины), особенно у крупного рогатого скота [15–17].

Ген CSN3, как доказано многочисленными исследованиями, связан с качественным составом молока коров, особенно его сыропригодностью. У овец и коз отечественных пород полиморфизм этого гена практически не изучен. По данным S.K. Kiplagat и др. [18], наиболее распространённым аллелем этого гена у коз Восточной Африки был $CSN3^{B}$ – 0,750–0,953. У молочных коз из Колумбии частота генотипов CSN3 составляет: АА – 0,781, АВ – 0,206, ВВ – 0,013 [19]. Авторами установлено, что наиболее желательный генотип по содержанию жира – $CSN3^{AA}$.

Козы белой кашемировой породы шаанбей (Shaanbei White Cashmere) обладают мутацией по αS1-казеину, кодируемой геном CSN1S1, обозначенной как генотип II, которая связана с числом козлят при первом окоте. Авторы рекомендуют селекционировать коз с этой мутацией для увеличения многоплодия [19, 20].

Показанные различия в частоте генотипов гена CSN3 у коз и ассоциативная связь некоторых генотипов с качественными показателями молока позволяют рассматривать его в качестве потенциального маркёра этой продуктивности.

Цель выполненной работы – выявление полиморфизма генов BLG, IGF-1 и *CSN3* у коз алтайской белой пуховой породы и связи их генотипов с пуховой и молочной продуктивностью.

ОБЪЕКТЫ ИМЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы образцы крови и молока коз алтайской белой пуховой породы (113 голов) из ООО «Кайрал» (Республика Алтай).

Молекулярно-генетические исследования проведены в лаборатории биотехнологии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН. ДНК выделяли из крови, консервированной ЭДТА КЗ, с использованием набора для экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-В» по прописи изготовителя ООО «НекстБио». Определение полиморфизма генов BLG, IGF, CSN3 осуществляли методом ПЦР-ПДРФ (табл.1) с использованием амплификатора C1000 BioRad. Визуализацию и идентификацию генотипов определяли электрофорезом в 2 %-м агарозном геле использованием гельдокументирующей системы E-Box-CX5.TS-20.M (Франция) в УФ-свете [21–23].

Таблица 1

Праймеры для полимеразной цепной реакции
Polymerase chain reaction primers

Ген	Олигонуклеотидная последовательность праймеров	Рестриктаза	Источник
BLG	F 5’-CGG GAG CCT TGG CCC TCT GG-3’ R 5’-CCT TTG TCG AGT TTG GGT GT-3’	Sac III	C. Elmaci et al., [21]
IGF	F 5’-CACAGCGTATTATCCCAC-3’ R 5’-GACACTATGAGCCAGAAG-3’	Hae III	Liu Wu-Jun et al., [22]
CSN3	F 5’-TCC CAA TGT TGT ACT TTC TTA ACA TC-3’ R 5’-GCG TTG TCC TCT TTG ATG TCT CCT TAG-3’	Hae III	A. Kumar et al., [23]

Качественные показатели молока: содержание жира, протеина, лактозы, солей, СОМО, плотность определяли на анализаторе «Лактоскан СП». Расчет калорийности молока коз на 100 г проводили на заранее известных показателях БЖУ (белки – жиры – углеводы). Метод расчета – суммирование этих данных (полученных лабораторным анализом и вычислениями) предварительно умноженных на величину равную, выделяющейся энергии (калориям) при их расщеплении [24]. Частоты аллелей и генотипов, их ошибку вычисляли по формулам Л.А. Животовского и др. [25].

Полученные данные обрабатывались с использованием методов вариационной статистики по общепринятым методам [26] и компьютерных программ Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Генотипы животных определяли на основе данных электрофореграмм (рис. 1–3).

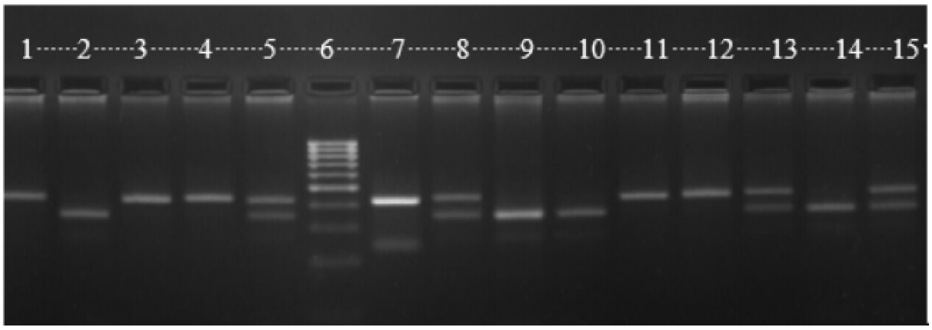


Рис. 1. Электрофоретическое разделение фрагментов рестрикции гена BLG: 2, 9, 10, 14 – BLG^{S1S1}; 1, 3, 4, 11, 12 – BLG^{S2S2}; 5, 8, 13, 15 – BLG^{S1S2}; 6 – маркер молекулярных масс Step 100 (Biolabmix, Новосибирск; 100-1000 bp)

Fig. 1. Electrophoretic separation of the restriction fragments of BLG gene: 2, 9, 10, 14 – BLG^{S1S1}; 1, 3, 4, 11, 12 – BLG^{S2S2}; 5, 8, 13, 15 – BLG^{S1S2}; 6 – molecular weight marker Step 100 (Biolabmix, Novosibirsk; 100-1000 bp)

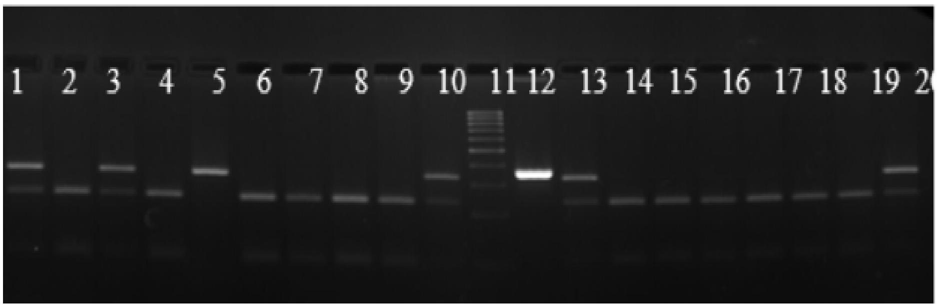


Рис. 2. Электрофоретическое разделение фрагментов рестрикции гена IGF: 5 – IGF^{AA}; 1, 3, 10, 20 – IGF^{AB}; 2, 4, 6–9, 14–19 – IGF^{BB}; 11 – маркер молекулярных масс Step 100 (Biolabmix, Новосибирск; 100-1000 bp); 12 – амплификат

Fig. 2. Electrophoretic separation of IGF gene restriction fragments: 5 – IGF^{AA}; 1, 3, 10, 20 – IGF^{AB}; 2, 4, 6-9, 14-19 – IGF^{BB}; 11 – Step 100 molecular weight marker (Biolabmix, Novosibirsk; 100-1000 bp); 12 –

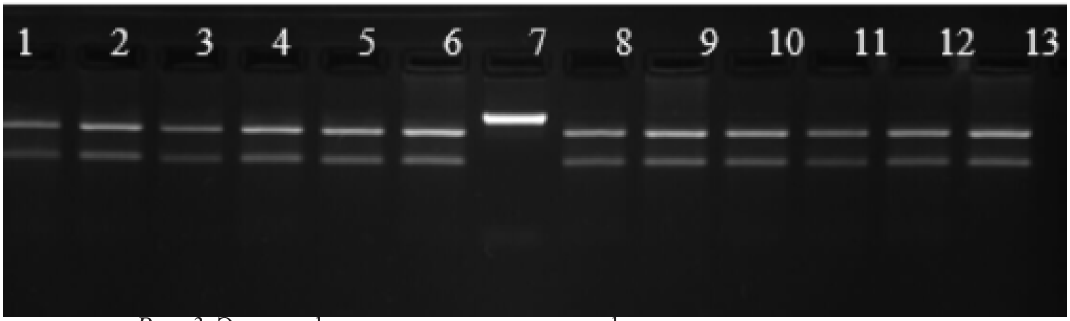


Рис. 3. Электрофоретическое разделение фрагментов рестрикции гена CSN3: 1–6, 8–13 – CSN3^{AA}; 7 – амплификат

Fig. 3. Electrophoretic separation of restriction fragments of the CSN3 gene: 1 – 6, 8–13 – CSN3^{AA}

Исследования показали, что у коз алтайской белой пуховой породы в гене BLG выявлено три генотипа с соотношением: BLG^{S1S1} – 17,7, BLG^{S1S2} – 57,52, BLG^{S2S2} – 24,78%. Частота аллелей BLG^{S1} – 0,46, BLG^{S2} – 0,54 (табл. 2). В гене IGF1 выявлено три генотипа с частотой IGF^{AA} – 2,65, IGF^{AB} – 28,32, IGF^{BB} – 69,03%, соответственно частота аллелей IGF^{A} – 0,17, IGF^{B} – 0,83. По гену CSN3 все исследуемые животные оказались монbackморморфными по аллелю CSN3^{A}. Анализ фактического и теоретического распределения генотипов BLG и IGF1 генов коз свидетельствует о генетическом равновесии в стаде.

Таблица 2

Распределение частот генотипов и аллелей по генам BLG и IGF1 алтайских белых пуховых коз (n = 113)

Distribution of genotype and allele frequencies for the BLG and IGF1 genes in Altai white fluffy goats (n = 113)

Генотип, %			Аллель		χ^2
BLG					
BLG^{S1S1}	BLG^{S1S2}	BLG^{S2S2}	BLG^{S1}	BLG^{S2}	2,78
17,70±3,60	57,52±4,65***	24,78±4,06***	0,46±0,03	0,54±0,03	
IGF1					
IGF^{AA}	IGF^{AB}	IGF^{BB}	IGF^{A}	IGF^{B}	0,02
2,65±1,51	28,32±4,24	69,03±4,35	0,17±0,02	0,83±0,02	

*** Различия между генотипами гена BLG статистически значимы, $p \leq 0{,}001$.

Сравнительная оценка полиморфизма генов BLG и IGF1 коз алтайской белой пуховой породы с козами других пород позволила выявить их некоторые особенности. Так, в исследованиях, проведённых на индийских молочных породах коз, установлено, что в породе Barki [27] частота гетерозиготного генотипа BLG^{S1S2} составляла 0,8. Козы породы Damascus характеризовались высокой частотой генотипа BLG^{S2S2} – 0,85, тогда как гетерозиготный генотип был выявлен с частотой 0,1. Промежуточное соотношение генотипов и аллелей наблюдалось у помесей этих пород (0,41 : 0,51 : 0,08). В исследованиях восьми индийских пород коз показано также превалирующее значение генотипа BLG^{S2S2}, частота которого находится в пределах 0,42 – 1,00. Генотип BLG^{S1S1} встречается крайне редко – от 0,0 до 0,23 [28]. У коз турецких пород, наоборот, генотип BLG^{S2S2} выявлен всего у 11 % животных, два других варианта генотипов встречаются практически поровну [20].

Исследования по связи изучаемых генов BLG и IGF с селекционно-значимыми признаками у коз алтайской белой пуховой породы представлены в табл. 3. Животные с генотипом IGF^{AB} имели больший начес пуха в сравнении с гомозиготным генотипом IGF^{AA}. По остальным показателям продуктивности у коз белой пуховой породы достоверных различий не выявлено.

Таблица 3

Пуховая продуктивность и живая масса алтайской белой пуховой породы коз с генотипами генов BLG и IGF (n = 113)
Fluffy productivity and live weight of Altai white fluffy goats with BLG and IGF genotypes (n = 113)

Показатель	Генотип		
	BLG^{S1S1}	BLG^{S1S2}	BLG^{S2S2}
Живая масса, кг	40,60±0,80	39,85±0,44	40,89±0,72
Длина пуха, см	9,35±0,21	9,26±0,09	9,32±0,17
Начес пуха, г	0,68±0,03	0,68±0,01	0,70±0,02
Содержание пуха, %	72,50±0,92	72,77±0,49	72,68±0,79
Тонина пуха, мкм	19,30±0,16	19,10±0,07	19,10±0,12
	IGF^{AA}	IGF^{AB}	IGF^{BB}
Живая масса, кг	39,67±2,19	40,84±0,73	40,01±0,39
Длина пуха, см	9,50±0,76	9,33±0,14	9,27±0,09
Начес пуха, г	0,62±0,07	0,72±0,02*	0,67±0,01
Содержание пуха, %	70,00±2,89	72,81±0,71	72,76±0,45
Тонина пуха, мкм	19,00±0,58	19,10±0,11	19,20±0,07

* Различия между генотипами гена IGF статистически значимы при $p \leq 0,05$.

Анализ данных показывает высокую уравненность стада по живой массе и пуховой продуктивности (длина пуха, содержание пуха в процентах, тонина пуха), т.е. низкой изменчивостью, за исключением начеса пуха (Cv – 16%) (табл. 4).

Таблица 4

Изменчивость признаков продуктивности алтайских белых пуховых коз
Variability in productivity traits of Altai white fluffy goats

Показатель	x±m	σ	Cv,%
Живая масса, кг	40,24±0,34	3,61	8,99
Длина пуха, см	9,29±0,07	0,78	8,41
Начес пуха, г	0,68±0,01	0,11	16,61
Содержание пуха, %	72,70±0,38	4,01	5,52
Тонина пуха, мкм	19,13±0,06	0,61	3,16

Подсосный период козлят в пуховом козоводстве по принятой в хозяйстве технологии продолжается до 60 дней. В это время основным и единственным кормом козлят является молоко, от количества и качества которого зависит развитие молодого организма и его дальнейшая продуктивность и жизнеспособность. При исследовании качественных показателей молока алтайских белых пуховых коз с разными генотипами BLG , IGF и CSN3 не выявлено достоверных различий. Наблюдается тенденция к увеличению содержания жира в молоке и калорийности молока у коз с генотипом IGF^{AA} – 7,62% (рис. 4, 5).

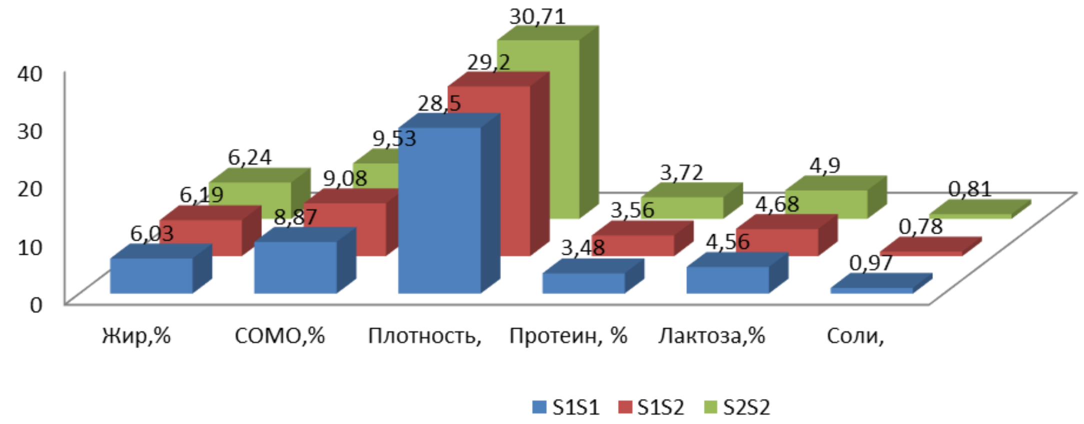


Рис. 4. Качественные показатели молока алтайских белых пуховых коз в зависимости от носительства генотипа по гену BLG

Fig. 4. Quality indices of

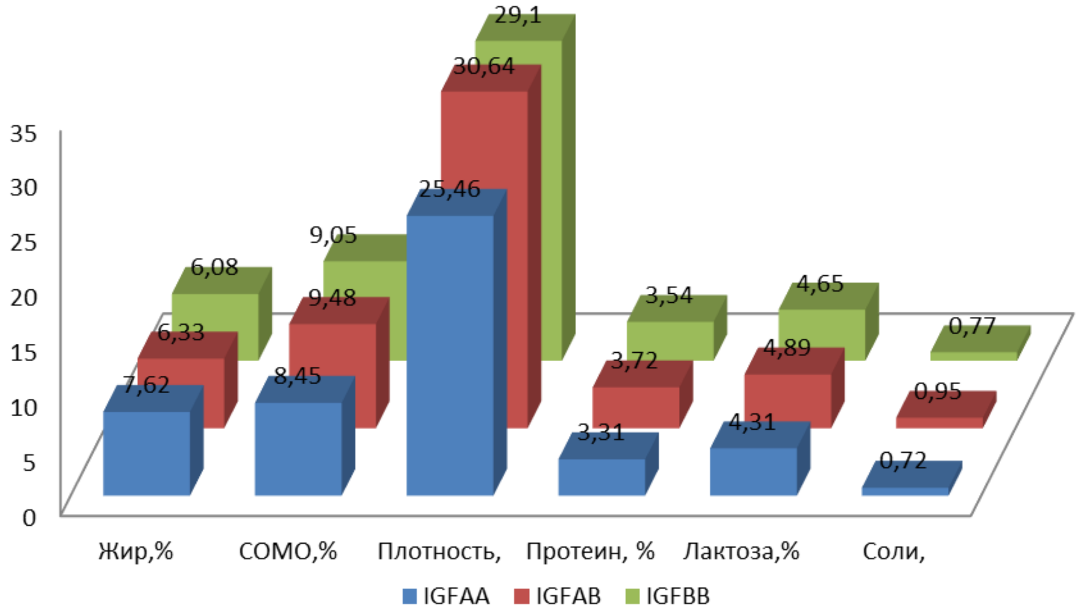


Рис. 5. Качественные показатели алтайских белых пуховых коз в зависимости от носительства генотипа по гену IGF

Fig. 5. Quality indices of

При анализе молока коз алтайской белой пуховой породы (n = 108) не установлено влияния полиморфизма по генам BLG и IGF на калорийность молока (ккал/100 г):

BLG^{S1S1}	85,51 ± 4,39
BLG^{S1S2}	87,73 ± 2,54
BLG^{S2S2}	89,73 ± 3,31
IGF^{AA}	98,24±7,35
IGF^{AB}	90,43±4,03
IGF^{BB}	86,54±2,10

В работе A. Kumar и др. [29] доказано влияние полиморфизма генов на показатели пищевой ценности и формирование молочной продуктивности коз. Установлено, что в продуктах из молока коз с генотипом $CSN1S1^{AA}$ содержание белка было на 4,5 % выше, чем из молока животных с генотипом $CSN1S1^{FF}$, что обосновывает целесообразность отбора носителей аллеля $CSN1S1^{A}$.

По данным О.А. Кравцовой [30], козы с генотипами T2T2/S1S2/D1D2 и T2T2/S2S2/D1D1 по генам weaver/BLG/POU1F1 имели более высокое содержание жира и белка в молоке (5,64 и 3,63 %), чем козы других генотипов (4,08 и 3,32 %).

ВЫВОДЫ

1. В алтайской белой пуховой породе коз в гене BLG выявлено три генотипа с частотой BLG^{S1S1} – 17,7%; BLG^{S1S2} – 57,5; BLG^{S2S2} – 24,8; соответственно частота аллелей BLG^{S1} – 0,46; BLG^{S2} – 0,54. В гене IGF также выявлено три генотипа с частотой IGF^{AA} – 2,7; IGF^{AB} – 28,3 и IGF^{BB} – 69,0. Частота аллелей составляет: IGF^{A} – 0,17; IGF^{B} – 0,83. Ген CSN3 у коз алтайской белой пуховой породы мономорфный по аллелю $CSN3^{A}$.

2. Пуховая продуктивность исследованных животных составляет: начёс – 680 г, тонина пуха –19,13 мкм, длина пуха – 9,29 см.

3. Животные с генотипом IGF^{AB} имели больший начес пуха в сравнении с гомозиготным генотипом IGF^{AA}.

4. При исследовании качественных показателей молока алтайских белых пуховых коз с разными генотипами BLG , IGF и CSN3 не выявлено достоверных различий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ежегодник* по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2020 год). – М.: Изд-во ВНИИплем, 2021. – 321 с.

2. *Белые* пуховые козы на Алтае / А.Т. Подкорытов, Т.Б. Каргачакова, М.И. Селионова, Н.А. Подкорытов // Вестник АПК Ставрополья. – 2017. – № 1 (25). – С. 95–97.
3. *Каргачакова Т.Б., Чикалёв А.И.* Пуховая продуктивность коз в зависимости от тонины пуха // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Горно-Алтайского гос. ун-та. – 2019. – С. 155–156.
4. *Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J.* Invited review: milk protein polymorphisms in cattle: on animal breeding and human nutrition // J. Dairy Sci. – 2009. – Vol. 92. – P. 5335–5352. – DOI: 10.3168/jds.2009–246.
5. *Оценка* молочной продуктивности и качества молока коз в зависимости от породы и генотипа по гену BLG (бета-лактоглобулина) / А.С. Шувариков, О.Н. Пастух, Е.В. Жукова, Н.А. Жижин // Известия ТСХА. – 2019. – Вып. 3. – С. 130–148.
6. *Желтова О.А., Шувариков А.С., Гладырь Е.А.* Молочная продуктивность и качество молока коз с различными генотипами по гену бета-лактоглобулина // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2011. – № 3. – С. 80–83.
7. *Фатихов А.Г., Хаертдинов Р.А., Камалдинов И.Н.* Белковый состав и технологические свойства молока у зааненских коз в зависимости от их генотипа по бета-лактоглобулину // Молочно-хозяйственный вестник. – 2017. – № 1 (25). – С. 64–69.
8. *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.
9. *Геннадиник А.Г., Нелаева А.А.* Роль инсулиноподобного фактора роста-1 в метаболизме,регуляторов клеточного обновления и старении // Ожирение и метаболизм. – 2010. – № 2. – С. 10–15.
10. *Evaluation* of Polymorphism in IGF-1 and IGFB-3 genes and their Relationship tith twinning Rate and growth traits in Markhoz goats / S. Resouli, A. Abdolmohammadi, A. Zebarjadi, A. Mostafaei // Annals of Animal Science. – 2017. – Vol. 17, N 1. – P. 23.
11. *Othman O.E., Abdel-Samad M.F., El-Maaty N.A.A.* Evaluation of insulin-like growth factor-1 gene polymorphism in Egyptian small ruminat breeds // African Journal of Biotechnology. – 2016. – Vol. 15, N 48. – P. 2714–2719.
12. *Sequence* characterization and genetic variability analysis of GHR, IGF1, and IGFB-3 genes in nine Indian goat breeds / A. Sharma, G. Dutt, S. Jayakumar [et al.] // Journal of Applied Animal Ressearch. – 2015. – Vol. 42, N 3. – P. 361–365.
13. *Экономическая* эффективность разведения племенных коз при разных технологических приёмах получения молока / С.И. Новопашина, М.Ю. Санников, З.А. Халимбеков, Е.И. Кизилова // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2011. – Т. 1, № 4–1. – С. 121–123.
14. *Каргачакова Т.Б., Чикалёв А.И.* Молочная продуктивность алтайских белых пуховых коз // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 кн. – Барнаул, 2021. – С. 100–102.
15. *Характеристика* линий породы крупного рогатого скота сибирячка по генам CSN3, BLG, LALBA, LEP и их связь с молочной продуктивностью / Г.М. Гончаренко, Н.Б. Гришина, М.А. Шишкина, Т.С. Хорошилова, О.Л. Халина, А.А. Шукюрова, Д.А. Авадани // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2021. – Т. 51, № 5. – С. 58–67.
16. *Молочная* продуктивность и качество молока коров татарстанского типа с разными генотипами по локусам генов пролактина и соматотропина / И.Ю. Гилемханов, Л.Р. Загидуллин, Т.М. Ахметов, С.В. Тюлькин, Х.Х. Гильманов, Р.Р. Вафин, Р.Р. Шайдуллин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2021. –Т. 247, № 3. – С. 47–50.
17. *Сердюк Г.Н., Позовникова М.В.* ДНК-маркеры и их влияние на молочную продуктивность коров // Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных: материалы междунар. науч.-практ. конф. – 2018. – С. 55–58.
18. *Genetic* polymorphism of kappa-casein gene in indigenous Eastern Africa goat populations / S.K. Kiplagat, M. Agaba, I.S. Kosgey [et al.] // International Journal of Genetics and Molecular Biology. –2010. – Vol. 2 (1). – P. 001–005.

19. *Longitudinal* data analysis of polymorphisms in the κ-casein and β-lactoglobulin genes shows along the trajectory of the lactation curve in tropical dairy goats / Samir Julián Calvo Cardona, Henry Cardona Cadavid, Juan David Corrales [et al.] // American Dairy Science Association – 2016. – Vol. 99. – P. 7299–7307.
20. *A novel* indel within goat casein alpha S1 gene is ly associated with litter size / K. Wang, Y. Hailong, H. Xu [et al.] // Gene. – 2018. – Vol. 671. – P. 161–169. – DOI: 10.1016/j.gene.2018.05.119).
21. *Elmaci C., Oner Y., Koyuncu M.* Allelic Frequencies of a SacII RELP at Exon 7 of the ß-lactoglobulin genein Turkish hair Goat breed. Asian Jornal of Animal and Veterinary Advances. – 2009. – N 4 (3). – P. 130–133.
22. *The Polymorphism* of a Mutation of IGF-1Gene on Two Goat Breeds in China / Liu Wu-Jun, Fang Guang-Xin [et al.] // Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2010. – N 9(3). – P. 790–794.
23. *Kappa-casein* gene polymorphism in Indian goats / A. Kumar, P.K. Rout, A. Mandal, R. Roy // Indian J. Biotechnol. – 2009. – Vol. 8. – P. 214–217.
24. 24. *Химический* состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и акад. РАМН, проф. В.А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
25. *Животовский Л.А., Сороковой П.Ф, Машуров А.М.* О вычислении индексов сходства между популяциями животных по частотам генов, контролирующих полиморфные признаки // Генетика. – 1973. – Т. 4, № 4. – С. 122–127.
26. *Меркурьева Е.К.* Биометрия в животноводстве. – М., 1977.
27. *Polymorpyism* of β-lactoglobulin gene in Barki and Damascus and their cross breed goats in relation to milk yield / A.A. El-Hanafy, M.A. El-Saadani, M. Eissa [et al.] // Biotechnology in Animal Husbandry. – 2010. – Vol. 26 (1–2). – P. 1–12.
28. *Kumar A., Rout P.K., Roy R.* Polymorphism of beta-lactoglobulin gene in Indian goats and its effect on milk yield // J. Appl. Genet. – 2006. – Vol. 47. – P. 49–53.
29. *Casein* polymorphism in goat's milk / D. Marletta, A. Criscione, S. Bordonaro [et al.] // Lait. Dairy-Journal. – 2008. – Vol. 87 (6). – P. 491–504.
30. *Кравцова О.А., Спиридонова С.В., Фаизов Т.Х.* Способ генетического отбора молочных коз: патент RU 2620977; Заявка № 2015140586 от 24.09.2015; Опубл. 30.05.2017; Бюл. № 16.

REFERENCES

1. *Ezhegodnik po plemennoj rabote v ovcevodstve i kozovodstve v ho-zjajstvah Rossijskoj Federacii (2020 god)* (Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in the farms of the Russian Federation (2020)), Moscow: Izdatel'stvo VNIIplem, 2021, 321 p.
2. Podkorytov A.T., Kargachakova T.B., Selionova M.I., Podkorytov N.A., *Vestnik APK Stavropol'ja*, 2017, No. 1 (25), pp. 95–97. (In Russ.)
3. Korgachakova T.B., Chikaljov A.I., *Aktual'nye problemy sel'skogo ho-zjajstva gornyh territorij* (Actual problems of agriculture in mountainous areas), Proceedings of the Conference Title, 2019, pp. 155–156. (In Russ.)
4. Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J., Invited review: milk protein polymorphisms in cattle: effect on animal breeding and human nutrition, *J. Dairy Sci*., 2009, Vol. 92, pp. 5335–5352., DOI: 10.3168/jds. 2009–246.
5. Shuvarikov A.S., Pastuh O.N., Zhukova E.V., Zhizhin N.A., *Izvestija TSHA*, 2019, Vyp. 3, pp. 130–148. (In Russ.)
6. Zheltova O.A., Shuvarikov A.S., Gladyr' E.A., *Ovcy, kozy, sherstjanoe delo*, 2011, No. 3, pp. 80–83. (In Russ.)
7. Fatihov A.G., Haertdinov R.A., Kamaldinov I.N., *Molochno-hozjajstvennyj vestnik*, 2017, 1 (25), pp. 64–69. (In Russ.)
8. Goncharenko G.M., Kargachakova T.B., Grishina N.B., Horoshilova T.S., Halina O.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 3 (56), pp. 94–101. (In Russ.)
9. Gennadinik A.G., Nelaeva A.A., *Ozhirenie i matabolizm,* 2010, No. 2, pp. 10–15. (In Russ.)
10. Resouli S., Abdolmohammadi A., Zebarjadi A., Mostafaei A., Evaluation of Polymorphism in IGF-1 and IGFB-3 genes and their Relationship tith twinning Rate and growth traits in Markhoz goats, *Annals of Animal Science*, 2017, Vol. 17, No. 1, pp. 23.

11. Othman O.E., Abdel-Samad M.F., El-Maaty N.A.A., Evaluation of insulin-like growth factor-1 gene polymorphism in Egyptian small ruminat breeds, *African Journal of Biotechnology*, 2016, Vol. 15, No. 48, pp. 2714–2719.
12. Sharma A., Dutt G., Jayakumar S., Saroha V., Dixit S.P., Sequence characterization and genetic variability analysis of GHR, IGF1, and IGFB-3 genes in nine Indian goat breeds, *Journal of Applied Animal Ressearch*, 2015, Vol. 42, No. 3, pp. 361–365. (In Russ.)
13. Novopashina S.I., Sannikov M.Ju., Halimbekov Z.A., Kizilova E.I., *Sbornik nauchnyh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*, 2011, T.1, No. 4–1, pp. 121–123. (In Russ.)
14. Kargachakova T.B., Chikaljov A.I., *Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu* (Agricultural Science – Agriculture), Proceedings of the Conference Title, Barnaul, 2021, pp. 100–102. (In Russ.)
15. Goncharenko G.M., Grishina N.B., Shishkina M.A., Horoshilova T.S., Halina O.L., Shukjurova A.A., Avadani D.A., *Sibirskij vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki*, 2021, T. 51, No. 5, pp. 58–67. (In Russ.)
16. Gilemhanov I.Ju., Zagidullin L.R., Ahmetov T.M., Tjul'kin S.V., Gil'manov H.H., V R.R., Shajdullin R.R., *Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.Je. Baumana*, 2021, T. 247, No. 3, pp. 47–50. (In Russ.)
17. Serdjuk G.N., Pozovnikova M.V., *Kormoproizvodstvo, produktivnost', dolgoletie i blagopoluchie zhivotnyh*, Proceedings of the Conference Title, 2018, pp. 55–58.
18. Kiplagat S.K., Agaba M., Kosgey I.S., Okeyo M., Indetie D., Hanotte O., Limo M.K., Genetic polymorphism of kappa-casein gene in indigenous Eastern Africa goat populations, *International Journal of Genetics and Molecular Biology,* 2010, Vol. 2 (1), pp. 001–005.
19. Samir Julián Calvo Cardona, Henry Cardona Cadavid, Juan David Corrales Sebastián Munilla, Rodolfo J.C. Cantet, Andrés Rogberg-Muñoz, Longitudinal data analysis of polymorphisms in the κ-casein and β-lactoglobulin genes shows along the trajectory of the lactation curve in tropical dairy goats, *American Dairy Science Association*, 2016, Vol. 99, pp. 7299–7307.
20. Wang K., Hailong Y., Xu H., Yang Q., Zhang S., Pan C., Chen H., Zhu H., Liu J., Qu L., Lan X., A novel indel within goat casein alpha S1 gene is associated with litter size, *Gene*, 2018, Vol. 671, pp. 161–169.
21. Elmaci C., Oner Y., Koyuncu M., Allelic Frequencies of a SacII RELP at Exon 7 of the ß-lactoglobulin genein Turkish hair Goat breed, *Asian Jornal of Animal and Veterinary*, Advances, 2009, No 4 (3). pp. 130–133.
22. Liu Wu-Jun, Fang Guang-Xin et al., The Polymorphism of aMutation of IGF-1Gene on Two Goat Breeds in China, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2010, No 9 (3), pp. 790–794.
23. Kumar A., Rout P.K., Mandal A., Roy R., Kappa-casein gene polymorphism in Indian goats, *Indian J. Biotechnol*, 2009, Vol. 8, pp. 214–217.
24. *Himicheskij sostav rossijskih pishhevyh produktov* (Chemical composition of Russian food products), Spravochnik, Moscow: DeLi print, 2002, 236 p.
25. Zhivotovskij L. A., Sorokovoj P.F, Mashurov A. M., *Genetika*, 1973, T. 4, No. 4, pp. 122–127. (In Russ.)
26. Merkur'eva E.K., *Biometriya v zhivotnovodstve* (Biometrics in animal husbandry), Moscow, 1977.
27. El-Hanafy A.A., El-Saadani M.A., Eissa M., Maharem G.M., Khalifa Z.A., Polymorpyism of β-lactoglobulin gene in Barki and Damascus and their cross breed goats in relation to milk yield, *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2010, 26 (1–2), ppp 1–12.
28. Kumar A., Rout P. K., and Roy R., Polymorphism of beta-lactoglobulin gene in Indian goats and *J. Appl. Genet*, 2006, Vol. 47, pp. 49–53.
29. Marletta D., Criscione A., Bordonaro S., Guastella A.M., D'Urso G., Casein polymorphism in goat's milk, *Lait. Dairy-Journal*, 2008, Vol. 87 (6), pp. 491–504.
30. Kravcova O.A., Spiridonova S.V., Faizov T.H., *Sposob geneticheskogo otbora molochnyh koz* (Method for genetic selection of dairy goats), Patent RU 2620977; Zayavka No. 2015140586 ot 24.09.2015; Opubl. 30.05.2017; Byul. No. 16.