

Министерство науки и высшего образования РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан
Некоммерческая автономная организация
«ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ДЖАКСЫБАЕВА ГУЛЬНАРА ГРИГОРЬЕВНА

**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* У
КОРОВ СИММЕНТАЛЬСКОЙ И КРАСНОЙ СТЕПНОЙ
ПОРОД СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА**

Специальность 4.2.5 Разведение, селекция, генетика
и биотехнология животных

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель –
доктор биологических наук, профессор
Кочнев Николай Николаевич

Новосибирск 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1 Молекулярные технологии в описании генетического разнообразия и поиска маркеров	12
1.2 Полиморфизм гена <i>CSN3</i> и его влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота	20
1.3 Полиморфизм гена <i>BLG</i> и его влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота	36
1.4 Полиморфизм гена <i>PIT-1</i> и его влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота	43
1.5 Морфологические и биохимические показатели крови коров	48
1.6 Стрессоустойчивость крупного рогатого скота	53
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	55
2.1 Место проведения, объект и предмет исследования	55
2.2 Выделение образцов ДНК из крови крупного рогатого скота	57
2.4 Сбор данных показателей молочной продуктивности	66
2.6 Морфологический анализ крови	68
2.7 Определение адренокортикотропного гормона и кортизола в сыворотке крови методом ИФА	69
2.8 Определение типа стрессоустойчивости	70
2.9 Статистическая обработка данных	70
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	73
3.1 Генотипическая структура симментальской и красной степной пород по гену <i>CSN3</i>	73
3.2 Генотипическая структура симментальской и красной степной пород по гену <i>BLG</i>	74
3.3 Генотипическая структура симментальской и красной степной пород по гену <i>PIT-1</i>	75
3.4 Популяционно-генетическая характеристика пород по полиморфизму генов <i>CNS3</i> , <i>BLG</i> и <i>PIT</i>	76
3.5 Влияние генотипов по <i>CSN3</i> , <i>BLG</i> , <i>PIT-1</i> на молочную продуктивность коров	77
3.6 Биохимические показатели крови коров симментальской и красной степной пород с разными генотипами по <i>CSN3</i> , <i>BLG</i> , <i>PIT-1</i>	86
3.6.1 Биохимические показатели крови коров с разными генотипами по <i>CSN3</i>	87

3.6.2 Биохимические показатели крови коров с разными генотипами по <i>BLG</i>	93
3.6.3 Биохимические показатели крови коров с разными генотипами по <i>PIT-1</i>	99
3.7 Морфологические показатели крови коров симментальской и красной степной пород с разными генотипами по <i>CSN3</i> , <i>BLG</i> , <i>PIT-1</i>	105
3.7.1 Морфологические показатели крови животных с разными генотипами по <i>CSN3</i>	106
3.7.2 Морфологические показатели крови животных с разными генотипами по <i>BLG</i>	111
3.7.3 Морфологические показатели крови животных с разными генотипами по <i>PIT-1</i>	117
3.8 Анализ показателей стрессоустойчивости коров симментальской и красной степной пород разных генотипов по генам <i>CSN3</i> , <i>BLG</i> , <i>PIT-1</i>	122
3.9 Влияние комбинации генотипов по генам <i>CSN3</i> , <i>BLG</i> на показатели продуктивности, биохимические и морфологические параметры крови	129
3.10 Сопряженность признаков продуктивности, биохимии и гематологии у животных разных генотипов и пород	133
ОБСУЖДЕНИЕ	138
ВЫВОДЫ	149
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	152
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	188
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	191

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современное развитие животноводства активно включает применение молекулярно-генетических методов для анализа микроэволюционных процессов и разработки эффективных селекционных стратегий для различных пород животных [Эрнст Л.К., 2008; Зиновьева Н.А., 2010; Калашникова Л.А., 2015; Глазко В.И., 2023; Донник И.М. и др., 2023; Петухов В.Л. и др., 2007; Столповский Ю.А., 2013; Алтухов Ю.П., 2003; Дунин И.М., 2006; Солошенко В.А., 2013 и другие]. Применение генетических маркеров позволяет исследовать аллелофонд популяций, определять уровень генетического разнообразия и выявлять животных с высокой потенциальной племенной ценностью. В ряде стран генотипирование животных стало обязательным элементом селекционной работы.

Изучение генетического фонда различных пород по генам, связанным с продуктивностью, продолжает оставаться актуальным направлением. Исследователи указывают на риск снижения генетического разнообразия, как между породами, так и внутри них, что связано с использованием ограниченного количества производителей, линейным разведением, неконтролируемым инбридингом и поглотительным скрещиванием (Кочнев Н.Н., 2003; Смарагдов М.Г., 2009 и другие). Массовое разведение голштинов уже привело к исчезновению многих аборигенных пород, отличающихся уникальными адаптивными качествами и устойчивостью к заболеваниям. В высокопродуктивных стадах отмечается сокращение срока продуктивного использования животных и их преждевременная выбраковка [Паронян И.А. и др., 2010 и другие].

Таким образом, поиск и внедрение генетических маркеров продуктивности в селекционных программах должны сопровождаться сохранением генетического разнообразия, обеспечивающего адаптивные свойства животных в условиях изменяющейся или неблагоприятной среды.

Одной из наиболее обсуждаемых проблем является контроль генетического разнообразия с использованием методов анализа микросателлитного и однонуклеотидного полиморфизмов, митохондриальной ДНК и полногеномного секвенирования. Однако, до настоящего времени не определён наиболее информативный метод мониторинга гетерозиготности, который мог бы служить индикатором адаптивного потенциала популяции.

Изучение однонуклеотидных полиморфизмов структурных генов с применением метода разгона фрагментов рестрикции в полупроводниковом электрофорезном геле является перспективным способом контроля генетического разнообразия [Инге-Вечтомов С.Г., 1989]. Анализ генетического полиморфизма отдельных локусов также проводится для выявления возможных ассоциаций с продуктивными характеристиками животных.

Результаты исследований ДНК-маркеров, которые могут быть связаны или входить в состав локусов количественных признаков (QTL), могут использоваться в селекции наряду с традиционными методами. Однако для этого необходимо идентифицировать соответствующие гены, определить их полиморфизм и провести анализ их эффективности на основе сопоставления фенотипических проявлений при различных генотипах.

Исследования, проведённые на разных породах, часто демонстрируют противоречивые результаты по связи полиморфных вариантов генов с продуктивными признаками, что объясняется сложностью генетической регуляции признаков и, возможно, низкой степенью влияния отдельных аллелей на формирование полифакториальных признаков. Дальнейшие исследования необходимы для накопления информации о функционировании генов, возможности применения известного полиморфизма для контроля генетического разнообразия популяций и прогнозирования их продуктивности.

Степень разработанности темы исследований. Поиск и изучение генетических маркеров разных признаков во многих странах продолжается. Условием включения их в селекционные программы является высокий полиморфизм и связь с признаками продуктивности [Зиновьева Н. А. и др., 2003; Калашникова Л.А. и др., 2008; Позовникова М. В., 2018; Тюлькин С. Н., 2019; Егорашина Е.В., 2019; Ткаченко И. В. и др., 2020; Бойко Е. и др., 2020; Кочнев Н.Н. и др., 2020; Сафина Н. и др., 2020; Ладыка В. и др., 2020]. Исследования показывают, что не все породы молочного скота имеют одинаковый полиморфизм по генам [Antonopoulos D. et al., 2021; Miluchova M. et al., 2014; Kumar S. et al., 2020; Sulimova G. et al., 2007; Арнаут Е. А., 2008; Хаертдинов Р., 1988; Калашникова Л. А., 2004]. В силу слабой изученности геномов животных известно относительно небольшое число генов-кандидатов продуктивности. Поиск в основном базируется на отборе и изучении генов, контролирующих структурные составляющие изучаемого признака (белки молока, мышечные белки), или обуславливающие биохимические процессы его формирования (гормоны и ферменты).

Среди функциональных генов, продукты которых играют ключевую роль в формировании молочной продуктивности, наиболее изучены гены каппа-казеина (*CSN3*), альфа-лактальбумина (*LALBA*), бета-лактоглобулина (*BLG*) и пролактина (*PRL*). В меньшей степени информации о гене гипофизарного фактора транскрипции *PIT-1*, который контролирует дифференциацию клеток гипофиза, управляет синтезом соматотропина, пролактина и тиреотропного гормона, регулирует экспрессию их генов [Anderson B., Rosenfeld M.G., 1994]. Аллельные варианты этого гена могут влиять на синтез молока [Renaville R. et al., 1997; Mattos K.K. et al, 2004], а мутации приводить к дефициту соматотропина [Li S. et al, 1990].

Изученный нами ген *CSN* связывают с технологическими свойствами молока и белковомолочностью [Гатилова Е. В., 2020; Лоретц О. Г. 2014; Валитов Ф.Р., 2014; Крупин Е.О., 2017; Тинаев А., 2005; Алипанах М., 2005].

Наиболее благоприятным для сыроварения считается молоко от коров с генотипом *CSN^{BB}*, так как такое молоко обладает большим количеством молочного белка и наилучшими коагуляционными свойствами. Ген *BLG* также имеет важное значение для белковомолочности и биологической ценности молока, аллель В связывают с высоким содержанием казеиновых белков и процентом жира в молоке, в то время как аллель А – с количеством сывороточных белков [Patel R., 2007; Pagnacco G., 1987; Matejicek A., 2005]. Ген *PIT-1* контролирует транскрипцию генов пролактина (*PRL*), соматотропина (*GH*), рецептора соматотропин-рилизинг гормона (*GHRH*), бета-субъединицы рецептора тиреоидного гормона (*THRB*) и тиреотропного гормона (*TSH*) [Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю. и др., 2019]. Эти гены можно рассматривать в качестве возможных маркеров продуктивных признаков животных.

Основываясь на исследованиях полиморфизма изучаемых генов, ассоциаций с признаками продуктивности, следует отметить проблему их низкой воспроизводимости и отсутствие универсальности для пород одного направления продуктивности, а иногда и для различных стад одной породы. Поэтому спектр генов-кандидатов, напрямую или опосредовано участвующих в формировании хозяйственно-полезных и адаптивных признаков, необходимо расширять и изучать на разных популяциях и породах, в разных климатогеографических и технологических условиях разведения.

Цель и задачи исследования. Целью настоящего исследования стало изучение полиморфизма генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* у крупного рогатого скота красной степной и симментальской пород, разводимых в условиях северного Казахстана, а также выявление связи между генетическими маркерами, продуктивными и интерьерными показателями животных.

В задачи исследования входило:

- определить частоту встречаемости вариантов аллелей и генотипов по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* в двух выборочных популяциях крупного рогатого скота;
- оценить межпородные различия по генетической структуре изучаемых локусов;
- изучить связь генотипов по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* с показателями молочной продуктивности у полновозрастных коров;
- изучить биохимические, морфологические показатели крови животных с разными генотипами;
- исследовать комплексное влияние полиморфизма генов на молочную продуктивность, биохимические и морфологические показатели крови животных;
- оценить влияние генотипа по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* на стрессоустойчивость коров.

Научная новизна работы. Впервые у симментальской и красной степной пород, разводимых на территории северного Казахстана, установлены частоты аллельных вариантов генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* и описана генотипическая структура популяций. Изучены генетические параметры изменчивости по трем локусам и межпородные различия по генотипам. Показана связь между изученными генотипами и показателями молочной продуктивности коров красной степной и симментальской пород, а также биохимическим, гематологическим и гормональным статусом животных. Установлено влияние генотипов на стрессоустойчивость животных.

Теоретическая и практическая значимость работы. База данных о полиморфизме генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* в молочных породах была пополнена новыми сведениями. Обнаружены доказательства того, что аллели этих генов оказывают количественное влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота, разводимого в северном Казахстане. Выявлены

наиболее предпочтительные генотипы животных, которые можно использовать в подборе животных для повышения эффективности племенной работы. Результаты исследований используются в учебном процессе по направлениям подготовки: «Биотехнология», «Биология», «Технология производства продуктов животноводства», «Прикладная биология и моделирование в медицине», «Технология продовольственных продуктов» в Торайгыров университете (г. Павлодар).

Область применения результатов. Полученные в ходе исследований данные могут быть применены при разработке перспективных селекционных программ для улучшения продуктивных качеств молочного скота, разводимого в Казахстане.

Положения, выносимые на защиту

1. Генетическая структура, уровень гетерозиготности и состояние генного равновесия по полиморфным локусам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* в красной степной и симментальской породах крупного рогатого скота, разводимого на территории северного Казахстана, свидетельствуют о различной степени генотипической изменчивости исследуемых популяций.

2. Выявленные ассоциации отдельных и комплексных генотипов по *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* с некоторыми показателями молочной продуктивности, морфологическими и биохимическими показателями крови, в том числе кортизолом и адренокортикотропным гормоном, указывают на участие полиморфизма этих генов в формировании признаков.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных молекулярно-генетических методов исследования (ПЦР-ПДРФ) на достаточном объеме фактического материала, а также всесторонним статистическим анализом полученных данных.

Результаты исследований доложены: на заседаниях Учёного совета Новосибирского Государственного аграрного университета (2020–2024 гг.),

на международных научно-практических конференциях «Научный форум: Инновационная наука» (Москва, 2023), «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии» (Павлодар, 2023), «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке» (Новосибирск, 2023), «Advances in Science and Technology» (Москва, 2023), «Современные проблемы в животноводстве: состояние, решение, перспективы» (Новосибирск, 2023). Всего по теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ (Вестник Новосибирского государственного университета, Ветеринария, зоотехния и биотехнология).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 189 страницах, содержит 36 таблиц, содержит следующие разделы: введение, обзор литературы, материалы и методы, результаты исследований, обсуждение, выводы, список литературы, приложения. Список использованной литературы включает 296 источников, в том числе 95 иностранных авторов.

Личный вклад автора. Автор участвовал в сборе образцов крови в хозяйствах Павлодарской области Республики Казахстан, занимался выделением ДНК, генотипированием исследуемых образцов для определения генотипов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* методом ПЦР-ПРДФ, проведением биохимических и гематологических анализов, определением гормонов методом ИФА, определением технологических показателей молока. Автор осуществляла статистическую обработку полученных данных, принимала участие в подготовке научных статей и представлении результатов на научно-практических конференциях.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, доктору биологических наук, профессору Николаю Николаевичу Кочневу за оказанную помощь при подготовке диссертации, доктору биологических наук, заведующему лабораторией биотехнологии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН Гончаренко Галине Моисеевне за помощь в

проведении исследований, а также коллективу лаборатории биотехнологии животных НИИ «Агроинновации и биотехнологии» Торайгыров университета (г. Павлодар) за помощь и содействие в научной деятельности.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Молекулярные технологии в описании генетического разнообразия и поиска маркеров

В отечественной и мировой зоотехнической науке и практике разведения животных наиболее важными требованиями селекционных программ являются: увеличение производства и качества продукции; увеличение продуктивности и экономической эффективности и сохранение генетического разнообразия. Нахождение правильного баланса между различными требованиями - процесс непрерывный и сложный, он требует тщательного планирования и корректировки селекционно-племенной работы с породами.

Развитие биотехнологий в области разведения, воспроизводства и молекулярной генетики за последние годы значительно продвинулось вперёд. Характеристика, основанная на молекулярных маркерах, и маркерная селекция дают новые возможности для управления генетических ресурсов животных (ГРЖ) [Амерханов Х. и др., 2023]. Степень использования ресурсов сильно варьирует от страны к стране и между регионами. Главным приоритетом в управлении ГРЖ является сохранение пород с уникальными признаками. Самое большое значение, особенно для развивающихся стран, имеют способность жить и давать продукцию в критических условиях и обладать устойчивостью к инфекционным заболеваниям [Саморуков Ю. В., 2004; Марченко Г. и др., 2002].

Заинтересованными сторонами программы сохранения ГРЖ являются национальные правительства, фермеры, племенные компании, университеты и научно-исследовательские институты.

Правительства играют ключевую роль, обеспечивая нормативно-правовую базу программ сохранения ГРЖ, производства животноводческой продукции и селекции животных. Хозяйства и организации, связанные с университетами и научно-исследовательскими институтами, часто участвуют

в сохранении локальных пород. Они сочетают эту деятельность со своими основными задачами по производству, обучению студентов и проведением научных исследований. Фермеры нацелены на специализированный рынок сбыта, на котором они могут продавать особые продукты от местных пород. Во многих странах фермеры и их организации привлекаются к органическому производству экологически чистых продуктов. В системах органического производства предпочтение отдаётся традиционным породам из-за их хорошей адаптации к условиям содержания и качества продукции. Эти разработки стимулируют интерес к традиционным или локально адаптированным породам и созданию базы для разведения и программ сохранения *in vivo* [Харитонов С. Н. и др., 2010; Дунин И. М., 2006].

Молекулярно-генетические методы исследования позволяют анализировать полиморфизм белковых молекул и ДНК-маркеров для измерения генетической изменчивости на популяционном уровне. Из-за низкого уровня полиморфизма белков и, соответственно, ограниченных возможностей их применения в изучении разнообразия, в качестве маркеров для молекулярно-генетической характеристики предпочтительно использовать полиморфизм на уровне ДНК [Зиновьева Н. А., 2019].

В процесс молекулярно-генетической характеристики входят полевые сборы образцов биологического материала, лабораторная экстракция ДНК из образцов, хранение ДНК, лабораторный анализ (генотипирование или секвенирование), анализ данных, написание отчёта и поддержание информационной базы данных по молекулярной генетике. Характеристика на молекулярно-генетическом уровне предпринимается в следующих целях:

- для определения параметров изменчивости внутри и между породами;
- для идентификации географической локализации отдельных популяций и/или перемешивания популяций с различным генетическим происхождением;

- для получения информации об эволюционных взаимоотношениях (филогенетические деревья) и выяснения центров происхождения и маршрутов миграции;
- для осуществления картирования генов, включая идентификацию носителей известных генов;
- для установления происхождения и генетических взаимосвязей (ДНК фингерпринт) внутри популяции;
- для поддержки генетического улучшения популяций животных с помощью маркеров;
- для создания ДНК хранилищ в целях исследований и развития.

Молекулярные маркеры можно также использовать для оценки эффективной численности популяций, для которых нет или очень мало информации по родословным или о популяционной структуре.

ДНК - маркеры полезны в филогенетическом анализе и поиске функциональных вариантов генов, ассоциированных с продуктивными признаками, а также при установлении отцовства и контроле движения пищевых продуктов [Харитонов С. Н. и др., 2020].

Разнообразие организмов обусловлено изменчивостью последовательностей ДНК и влиянием факторов среды. Генетическая изменчивость значительна, и каждый индивидуум данного вида. ДНК-варианты являются следствием мутаций, происходящих вследствие замены одного нуклеотида (однонуклеотидный полиморфизм – *single nucleotide polymorphisms, SNP*), вставок или потерь фрагментов ДНК разной длины (от одного до нескольких тысяч нуклеотидов), или дупликаций и инверсий фрагментов ДНК. ДНК-варианты классифицируются как «нейтральные», если они не вызывают изменений в метаболических или фенотипических характеристиках, и, следовательно, не подвергаются ни позитивному, ни негативному, ни балансирующему отбору; все остальные варианты рассматриваются как «функциональные». Мутации в ключевых нуклеотидах

кодирующей последовательности могут изменять аминокислотную последовательность белка и приводить к появлению новых функциональных вариантов. Такие варианты могут увеличивать или уменьшать метаболическую эффективность по сравнению с исходным «диким типом», могут полностью утрачивать свою функцию, или даже добавлять новую функцию. Мутации в регуляторной области могут изменять уровни и характер экспрессии гена и затем белка в определённых тканях на различных стадиях развития или в разных физиологических состояниях [Сулимова Г. Е., 1998].

Информация по генетическому разнообразию очень важна для оптимизации стратегий сохранения и использования генетических ресурсов животных. Если возможности сохранения ограничены, часто возникает необходимость определения приоритетов. Принято считать, что новые молекулярные инструменты позволяют идентифицировать гены, участвующие в формировании многих признаков, включая адаптивные признаки, и полиморфизм, приводящий к функциональным генетическим вариантам (*QTN* – нуклеотиды количественных признаков – *Quantitative Trait Nucleotides*). ДНК-маркеры *QTL* заслуживают самого большого внимания и включены в задачи развития молочного скотоводства. В отсутствие надежных фенотипических и *QTN* данных, или в дополнение к существующим данным, наиболее быстрой мерой определения генетического разнообразия является оценка полиморфизма с использованием анонимных молекулярно-генетических маркеров [Харитонов С. Н. и др., 2020; Дроздов Е.В., 2010; Харламов А.В. и др., 2019].

Первый шаг в анализе ДНК, РНК и белка – их выделение из биологического образца и очистка. Для этого имеется целый ряд протоколов и готовых реакционных смесей. Применяемая стратегия определяется источником материала и выделяемыми молекулами. Например, экстракция ДНК из цельной крови или лейкоцитов относительно легка, в то время как ее

экстракция из обработанных пищевых продуктов намного труднее. Экстракция РНК из поджелудочной железы сложна из-за высокой скорости процессов посмертной деградации в этом органе. Очистка ДНК, РНК и белков является ключевым фактором, от которого зависит надежность конечного результата. После выделения ДНК (или РНК) из клеток, следующим шагом является получение тысяч или миллионов копий определенного гена или участка ДНК. Фрагмент ДНК может быть размножен в микроорганизмах, обычно *E. coli*, или *in vitro* с использованием полимеразной цепной реакции (ПЦР). Этим методом, принесшим Нобелевскую Премию его создателю, Кэри Мюллису, экспоненциально умножают (амплифицируют) любой сегмент ДНК с известной последовательностью. Ключевым компонентом в ПЦР является ДНК-полимераза, выделенная из *Thermus aquaticus*, микроорганизма, адаптированного к жизни и размножению при очень высоких температурах. Термостабильная Таq-полимераза обеспечивает репликацию цепей ДНК в циклическом режиме и приводит к геометрическому росту количества копий ДНК – мишени амплификации. Цикл ПЦР включает три этапа:

- денатурация ДНК при 90–95 °С для разделения молекулы ДНК на две одноцепочечные последовательности, которые служат матрицами;

- отжиг пар коротких одноцепочечных олигонуклеотидов (праймеров, или затравок), комплементарных к областям – мишеням, фланкирующим амплифицируемый фрагмент (фрагмент интереса), при 45–65 °С;

- удлинение вновь синтезируемых цепочек ДНК, начиная от праймеров, осуществляемое Таq-полимеразой при 72 °С. Этот цикл повторяется, обычно 25–45 раз, позволяя накапливать достаточное количество ампликонов (фрагмент гена или ДНК, синтезируемый с использованием ПЦР) для анализа [Зиновьева Н.А. и др., 1998].

Полиморфизм белков был первым поколением маркеров, используемых для генетических исследований домашних животных. Однако

количество полиморфных локусов, доступных для анализа, и уровень их наблюдаемого полиморфизма часто низки, что сильно ограничивает их применение в исследованиях генетического разнообразия. Благодаря развитию новых технологий, полиморфизмы ДНК стали предпочтительными маркерами в исследованиях генетической изменчивости с использованием молекулярных методов [Костюнина О. В., 2005].

В настоящее время молекулярно-генетические исследования представляют собой инновационное направление в генетике, особенно в области селекции сельскохозяйственных животных. Маркерная селекция, система оценки животных на основе генетических маркеров, стала широко применяться в практической селекции, обеспечивая оценку генетического потенциала признаков, проявляющихся лишь во взрослом состоянии или только у определенного пола животных. Этот метод особенно эффективен при низком влиянии окружающих факторов [Эрнст Л. К., Зиновьева Н. А. и др., 2008].

Использование маркерной селекции в животноводстве дополняет традиционные методы селекции, повышая точность оценки генетического потенциала животных. Главным свойством генетических маркеров является их полиморфизм – изменения в генетической последовательности, обусловленные различными мутациями. Повышение числа аллелей увеличивает полиморфность генов и расширяет возможности их применения в качестве генетических маркеров животных [Зиновьева Н. А. и др., 2016]. Выявление желаемых аллелей позволяет направленно формировать генофонды стад и пород животных, обеспечивая необходимые генные сочетания для селекции [Калашникова Л. А. и др. 1999; Гончаренко Г. М., 2009].

Внедрение генетических маркеров в процесс отбора сельскохозяйственных животных призвано ускорить и усовершенствовать селекционный процесс. Одной из ключевых задач является исследование

полиморфизма молочных генов в качестве маркеров молочной продуктивности КРС. Генетические маркеры имеют преимущества – они стабильны в течение онтогенеза особи, не зависят от внешних условий и обладают чётким генетическим контролем. Внедрение генетических маркеров молочной продуктивности в селекционный процесс крупного рогатого скота позволит более точно оценивать генетический потенциал пород, контролировать селекцию и корректировать её направление [Ильина А. В. и др., 2017; Калязина Т. В., 2012; Семенюк О. В., 2006].

Для определения полиморфизма ядерной ДНК в распоряжении имеется ряд разных маркеров. Для изучения разнообразия наиболее часто используются микросателлиты.

Полиморфизм длин рестрикционных фрагментов (ПДРФ/RFLP) определяется при использовании ферментов рестрикции (рестриктаз), которые разрезают ДНК только в точных местах «сайтов рестрикции» (например, рестриктаза *EcoRI* разрезает ДНК в сайте, определяемом палиндромной последовательностью GAATTC). В настоящее время наиболее часто ПДРФ/RFLP используют вслед за ПЦР (ПЦР–ПДРФ/*PCR–RFLP*), для того чтобы выявить аллели, отличающиеся по нуклеотидным последовательностям в сайте рестрикции. Фрагмент гена амплифицируется с использованием ПЦР и затем обрабатывается специфическим ферментом рестрикции, который разрезает только одну аллельную форму. Переваренные таким образом ампликоны затем разделяются электрофорезом [Калашникова Л. А., 1999; Солошенко В. А. и др., 2011; Гончаренко Г.М. и др., 2011; Арнаут Е. А., 2008].

Микросателлиты (SSR – *Simple Sequence Repeats*) или (STR – *Simple Tandem Repeats*) состоят из участков ДНК длиной в 2–6 п.о. – tandemно повторенных много раз (например, CACACACACACACA). Они распространены по всему эукариотическому геному. Микросателлиты имеют относительно малые размеры и могут, следовательно, легко

амплифицироваться при использовании ПЦР на ДНК, экстрагируемой из различных источников, например, кровь, корни волос, кожа или даже фекалии. Полиморфизмы могут быть визуализированы на секвенирующем геле, и при наличии автоматического ДНК-секвенатора можно анализировать большое количество образцов [Goldstein, D. B. et al., 1999; Jarne P. et al., 1996; Калашникова Л. А., 1999; Гладырь Е. А. и др., 2011]. Микросателлиты гипервариабельны; они часто имеют десятки аллелей по одному локусу, отличающихся один от другого по числу повторов. Их все ещё предпочитают использовать для изучения разнообразия, а также для анализа отцовства и картирования *QTL*, хотя в ближайшем будущем от них могут отказаться в результате развития методов микроматриц (или чипов) для анализа *SNP* [Зиновьева Н. А. и др., 2019].

Минисателлиты обладают теми же характеристиками, что и микросателлиты, но длина повторов составляет от десяти до нескольких сотен п.о. Микро и минисателлиты известны также как *VNTR* полиморфизмы (Варьирующее количество tandemных повторов – *Variable Number of Tandem Repeats*) [Cardoso D. F. et al., 2015; Gautier M. et al., 2007].

Полиморфизм длин амплифицируемых фрагментов (*Amplified fragment length polymorphisms – AFLP*) является методом ДНК-фингерпринта (отпечатки пальцев), который выявляет фрагменты рестрикции ДНК способом их амплификации в ПЦР [Логвинова Т. И., 2011; Negrini R. et al., 2006].

STS маркер (Меченный сайт последовательности – *Sequence Tagged Site*) является ДНК последовательностью, которая встречается в геноме только раз в известном месте. Они необязательно бывают полиморфными и используются для построения физических карт [Сулимова Г. Е., 2004].

SNP являются вариантами по одному нуклеотиду, которые не меняют общую длину последовательности ДНК в этом регионе. *SNP* встречаются по всему геному. Они широко распространены и встречаются в геноме человека

с частотой один *SNP* на каждую 1000 пар оснований. Большинство *SNP* локализуется в некодирующих областях и не имеет прямого влияния на фенотип индивидуума. Однако некоторые введенные мутации в экспрессирующиеся последовательности или области, влияющие на экспрессию генов (промоторы, энхансеры), могут вызывать изменения в структуре белка или регуляции. Такие *SNP* предоставляют определенные возможности для выявления функциональных генетических вариантов [Машуров А. М., 1980].

1.2 Полиморфизм гена *CSN3* и его влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота

Среди многочисленных генов, отвечающих за высокую продуктивность и качество молока, выделяются ключевые гены, которые играют важную роль в формировании и функционировании этих характеристик. Индивидуальные различия в продуктивности сельскохозяйственных животных зависят от факторов окружающей среды и их генетического потенциала. Большинство важных качеств животных являются полигенными признаками, что означает, что их уровень определяется множеством генов, распределенных по всему геному. Эти гены называются локусами количественных признаков (*QTL*) [Зиновьева Н. А. и др., 2002, 2008; Эрнст Л. К., 2009].

Молочные белки подразделяются на две основные группы – казеин, составляющий 80 %, и сывороточные белки, составляющие 17 %. К сывороточным белкам относятся α -лактоглобулин, β -лактоглобулин, иммуноглобулины и сывороточный альбумин [Долматова И. Ю., 2015], находящиеся во взаимном соотношении 3:1 (ж/б) в молоке [Farrell Jr Н. М., 2004]. Казеин представлен фракциями α s1-, α s2-, β -, κ -казеин, которые имеют разный аминокислотный состав и отличаются заменой 1–2 аминокислотных остатков в полипептиде. Фракции α C1-, α C2-, β -, и *CSN3* находятся в

относительном соотношении 4:1:4:1 (ж/б) в молоке [Fox P. F., 2009]. Эти фракции отличаются по растворимости, чувствительности к ионам кальция и по физико-химическим свойствам [Матушкина Е. В., 2014]. Фракция к-казеина разрушается и коагулирует, образуя казеиновый сгусток при взаимодействии с сычужным ферментом, используемым при производстве сыра [Витушкина М. А. и др., 2020].

В геноме крупного рогатого скота обнаружено 13 различных вариантов (аллелей) гена *CSN3*, который является частью группы U15 (200 т.п.н.) и расположен на 6 хромосоме. Длина этого гена, отделённого от остальных на 70 т.п.н., составляет 13,5 тысяч пар нуклеотидов и состоит из 5 экзонов общей длиной 850 п.н. и 4 интронов [Бадагуева Ю. Н. и др. 1996; Тюлькин С. В. и др. 2016, 2018; Ладыка В. и др. 2020; Гатилова Е. В. и др., 2020].

Учеными выделено 7 аллелей каппа-казеина, такие как А, В, С, Е, F, G, Н. К. У коров чаще встречаются А, В аллельные варианты гена *CSN3*, отличающиеся двумя аминокислотными заменами (в позициях 135 и 148) полипептидной цепи, что ведёт к значительным изменениям с учётом породы и предыдущей селекции. Отмечено, что аллель *CSN3^B* ассоциируется с более высоким содержанием белка в молоке и более высоким выходом сыра, лучшими коагуляционными свойствами молока [Артемьев А. М. и др., 2006; Горина Т. А., 2009]. Путем последовательного анализа гена каппа-казеина ключевого экзона 4, длиной 483 нуклеотидных пар, было обнаружено 7 новых вариантов аллелей, которые не были выявлены ранее в исследованиях коммерческих пород крупного рогатого скота. Образцы местных пород скота, взятые из различных регионов мира, также содержат данные аллельные варианты [Чаицкий А. А. и др., 2022; Зырянова А. А. и др., 2022].

Результаты исследований по оценке полиморфизма гена к-казеина крупного скота разных пород, включая наши данные, позволили выявить их генотипические особенности (табл. 1.1).

Среди популярных отечественных пород скота, таких как красно-пестрая и черно-пестрая, генотип $CSN3^{AB}$ встречается в 23–27 % случаев, в то время как генотип $CSN3^{BB}$ всего лишь в 4,1–11,8 %. Наиболее высокая частота генотипов АВ и ВВ данного гена выявлена в красной горбатовской и костромской породах (23–33 %) [Калашникова Л. А. и др. 1999]. У животных симментальской породы отечественной селекции встречаемость аллеля $CSN3^B$ составляет 36,3–47,4 %, а у помесных быков с участием красно-пестрых голштинов – всего 22,4 % [Щеголев П. О. и др. 2022].

Таблица 1.1

Частоты генотипов локуса к-казеина в разных породах

Порода	n	к-казеин			Авторы
		$CSN3^{AA}$	$CSN3^{AB}$	$CSN3^{BB}$	
Чёрно-пёстрая	72	60,5	35,7	3,8	Горелик О.В., 2022
Чёрно-пёстрая	45	57,8	35,6	0,07	Афанасьева А.И., 2021
Чёрно-пёстрая	168	65	31	4,0	Шайдуллин Р.Р., 2021
Чёрно-пёстрая	57	71,9	24,6	3,51	Калашникова Л.А., 2015
Чёрно-пёстрая	400	77,0	21,50	1,50	Хорошилова Т.С., 2021
Чёрно-пёстрая голландизированная	100	70,0	25,0	5,0	Хорошилова Т.С., 2021
Голштинская	50	58,0	38,0	4,0	Хорошилова Т.С., 2021
Голштинская	50	100,0	0	0	Криворучко С.В., 2012
Голштинская	91	56,2	34,4	9,4	Егорашина Е.В., 2019
Голштинская (канадский тип)	566	74,0	23,0	3,0	Sabour М. Р., 1996
Красно-пёстрая	284	33,10	53,52	13,38	Тельнов Н. О., 2017
Красно-пёстрая	287	33,1	56,7	10,2	Тельнов Н. О. , 2017
Красно-пёстрая	284	33,1	53,5	13,4	Неякин Н.Н. , 2017
Красная степная	51	96,1	3,9	0	Силкина, С.Ф., 2013
Красная степная	413	41,3	48,3	10,4	Хорошилова Т.С., 2021
Красная степная	53	58,5	32,1	9,4	Криворучко, С.В., 2012
Красная степная	25	44,0	36,0	20,0	Чижова Л.Н., 2013
Красная степная	120	34,2	49,1	16,7	Собственные исследования
Ярославская	53	48,9	42,2	8,9	Ильина А.В., 2017
Ярославская	25	36,0	28,0	36,0	Криворучко С.В., 2012
Ярославская	221	21,3	48,4	30,3	Некрасов, Д.К., 2017
Ярославская	118	39,3	41,8	18,9	Коновалов, А.В., 2015

Бестужевская	285	53,2	45,5	1,8	Долматова И.Ю., 2015
Холмогорская (татарстанского типа)	225	69,3	28,0	2,7	Тюлькин С.В., 2016
Холмогорская	160	65,0	50,0	31,0	Шайдуллин Р.Р., 2021
Холмогорская	150	70,0	26,0	4,0	Ялуга, В.Л., 2018
Айрширская	19	100,0	0,0	0,0	Криворучко С.В., 2012
Айрширская	91	90,6	9,4	0,0	Егорашина Е.В., 2019
Симментальская	1447	42,8	44,3	12,9	Хорошилова Т.С., 2021
Симментальская	254	44,1	43,3	12,6	Гончаренко Г.М., 2016
Симментальская	491	33,6	48,7	17,7	Гончаренко Г.М., 2013
Симментальская	86	41,0	51,0	8,0	Павлова Н.И., 2016
Симментальская	135	79,5	18,0	2,5	Долматова И.Ю., 2015
Симментальская	103	27,2	48,5	24,3	Собственные исследования
Якутская	96	39,6	45,8	14,6	Хорошилова Т.С., 2021
Словацкий Пинцгау	86	30,2	52,3	17,4	Miluchova M., 2014
Бурая швицкая	208	13,9	47,6	38,5	Марзанов Н.С., 2014

По данным исследований, у 28–100 % животных голштинской и чёрно-пёстрой пород преобладает генотип $CSN3^{AA}$ [Худякова Н. А. и др., 2022], в то время как генотип $CSN3^{BB}$ в обеих породах варьирует и встречается значительно реже, 0–12 % [Тамарова Р. В. и др., 2021; Горелик О. В., 2022; Zambrano G. et al., 2010; Корнелаева М. В. и др., 2023]. Различия по данному генотипу объясняются использованием кровных линий голштинской породы для улучшения других пород [Ахметов Т. М., 2005; Shaidullin R. et al., 2021].

Низкая частота желаемого генотипа $CSN3^{BB}$, которая не зависит от конкретного региона, является особенностью голштинского и черно-пестрого скота. В России наблюдается существенное снижение доли генотипов с аллелем В у большинства пород молочного направления продуктивности [Зиновьева Н. А. и др., 2001].

Соотношение генотипов в голштинской породе скота в регионе Татарстана показывает, что гетерозиготный генотип среди первотёлок составляет от 30,3 до 32,4 %, гомозиготный $CSN3^{AA}$ – от 62,7 до 66,4 %, а $CSN3^{BB}$ – от 3,3 до 4,9 % [Шайдуллин Р., 2015].

Установлено, что в племенных предприятиях Алтайского края преобладающим генотипом у быков-производителей черно-пестрой породы является $CSN3^{AA}$, частота которого достигает 57,8 %, альтернативный

генотип $CSN3^{BB}$ встречается значительно реже (7,0 %), а гетерозиготный генотип $CSN3^{AB}$ у 35,6 % животных [Афанасьева А.И. и др., 2021]. Полученные данные согласуются с результатами исследований других российских учёных, установившими, что у быков-производителей чернопестрой и голштинской пород частота аллеля В составляет от 0,054 до 0,204, а аллеля А – 0,62. Генотип каппа-казеина ВВ у быков голштинской породы не обнаружен [Усенбеков Е. С., 1995; Матюков В. С., 2004].

Сходные данные получены и зарубежными исследователями. Показано, что аллель А часто присутствует среди различных популяций молочного скота, частота встречаемости составляла от 0,62 до 0,86, а аллеля В – от 0,14 до 0,38 [Hamza A. et al., 2010; Pinder S.J. et al., 1991; Sabour M.P. et al., 1996].

По сообщению Егорашиной Е. В. (2019) частота аллеля $CSN3^A$ у голштино-ярославских помесей составила 0,758, аллеля $CSN3^B$ – 0,242.

В ярославской породе генотип $CSN3^{BB}$ выявлен у 30,3 %, животных, генотип $CSN3^{AB}$ – 48,4 % коров, на долю гомозигот $CSN3^{AA}$ приходится 21,3% [Некрасов Д. К. и др., 2017].

У ярославских чистопородных коров частота встречаемости гена каппа-казеина составила: АА – 35,6 %, АВ – 48,6 %, ВВ – 15,8 %, частота аллеля А выше в 1,4 раза частоты аллеля В. У коров михайловского типа породы соотношение генотипов по этому гену было: АА – 69,6 %, АВ – 26,1 %, ВВ – 4,3 % [Ярлыков Н. Г, Тамарова Р. В., 2012].

В ярославской породе частота аллеля $CSN3^B$ колеблется в пределах от 0,30 до 0,55 [Чижова Л. Н. и др., 2020; Епишко О. А. и др., 2021; Ильина А. В. и др., 2018].

Также более высокая частота желательного генотипа $CSN3^{BB}$ наблюдается в симментальской породе. Эта порода, по данным ряда авторов, характеризуется разнообразием по генотипу ВВ: в стадах Башкортостана – 2,5 % [Долматова И. Ю., Валитов Ф. Р., 2015], Рязанской области – 4 %

[Костюнина О. В., 2005], Республики Алтай – от 7 до 17 % [Гончаренко Г. М. и др., 2013].

Следует отметить, что симментальская порода, разводимая на Алтае, отличается соотношением генотипов гена κ -казеина: частота встречаемости генотипов $CSN3^{AA}$ составляет 34,2 %; $CSN3^{AB}$ – 48,1; $CSN3^{BB}$ – 17,7 %, соответственно частота аллеля А – 0,58; аллеля В – 0,42. Приведены результаты сравнительного анализа полиморфизма гена $CSN3$ в стадах коров симментальской породы из разных эколого-географических зон – степной зоны Новосибирской области и Республики Казахстан, горной зоны Республики Алтай. Для симменталов Казахстана характерна повышенная встречаемость генотипа $CSN3^{BB}$ (11,7–13,1 %), аллеля В (0,142–0,157) и пониженная частота генотипа $CSN3^{AA}$ (16,3–17,7 %) в сравнении с животными Республики Алтай и степной зоны Новосибирской области [Гончаренко Г. М. и др., 2013, 2016].

Сравнительный анализ распределения частоты аллелей гена у симментальской породы скота различного происхождения (чистопородные животные отечественной и австрийской селекции и голштинизированные животные отечественной селекции) показал, что наибольшая частота встречаемости желательного аллеля $CSN3^B$ была у чистопородных животных отечественной селекции – 36,3 % [Коновалова Е. Н. и др., 2007].

В румынской популяции симментальского скота значительно преобладает аллель А с частотой встречаемости 0,785 [Neamt R. I. et al., 2017], соответственно, генотип АА встречается у 61,5 %, АВ – у 30,7 % животных, а генотип ВВ лишь у 6,2 % коров. Похожая ситуация наблюдается в популяциях голштинского скота, разводимого в Словакии [Miluchová M. et al., 2018].

Желательный генотип ВВ у изучаемой выборки животных Уральской селекции не обнаружен. Частота встречаемости А-аллеля скота обоих предприятий составила 86 %, В-аллеля – 14 % [Зырянова А. А. и др., 2022].

В целом, в отечественной селекции встречаемость $CSN3^B$ аллеля у животных симментальской породы составляет 36,3–47,4 %. У симментальских быков встречаемость аллелей $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ составляет 57,1 %, в т.ч. вариант $CSN3^{BB}$ – 21,4 % [Иванов В. А. и др., 2017].

У красно-пестрой породы КРС частота $CSN3^A$ аллеля в пределах 0,6–0,7, $CSN3^B$ аллеля – 0,27–0,4. Частота желательного $CSN3^B$ аллеля у красно-пестрой породы выше, чем у чёрно-пёстрой – 0,4– 0,09 соответственно. Частота встречаемости аллеля В составила 40,14, аллеля А – 59,86 [Калашникова Л. А., 2002]. В частности, в Республике Мордовия у первотелок наиболее часто встречается генотип $CSN3^{AB}$ – 53,5–56,7 %, генотип $CSN3^{AA}$ – 33,1 %, $CSN3^{BB}$ – 10,2–13,4 %. Частота аллеля А – 0,61 %, В – 0,39 % [Неяскин Н. Н., 2017; Тельнов Н. О., 2017]. У высокопродуктивных коров Восточно-Европейской равнины (Липецкая область) частота встречаемости генотипа АА – 47 %, АВ – 49 % и ВВ – 5 % при частоте аллеля А – 0,71, В – 0,29; у первотелок частота генотипа АА составила 31 %, АВ – 51 % и ВВ – 18 % при частоте аллеля А – 0,56, В – 0,44 [Баршинова А. В., 2005]. В Ставропольском крае у животных красной степной породы выявлена частота $CSN3^B$ аллеля – 0,32, $CSN3^A$ – 0,68, при 51 % встречаемости в стадах коров с генотипом $CSN3^{AA}$, 32 % – $CSN3^{AB}$, $CSN3^{BB}$ – 17 % [Чижова Л. Н., 2008].

Частота животных с желательным генотипом $CSN3^{BB}$ у красной польской породе колеблется от 9 до 37 %, в чёрно-пёстрой породе это значение составляет 23 %, а в красной немецкой породе $CSN3^{BB}$ отсутствует.

У польского красного и немецкого красного скота установлена очень низкая частота аллеля $CSN3^B$ [Citek J. et al., 2000; Klauzinska M. L. et al., 2001].

Холмогорская порода описывалась в исследованиях учёных Республики Татарстан и Архангельской области. Частота аллелей $CSN3^A$ и $CSN3^B$ составила 0,80 и 0,20 соответственно. Наблюдается преобладание в

стадах генотипа $CSN3^{AA}$ (64 %) по сравнению с $CSN3^{AB}$ (34 %) и $CSN3^{BB}$ (2 %). В одном из хозяйств Республики Татарстан $CSN3^{AB}$ – 45,2 %, что оставляет возможность селекции внутри стада с целью достижения увеличения частоты встречаемости аллеля В [Худякова Н. А., 2022; Тюлькин С. В. и др., 2016]. В других сообщениях в татарстанском типе холмогорской породы частота генотипа $CSN3^{AA}$ была выявлена у 72 % животных, генотипа $CSN3^{AB}$ – 26,0 % и лишь 2 % имели генотип $CSN3^{BB}$ [Миннахметов А. Х. и др., 2015]. В Архангельской области частота встречаемости желательного аллеля $CSN3^B$ у холмогорского скота составляет 0,17, $CSN3^A$ – 0,83 [Ялуга В.Л. и др., 2018].

Гатиловой Е. В. и др. (2020) установлено, что у коров холмогорской породы частота аллеля $CSN3^A$ превалирует (в 2,8 раза) над аллелью $CSN3^B$. Доля коров-носителей генотипа $CSN3^{AA}$ при сопоставлении с генотипами $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ была значительно больше.

В стадах бестужевской породы генотип $CSN3^{AA}$ встречается у 53,2–56,4 % животных, $CSN3^{AB}$ – 40–45,5 % и $CSN3^{BB}$ – 1,8–3,6 %. Частота аллелей $CSN3^A$ и $CSN3^B$ составляет соответственно 0,75–0,76 и 0,24–0,25 [Долматова И. Ю., 2015; Галлямова А. и др., 2008; Карпов П. А. и др., 2005].

У бурой швицкой породы отмечена высокая частота аллеля $CSN3^B$ – 0,6, соответственно частота гетерозигот $CSN3^{AB}$ – 47,6 %, и частота гомозигот $CSN3^{BB}$ – 38,46 % [Марзанов Н. С. и др., 2014]. Также, высокая частота аллеля $CSN3^B$ у российских пород – горбатовской (0,469–0,567), ярославской (0,529) и костромской (0,404). У бурой карпатской частота аллеля $CSN3^B$ – 0,364, а частота $CSN3^{BB}$ – 14 %. [Глазко В. И. и др., 1997]. Установлена частота аллеля $CSN3^B$ в костромской породе – 0,595–0,624 [Перчун А. В. и др., 2012], 0,891 [Чаицкий А. А. и др., 2021].

У животных айширской и голштинской пород представлен только генотип $CSN3^{AA}$ (100 %), генотип $CSN3^{BB}$ в породе не определён [Криворучко С. В., 2012].

Саморуков Ю. В. и Марзанов Н. С. (2002, 2004) считают, что снижение белка в молоке коров связано с низкой частотой аллеля $CSN3^B$ у пород американской селекции, которых используют для улучшения популяций молочного скота России. В зарубежных породах молочного скота генотип $CSN3^{BB}$ практически полностью отсутствует у быков фризской и айрширской пород, а у голштинских быков в США он не превышает 10 % [Тюлькин С. В. и др., 2021].

Муллахметов Р. Р. с соавт. (2010) пишет, что по данным зарубежных исследователей у голштинских быков-производителей в Великобритании частота аллеля $CSN3^A$ составила 0,80, аллеля $CSN3^B$ – 0,20 [Pinder S. J. et al., 1991], в Канаде – 0,86 и 0,14 соответственно. В Канаде частота встречаемости аллеля $CSN3^B$ у животных айрширской породы была 0,23, голштинской – 0,14 и джерсейской – 0,92 [Sabour M. P. et al., 1996].

Исследовали частоту встречаемости аллеля $CSN3^B$ у быков разных пород: у чёрно-пёстрой, красно-пёстрой голштинской, симментальской и бестужевской пород быков она составляет соответственно 48, 60, 63 и 66 % [Немцов А. А. и др., 2006]. В других исследованиях частота встречаемости аллеля $CSN3^A$ у быков варьировала от 0,70 до 0,87, в то время как аллеля $CSN3^B$ – от 0,13 до 0,30 [Исламова С. и др., 2007]. Также отмечены низкие значения частоты аллеля $CSN3^B$ у симментальских быков [Schaar J., 1986; Falaki M. et al., 1997; Марченко Г. и др., 2002].

Отсутствие аллеля $CSN3^B$ или его низкая частота выражается в очень высокой (100–84,5 %) встречаемости генотипа $CSN3^{AA}$ в стадах и редкой встречаемостью генотипа $CSN3^{AB}$ и отсутствием $CSN3^{BB}$. Чижова Л. Н. (2008) пишет, что молочного скота, разводимого в Ставропольском крае, отсутствует генетическое разнообразие в локусе гена каппа-казеина из-за использования семени быков-производителей с генотипом $CSN3^{AA}$. Анализ данных, представленных в «Каталоге быков-производителей племпредприятий Российской Федерации по гену каппа-казеина»,

показывает, что только в 3,9 % случаев быки-производители голштинской породы имеют генотип $CSN3^{BB}$, в 33,2 % генотип $CSN3^{AB}$. Быки-производители черно-пестрой породы с генотипом $CSN3^{BB}$ встречаются всего лишь (1,9 %) в одном племпредприятии Ставропольского края. На Центральной станции искусственного осеменения не существует быков айрширской породы с аллелем $CSN3^B$.

Для проведения массовой селекции по гену $CSN3$ все исследователи выделяют тестирование и отбор быков-производителей на племенных фермах как первоочередную задачу. Проведённые исследования на холмогорской породе показали, что стратегический отбор и подбор быков, учитывающий генотипы гена к-казеина, позволяет повысить частоту желаемого генотипа $CSN3^{BB}$ до 5 % [Багаль И. Е. и др., 2014].

Характерно, что буйволицы мономорфны по гену каппа-казеина, у этих животных наблюдался только аллель $CSN3^B$. Поэтому оценить действие полиморфизма на удой и его составляющие не представляется возможным. Исследователи считают, что мономорфизм, наблюдаемый в изучаемой популяции, позволил бы разработать метод идентификации смесей коровьего и буйволиного молока при производстве сыра моцарелла, так как у крупного рогатого скота этот ген полиморфен [Otaviano A. et.al., 2005]. Варианты, наблюдавшиеся у водяного буйвола, не существовали в роде *Bos*. У водяного буйвола уже идентифицировано 14 аминокислотных дифференциальных сайтов гена каппа-казеина [Fan X., et.al., 2019].

Сравнительная оценка молочных пород показала, что полиморфизм гена $CSN3$ зависит от породной принадлежности и направленности предшествующей селекции. Учитывая связь генотипа $CSN3^{BB}$ с содержанием белка, длительный процесс совершенствования пород методами традиционной селекции одновременно приводил к увеличению частоты желательных генотипов. Ранжированный ряд по частоте желательного генотипа $CSN3^{BB}$ некоторые исследователи представляют следующим

образом: якутская > симментальская > красная степная > голштинизированная > чёрно-пёстрая [Хорошилова Т.С. и др., 2021].

Несмотря на то, что оценку генотипов по к-казеину рекомендуют включать в селекционные программы по разведению крупного рогатого скота [Тинаев А.Ш., 2005], исследования, посвященные изучению связи между генотипами к-казеина и количеством молока, а также его составом, продолжаются как в России, так и за рубежом. Результаты достаточно противоречивы. Одни исследователи считают, что генотип $CSN3^{BB}$ обуславливает увеличение удоя, содержания жира и белка [Иолчиев Б. С. и др., 2003; Lund M. S. et al., 2011; Gengler N. et al., 2015; Zhou L. et al., 2014; Харченко П. Н. и др., 2006], другие – не обнаружили такого влияния [Хорошилова Т. С. и др., 2021].

У черно-пестрой породы прослеживается тенденция превосходства удоя у коров с генотипом $CSN3^{BB}$ на 373–537 кг, по выходу молочного жира на 16–23 кг по сравнению с животными других генотипов [Горелик О. В. и др., 2022]. В другом стаде коровы чёрно-пёстрой породы с генотипом $CSN3^{BB}$ также имели более высокие показатели по удою (на 447–487 кг), молочному жиру (на 10–15 кг) и молочному белку (14–15 кг) [Хабибрахманова Я. А., 2009]. Результаты исследований на коровах чёрно-пёстрой породы в Республике Башкортостан подтверждают, что у коров с генотипом $CSN3^{BB}$ содержание белка в молоке было выше на 0,04 %, а также отмечалась повышенная жирномолочность [Валитов Ф. Р. и др., 2019]. Аналогичные выводы были сделаны и на основе данных исследований, проведённых в Республике Татарстан: животные с генотипом $CSN3^{BB}$ имели больше на 0,04 % молочного жира, на 0,14 % молочного белка, на 0,20 % массовую долю казеина и на 0,05 % массовую долю молочного сахара по сравнению с теми, у кого генотип $CSN3^{AA}$ [Шайдуллин Р. Р., 2018].

У черно-пестрой породы Татарстана коровы с генотипом $CSN3^{BB}$ превосходили животных с генотипом $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ по удою и выходу

молочного жира по 1-й и 3-й лактации [Shaidullin R. и др., 2021]. Наиболее высокое содержание жира (4,39 %) отмечено у коров с генотипом $CSN3^{BB}$.

Имеются данные о связи генотипа и продуктивности черно-пестрых коров разной линейной принадлежности. Наиболее высокий удой и выход молочного жира выявлен у коров с генотипом $CSN3^{BB}$ в линии *B.P.* Соверинга. В линиях М. Чифтейна и Б. Айдиала коровы с генотипом $CSN3^{AA}$ имели преимущество по удою, по сравнению с генотипами $CSN3^{AB}$, $CSN3^{BB}$ [Шайдуллин Р. Р. и др., 2015, 2019].

Анализ молочной продуктивности дочерей быков-производителей черно-пестрой породы показал, что коровы отцов с генотипом $CSN3^{AA}$ имеют более высокие показатели молочной продуктивности и достоверно ($p < 0,05$ – $0,001$) превышают группы животных с генотипом $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ по удою на 254–715 кг, по количеству молочного жира на 8,5–23,9 кг, по количеству молочного белка на 9,2–27,2 кг. При этом дочери быков с генотипом $CSN3^{AA}$ характеризуются максимальной долей молочного белка в молоке, при преимуществе над другими группами на 0,03–0,12 % ($p < 0,05$ – $0,001$). Коровы с генотипом $CSN3^{BB}$ характеризуются высоким содержанием жира в молоке (4,11 %), превышение составляет от 0,07 до 0,10% ($p < 0,01$ – $0,001$) [Харисова Ч. А. и др., 2022].

Опыт многих стран показывает, что голштинизация местных пород крупного рогатого скота сопровождается увеличением объемов производимого молока при снижении его качественных показателей, в частности сырной пригодности. В связи с этим возникает интерес изучения зависимости реализации генетического потенциала коров от их генотипа по гену к-казеина [Басонов О. А. и др., 2023; Чаицкий А. А. и др., 2021; Сибэгатуллин Ф. С. и др., 2017].

Лемякин А.Д. с соавт. (2023) установили, что в племенных хозяйствах Костромской желаемый генотип $CSN3^{BB}$ встречается у 61 % животных. Содержание белка в молоке у коров с генотипом $CSN3^{AA}$ было достоверно

меньше, чем с генотипом $CSN3^{AB}$ ($p < 0,05$) и $CSN3^{BB}$ ($p < 0,001$). По остальным показателям продуктивности статистически значимых различий не обнаружено.

У коров трёх основных линий Уральской голштинизированной чёрно-пёстрой породы обнаружено заметное превосходство по удою и содержанию молочного белка с генотипами $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$. Содержание жира в молоке с генотипом $CSN3^{BB}$ больше на 0,21 % по сравнению с $CSN3^{AA}$ [Ражина Е. В., Лоретц О. Г., 2017; Лоретц О. Г., 2014]. Гридина С. Л. с соавт. (2016) при исследовании группы уральской чёрно-пёстрой породы определили, что первотёлки с генотипом $CSN3^{AA}$ дают 8005 кг молока, в то время как коровы с генотипом $CSN3^{AB}$ производят на 818 кг меньше.

Согласно исследованиям учёных ВНИИПЛЕМ, аллель $CSN3^B$ повышает содержание белка в молоке и улучшает свойства его свёртываемости у коров красно-пёстрой породы. Поэтому для производства сыров наиболее предпочтительным является молоко от гомозиготных коров с генотипом $CSN3^{BB}$. Проведенные исследования на животных красно-пёстрой породы не выявили прямой зависимости между генотипами по локусу к-казеина и удоем молока [Юхманова Н., Калашникова Л. А., 2004].

В Центрально-Черноземной зоне РФ первотелки красно-пестрой породы с генотипом $CSN3^{BB}$ имели более высокий удой, процент содержания жира и белка в молоке, а также выход молочного жира и белка по сравнению с первотелками с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$. Содержание жира в молоке было немного выше у животных с генотипом $CSN3^{BB}$, чем у первотелок с $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$. У животных с генотипом $CSN3^{BB}$ содержание белка в молоке составило 3,05 %, что выше на 0,06 %, чем у животных с генотипом $CSN3^{AA}$ и достоверно выше, чем у первотелок с генотипом $CSN3^{AB}$ ($p < 0,05$). По выходу молочного белка также превосходство имели животные с генотипом $CSN3^{BB}$. Разность по генотипам составила $CSN3^{BB}$ к $CSN3^{AA}$ – 20,9 кг ($p < 0,01$), $CSN3^{BB}$ к $CSN3^{AB}$ – 11,7 кг. Проведение сычужной пробы

позволило установить, что молоко первотелок с $CSN3^{BB}$ и $CSN3^{AB}$ относится к I классу (хорошее), а молоко первотелок с $CSN3^{AA}$ ко II классу (удовлетворительное) [Баршинова А. В., 2005].

В ходе исследований Тельнова Н. О. (2016) было установлено, что животные красно-пёстрой породы, принадлежащие к Поволжскому типу коров, с генотипом $CSN3^{BB}$ проявляют превосходство по удою на 643,7 кг, молочного белка на 36,84 кг и содержанию белка на 0,22 % по сравнению с генотипом $CSN3^{AA}$.

У коров ярославской породы в Костромской области установлено, что у первотелок с гетерозиготным генотипом удои выше на 770 кг по сравнению с гомозиготами $CSN3^{BB}$, однако содержание жира в молоке у носителей генотипа $CSN3^{BB}$ превосходило показатель $CSN3^{AB}$ на 0,15 % ($p < 0,05$) [Щеголев П. О. и др., 2022].

В случае отсутствия генотипа $CSN3^{BB}$, лучшие показатели суммарного содержания молочного жира и белка на 100 кг живой массы, наблюдались у генотипа $CSN3^{AB}$, по сравнению с $CSN3^{AA}$ [Егорашина Е. В., Тамарова Р. В., 2017]. В дальнейших исследованиях у коров ярославской породы с генотипом $CSN3^{BB}$ за несколько лактаций в среднем наблюдался повышенный выход молочного жира и белка по сравнению с животными генотипов $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ соответственно на 16,6 % и 7,2 %. Животные ярославской породы с генотипом $CSN3^{BB}$ превосходили по удою, а также по содержанию жира и белка в молоке коров $CSN3^{AB}$, $CSN3^{AA}$ генотипов. Предпочтительным генотипом по показателю молочного жира и белка среди животных ярославской породы, голштино-ярославских помесей и Михайловского типа ярославской породы отмечен $CSN3^{AB}$ генотип у коров Михайловского типа, у голштино-ярославских помесей генотип $CSN3^{BB}$ [Максименко В. Ф., 2007]. В целом, молочная продуктивность выше у коров, имеющих в генотипе аллель В гена каппа-казеина. Так, суммарные показатели молочного жира и белка за лактацию у голштинизированных

коров Михайловского типа составили: AA – 478; AB – 494; BB – 413,2 кг; у коров улучшенного типа, соответственно – 399,5; 387,5 и 413,1кг [Ярлыков Н. Г., 2012].

Исследования Л. А. Калашниковой с соавт. (2006) показали, что коровы холмогорской породы с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ имеют более высокое содержание жира и белка в молоке, чем сверстницы с генотипом $CSN3^{BB}$. Удой животных с генотипом $CSN3^{AA}$ был выше, чем с генотипом $CSN3^{BB}$ и $CSN3^{AB}$. Коровы айрширской породы с генотипом $CSN3^{AB}$ также имели более высокую молочность, чем гомозиготы [Митюков А. С., 1974; Vogt J., Barany M., 1990]. У татарстанского типа холмогорской породы наиболее высокое содержание жира и белка в молоке было у гомозигот $CSN3^{BB}$, которые превосходили животных с генотипом $CSN3^{AA}$ по жиру на 0,23 % и белку на 0,14 %. Коровы с $CSN3^{AB}$ имели промежуточные показатели [Миннахметов А. Х. и др., 2013].

В Архангельской области сравнили показатели продуктивности за последнюю законченную лактацию у коров с разными генотипами по гену $CSN3$. В результате животные распределились следующим образом; по удою – $CSN3^{BB}$ (6916 кг), $CSN3^{AA}$ (6793 кг) и $CSN3^{AB}$ (6411 кг), по массовой доле жира – $CSN3^{BB}$ (4,14 %), $CSN3^{AA}$ (4,04 %) и $CSN3^{AB}$ (3,95 %), по массовой доле белка – $CSN3^{BB}$ (3,16 %), $CSN3^{AA}$ (3,09 %) и $CSN3^{AB}$ (3,12 %). Таким образом, «желательным» генотипом является $CSN3^{BB}$ [Худякова Н. А. и др., 2024].

Также положительное влияние генотипа $CSN3^{BB}$ на содержание жира и белка в молоке установлено у коров холмогорской породы [Гатилова Е. В. и др., 2020], симментальской и чёрно-пёстрой пород [Денисенко Е. А., 2004; Гладырь Е. А., 2011].

В литературе имеются и противоположные результаты. Так, Cowan С. М. с соавт. (1992) отмечают, что аллель $CSN3^B$ связан с уменьшением процентного содержания молочного жира. В Саратовской области у симментальской породы изучали влияние генотипа животных немецкой и

местной селекции и оказалось, что в обеих группах коровы с генотипом $CSN3^{AA}$ имеют более высокие параметры по удою, жиру и белку [Гостева Е. Р. и др., 2016]. В Уральском федеральном округе гетерозиготные животные превосходили по белковомолочности гомозигот $CSN3^{AA}$ [Гатилова Е. В. и др., 2020].

В литературе обсуждается также влияние генотипа на качество молока, в частности на сыропригодность. Иванов В. А. с соавт. (2017) отмечают недостаточную сыропригодность молока коров холмогорской, красной степной, чёрно-пёстрой пород отечественной селекции с высокой долей кровности по голштинской породе. Гоштинизация способствовала повышению объемов производства молока, которое преимущественно используется как питьевое, но в пригодности молока для варки сыра все-таки предпочтение отдается бурым породам – симментальской, швицкой, костромской [Сулимова Г. Е. и др., 2011]. По технологическим характеристикам молоко животных с генотипом $CSN3^{BB}$ имеет оптимальный химический состав для производства сыра и обладает наилучшей способностью к образованию казеинового сгустка, при этом оно характеризуется меньшими затратами молока-сырья для производства 1 кг сыра – из 10 кг молока было получено 1,74 кг сыра от костромской породы и 1,52 кг – от чёрно-пёстрой. Органолептическая оценка сыров потенциальных потребителей показала, что лучшими качествами обладал сыр, приготовленный из молока костромской породы коров с генотипом $CSN3^{BB}$ [Чаицкий А. А. и др., 2022].

Установлено, что молоко коров с генотипом $CSN3^{BB}$ коагулирует на 1,88 мин быстрее в сравнении с $CSN3^{AA}$, а количество отделяемой жидкости у $CSN3^{BB}$ на 0,78 мл выше, чем у коров с $CSN3^{AA}$ [Гончаренко Г. М. и др., 2016].

1.3 Полиморфизм гена *BLG* и его влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота

Одним из потенциальных генов – кандидатов молочной продуктивности является ген *BLG*, который кодирует белок бета-лактоглобулин [Парыгина Е. В., Кожевникова И. С., 2023]. Многие исследователи считают, что этот ген может влиять на молочную продуктивность, качественный состав и физико-химические свойства молока [Перчун А. В. и др., 2015; Ахметов Т. М. и др., 2010; Калашникова Л. А. и др., 2015; Марзанов Н. С. и др., 2014; Валитов Ф. Р. и др., 2014].

Сывороточные белки *BLG* составляют до 12 % от общего количества белков в молоке и около 50 % от всей альбуминовой фракции [Ельчанинов В. В., 2009; Kazimierska K., Kalinowska-Lis U., 2021; Bologa M. et al., 2021; Хаертдинов Р. А. и др., 2009]. Белки сыворотки молока – сложные органические соединения высокой молекулярной массы, обогащённые незаменимыми аминокислотами и серой в большем объёме, чем казеин. В их состав также входят водород, кислород, углерод и азот [Алиев А. А., 1997; Хаертдинов Р. А. и др., 2009]. Данные белки молока усваиваются организмом на 96–98 % [Markus C. R et. al., 2002].

Основные белки сыворотки молока, такие как бета-лактоглобулин (β -*LG*) и α -лактальбумин, производятся в клетках молочной железы. В то время как альбумин сыворотки крови, иммуноглобулины переходят в состав молока из крови. В связи с этим белки сыворотки имеют исключительную ценность при производстве молочных смесей для питания человека [Хаертдинов Р. А. и др., 2009].

В отличие от казеина, бета-лактоглобулин не свертывается сычужным ферментом и не входит в структуру мицелл. Он также более чувствителен к нагреванию [Харченко П. Н. и др., 2006]. При нагревании до 90 °С сывороточные белки денатурируются, а при подкислении до pH 4,6 вместе с казеином выпадают в осадок [Хаертдинов Р. А. и др., 2009]. Предполагается,

что биологическая функция β -LG связана с транспортом витамина А. Эту гипотезу подтверждает обнаружение рецепторов для комплекса β -LG и ретинола в кишечнике новорожденных телят, что способствует усвоению липидов [Харченко П. Н. и др., 2006]. Известно, что β -LG является важным компонентом молока, необходимым для здоровья и роста молодняка в период молозива и лактации [Афанасьев МП. и др., 2010].

Было установлено, что содержание β -LG в молозиве коров молочного типа после первого удоя составляет 18,6 %, а к 10-му дню лактации этот показатель возрастает до 61,4 % от общего содержания сывороточных белков [Набоков З. И., Шантыз Ф. Ю., 2014].

Белок β -LG присутствует в молоке жвачных животных, таких как коровы, буйволы, бизоны и олени, а также у нежвачных животных, включая свиней, лошадей, собак, дельфинов и китов. Однако он отсутствует у грызунов и человека [Шапканова Е. В., 2010].

Бета-лактоглобулин представляет собой глобулярный белок, состоящий из одной полипептидной цепи (162 аминокислот) и сигнального пептида (16 аминокислот) [Ельчанинов В. В., 2019; Сафина Н. Ю. и др., 2020; Złotkowska D. et al., 2021]. В сыром молоке β -LG образует димеры, связанные дисульфидными мостиками четырёх остатков цистеина [McSweeney P.L.H. et al., 2013]. При нагревании выше 30 °С димеры распадаются на мономеры. Молекулярная масса β -LG составляет 18 кДа, изоэлектрическая точка находится на уровне рН 5.1. Ген *BLG* расположен на 11-й хромосоме у крупного рогатого скота и включает семь экзонов и шесть интронов [Chessa S. et al., 2015; Bohlouli M. et al., 2022]. Общая длина гена *BLG* составляет 4662 п.н. [Погорельский И. А., Позовникова М. В., 2014; Долматова И. Ю., Валитов Ф. Р., 2015]. Существует 15 различных вариантов аминокислотной последовательности *BLG*, из которых наиболее подробно изучены 11, различающихся одной или несколькими аминокислотами [Ахметов Т. М. и др., 2010; Soyudal B. et al., 2018; Barbosa S. B. P. et al., 2019; Nikšić D. et al.,

2021]. Так, во втором экзоне замена аминокислотных остатков у BLG^A вариантов С, D, F, W, в третьем – у А, Н, в четвертом – у А, G, Н, I, в пятом – у F, J, в шестом – у E, F, G [Ельчанинов В. В., 2009].

Аллельные варианты связаны с различными замещениями аминокислотных остатков. Аллель BLG^A в положениях 64 и 118 содержит аспарагиновую кислоту (Asp) и валин (Val), аллель BLG^B – глицин (Gly) и аланин (Ala) соответственно [Долматова И.Ю., Валитов Ф.Р., 2015; Ахметов Т.М. и др., 2010; Soyudal B. et al., 2018]. Аллели BLG^A и BLG^B являются наиболее распространенными, при этом отмечали, что аллель BLG^B встречается чаще [Asmaa W. Z., et al., 2019]. Например, частота аллелей BLG^A и BLG^B у коров голштинской породы составляет в среднем 0,45 и 0,55 % соответственно [Soyudal B. et al., 2019; Molee A. et al., 2015; Сафина Н. Ю. и др., 2018; Morkûnienė K. et al., 2018; Ardicli S. et al., 2019; Şahin Semerci E. et al., 2022]. При исследовании первотелок черно-пестрой, бестужевской и симментальской пород частота аллелей BLG^A и BLG^B находилась на уровне 0,46 и 0,54; 0,40 и 0,60; 0,42 и 0,58 соответственно [Долматова И. Ю., Валитов Ф. Р., 2015]. Частота аллелей BLG^A и BLG^B у симментальских коров австрийской и местной селекции в Республике Башкортостан составляет 0,30 и 0,70, у бестужевской породы 0,34 и 0,66 соответственно [Гареева И. Т., 2012].

У черно-пестрой породы частота BLG^B составляет 0,51 % [Kochnev N. et al., 2020], у голштинизированного скота этот показатель увеличивается до 0,58–0,61 % [Ахметов Т. М. и др., 2010; Cendron F. et al., 2021; Heidari M. et al., 2012]. Аналогичный уровень частоты встречаемости установлен и для помесных животных пород гузера, голштинской, холмогорских пород [Ferreira J. B. et al., 2019; Kochnev N. et al., 2020; Ялуга В. Л. и др., 2018]. Распределение частот BLG^A и BLG^B в популяциях коров голштинской породы индонезийского происхождения варьирует от 0,529 до 0,735 и от 0,265 до 0,471 соответственно [Anggraeni A. et al., 2017].

В Ленинградской области у коров голштинизированной черно-пестрой и айрширской пород частоты аллелей BLG^A и BLG^B – 0,475 и 0,525; 0,30 и 0,70 соответственно. Большинство особей черно-пестрой породы обладали гетерозиготным генотипом BLG^{AB} с частотой встречаемости 0,601. Частота гомозиготных генотипов BLG^{AA} и BLG^{BB} – 0,174 и 0,225 соответственно. У айрширского скота частота генотипа BLG^{AA} – 0,123, BLG^{AB} – 0,353 и BLG^{BB} – 0,523. В целом более 87 % коров айрширской породы обладали желательным аллелем BLG^B , при этом более половины имели генотип BLG^{BB} [Позовникова М. В. и др., 2015; 2017; 2018].

Популяции крупного рогатого скота латвийского происхождения, включая латвийскую бурую, латвийскую голубую, черно-пеструю голштинскую, красно-пеструю голштинскую, шведскую красно-пеструю и датскую красную породы, характеризуются высокой частотой встречаемости аллеля BLG^B (0,58–0,83) и генотипа BLG^{BB} (47–67 %) [Smiltina D., Grislis Z., 2018].

В условиях Республики Саха (Якутия) частота встречаемости желательного аллеля BLG^B у коров симментальской породы составляет 0,65, у холмогорской – 0,60, а у калмыцкой – 0,83 [Павлова Н. И. и др. 2016].

В ряде исследований получены противоположные результаты: частота встречаемости аллеля BLG^A – 0,55 %, BLG^B – 0,45 % [Zinnatov F. F. et al., 2020; Cendron F. et al., 2021; Heidari M. et al., 2012]. У симментальских коров местной селекции в Республике Башкортостан частота аллелей BLG^A и BLG^B составляет 0,51 и 0,49 соответственно [Гареева И. Т., 2012]. У коров белорусской черно-пестрой породы частота BLG^A и BLG^B – 0,56 и 0,44, соответственно [Епишко О. А. и др., 2017].

Для симментальской породы характерно снижение частоты встречаемости BLG^B до 0,32–0,45 % [Nikšić D. et al., 2021; Kochnev N. et al., 2020; Neamt R. et al., 2017; Kyselova J. et al., 2019].

В ряде работ показано, что BLG^B связан с высоким содержанием в молоке казеиновых белков и жира, а BLG^A – с высоким содержанием сывороточных белков. Частота генотипа BLG^{BB} варьирует в разных породах от 38,0 % (черно-пестрая голштинизированная) [Ахметов Т. М. и др., 2010] до 14,4 % (черно-пёстрая) [Федотова Н. В., Лозовая Г. С., 2011] и 39,6 % (холмогорская) [Глотова Г. Н., 2007]. В стаде коров черно-пёстрой породы в Псковской области соотношение частот аллелей следующее: BLG^A – 0,686, BLG^B – 0,314 [Федотова Н. В., Лозовая Г. С., 2011]. У коров черно-пёстрой породы в Московской области отмечено, что частота BLG^A и BLG^B была 0,46 и 0,54 соответственно [Покусай О. Е., 2011].

В Сибирском регионе генотип BLG^{BB} выявлен у 39,2 % чистопородных симментальских коров, у голштинизированных симменталов – 27,5 %, частота аллеля BLG^A превышала альтернативный BLG^B в 1,6 раза [Гончаренко Г. М. и др., 2016]. В стаде черно-пёстрых голштинских коров соотношение генотипов следующее: BLG^{AA} – 15,8; BLG^{AB} – 46,2 и BLG^{BB} – 38,0 % [Ахметов Т. М. и др., 2010].

В таблице 1.2 представлены данные литературы о генетической структуре разных пород по гену BLG . Отмечаем относительно высокий уровень гетерозиготности в стадах и неравномерность распределения частот даже в пределах одной породы, что свидетельствует об уникальности каждой породной группы, связанной с особенностями разведения и селекции животных.

Таблица 1.2

Частоты генотипов гена BLG в разных породах

Порода	n	Генотип			Авторы, год
		BLG^{AA}	BLG^{AB}	BLG^{BB}	
Чёрно-пёстрая	105	14,0	50,5	35,5	Погорельский И. А., 2014
Чёрно-пёстрая	168	17,4	60,1	22,5	Позовникова М.В., 2018
Чёрно-пёстрая самарского типа	129	25,4	42,4	32,2	Калашникова Л.А., 2015
Чёрно-пёстрая голштинизированная	100	15,8	46,2	38,0	Ахметов Т.М., 2010
Голштинская	211	20,8	49,8	29,4	Сафина Н.Ю., 2018

Голштинская (канадский тип)	566	24,0	42,0	34,0	Sabour M. P., 1996
Красно-пёстрая	284	16,2	53,52	30,3	Тельнов Н. О., 2017
Красная степная	120	12,2	51,0	37,0	Собственные исследования
Айрширская	19	12,3	35,3	52,3	Позовникова М.В., 2018
Айрширская	32	12,4	43,8	43,8	Егорашина Е.В., 2019
Симментальская	148	15,5	45,3	39,2	Гончаренко Г.М., 2016
Симментальская голштинизированная	109	14,7	57,8	27,5	Гончаренко Г.М., 2016
Симментальская	116	12,1	51,0	36,8	Собственные исследования

При анализе связи генотипов по гену *BLG* с молочной продуктивностью однозначных результатов не получено. Например, в некоторых породах было установлено, что наличие у коров генотипа *BLG^{AA}* увеличивает удои, в частности у голштинской породы на 0,66 % и джерсейской породы на 1,07 %, по сравнению с другими генотипами ($p < 0,001$). В то же время обнаружено, что у животных с генотипами *BLG^{BB}* и *BLG^{AB}* увеличение молочной продуктивности составило 1,77 % у симментальской породы и 1,05 % у бурой швицкой породы ($p < 0,001$) [Soyudal B. et al., 2018; Zepeda-Batista J. L. et al., 2017].

Ряд авторов считает, что аллель *BLG^A* оказывает более существенное влияние на увеличение удоев, чем аллель *BLG^B*. Также было показано, что аллель *BLG^B* благоприятно влияет на состав и качество молока [Погорельский И. А., Позовникова М. В., 2014; Soyudal B. et al., 2018; Barbosa S. B. P. et al., 2019; Asmaa W. Z. et al., 2016; Molee A. et al., 2015]. Исследования И. А. Погорельского и коллег (2014) на голштинизированных коровах черно-пестрой породы Псковской области показали, что коровы с генотипом *BLG^{AA}* превосходили своих сверстниц с генотипами *BLG^{AB}* и *BLG^{BB}* по удою на 295 и 178 кг соответственно. В. Soyudal и соавт. (2018) также отметили превосходство животных с генотипом *BLG^{AA}*; общий удой чистопородных голштинских коров с таким генотипом составил 8942 кг, в то время как с генотипом *BLG^{AB}* – 8694 кг, а с генотипом *BLG^{BB}* – 8320 кг.

Вместе с тем, сравнительное генотипирование животных голштинской породы и анализ уровня продуктивности в зависимости от генотипа показали, что наибольшее количество молока за период лактации в 305 дней наблюдается у особей с генотипом BLG^{BB} – 6634 кг, у BLG^{AA} – 6432 кг, и у BLG^{AB} – 6483 кг соответственно. Экономическая эффективность представителей с генотипом BLG^{BB} оказалась выше на 19,4 % [Zinnatov F. F. et al., 2020].

Среди симментальских коров наивысшие показатели удоя были у животных с генотипом BLG^{AB} по сравнению с гомозиготными вариантами бета-лактоглобулина. За 305 дней симменталы дали 6624,3 кг молока, что на 338,3 и 121,0 кг больше, чем коровы с генотипами у BLG^{AA} и BLG^{BB} соответственно ($p \leq 0,001$) [Nikšić D. et al., 2021; Neamt R., 2017].

Биологическую ценность молока и его производных определяют молочные белки [Bielecka M., et al., 2022]. По данным исследования, аллель BLG^B , отвечающая за содержание молочных белков, демонстрирует более высокую биологическую ценность по сравнению с аллелью BLG^A [Погорельский И. А., Позовникова М. В., 2014; Soyudal B. et al., 2018; Barbosa S. B. P. et al., 2019; Nikšić D. et al., 2021; Molee A. et al., 2015; Cendron F., 2021]. Так, у коров белорусской черно-пестрой породы, обладающих генотипом BLG^{BB} , отмечается повышение содержания белка (на 15,7–18,6 кг в третьей лактации) по сравнению с животными других генотипов ($p < 0,05$). Авторы считают, что увеличение жирно-и белкомолочности можно добиться путем распространения генотипа BLG^{BB} у коров данной породы [Епишко О. А. и др., 2018].

У симменталлов гетерозиготы BLG^{AB} демонстрировали преимущество перед гомозиготами по выходу молочного белка за 305 дней лактации (214,7 кг), превышающий результаты для генотипов BLG^{AA} и BLG^{BB} на 10,2 и 4,16 кг соответственно. При этом, различия в процентном содержании белка в молоке незначительны и составляют 0,02 % [Nikšić D. et al., 2021]. Однако

есть сведения о более низких показателях у гетерозигот по сравнению с BLG^{BB} и отсутствии различий с BLG^{AA} [Рачкова Е. Н., 2016].

Одним из ключевых показателей молочной продуктивности является содержание жира в молоке [Cichosz G. et al., 2020; Ганиева Е. С. и др., 2021]. В некоторых исследованиях установлено, что аллель BLG^B ассоциируется с более высокими значениями жирномолочности [Погорельский И. А., Позовникова М. В., 2014; Soyudal B. et al., 2018; Barbosa S. B. P. et al., 2019; Nikšić D. et al., 2021; Molee A. et al., 2015; Cendron F., 2021].

Так, у коров белорусской черно-пестрой породы с генотипом BLG^{BB} количество жира в молоке было на 17,0 и 18,7 кг больше, чем у животных с BLG^{AA} и BLG^{AB} соответственно ($p < 0,05$) [Епишко О. А. и др., 2018]. В то же время, у коров симментальской породы не выявлено существенной разницы в количестве молочного жира за лактацию между генотипами BLG^{BB} и BLG^{AB} , и оба варианта демонстрируют превышение этого показателя на 10 кг по сравнению с BLG^{AA} [Nikšić D. et al., 2021].

Было отмечено и отсутствие статистически значимого влияния генотипа по гену BLG на показатели молочной продуктивности. Так, при анализе чистопородных голштинских, симментальских и бурых пород в районе Южной Мармары и в Италии не было обнаружено значительных различий в массовой доле молочного белка и жира у коров разных генотипов [Soyudal B. et al., 2018; Dokso A. et al., 2014].

1.4 Полиморфизм гена *PIT-1* и его влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота

К числу перспективных генетических маркеров можно отнести ген гипофизарного фактора транскрипции *PIT-1*, вовлеченного во множество биохимических реакций в организме [Терлецкий В. П. и др., 2014; Mitrofanova O. V. et al., 2017]. Уровень молочной продуктивности зависит от множества факторов, в том числе от секреторной активности молочной железы, которую контролирует комплекс гормонов, генов, факторов

транскрипции и ферментов. Набор сайтов связывания факторов транскрипции в регуляторных районах генов рассматривается как существенная, главная часть регуляторного кода транскрипции, находящаяся в тесном взаимодействии с рядом других кодов (коды позиционирования нуклеосом, наднуклеосомной укладки хроматина, гистоновый код) и обеспечивающая дифференциальную экспрессию генов многоклеточного организма [Позовникова М. В., Сердюк Г. Н., 2017; Woollard J. et al., 1994].

Исследователи активно изучают гены соматотропинового каскада, белковые продукты которых являются ключевыми звеньями одной гуморальной цепи, участвующей в процессах роста и развития млекопитающих (*bPIT-1*, *bGH*, *bGHR*, *bIGF-1*). В каскаде экспрессия одного гена влияет на экспрессию всех остальных и один полиморфизм может потенцировать действие другого. Для гена *PIT-1* идентифицирован полиморфизм в шестом экзоне в районе центромеры первой хромосомы [Бейшова И. С. и др., 2017, 2018; Beishova I. et al., 1921].

Молочная продуктивность является сложным количественным показателем, который контролируется множеством генетических локусов (QTL). Среди этих локусов можно выделить гены белков молока, а также гены гормонов, таких как пролактин и соматотропин, которые влияют на развитие животного, готовность к лактации и стимулируют сам процесс лактации. Исследования показывают возможную связь между этими генами и молочной продуктивностью, а также качеством молока [Дроздов Е. В. и др. 2009, 2010, 2011].

Гипофизарный транскрипционный фактор *PIT-1* играет ключевую роль в регуляции молочной продуктивности. Он контролирует дифференциацию клеток гипофиза, управляет синтезом соматотропина, пролактина и тиреотропного гормона, и регулирует экспрессию их генов [Anderson B., Rosenfeld M. G., 1994]. Аллельные варианты этого фактора могут влиять на производительность молока [Renaville R. et al., 1997; Mattos K. K. et al, 2004],

а мутации в гене *PIT-1* могут привести к дефициту соматотропина [Li S. et al, 1990].

Ген транскрипционного фактора *PIT-1* у крупного рогатого скота расположен в центромерной области первой хромосомы между генами *TGLA57* и *RM95* [Moody D. E. et al, 1995]. Белок *PIT-1* состоит из 291 аминокислоты, распознает мотив *atgnata(a/t)(a/t)* и является частью *POU*-домена, где собрана группа транскрипционных регуляторов, играющих ключевую роль в процессах дифференциации и пролиферации клеток. *POU* представляет собой бинарный домен, связывающийся с ДНК, содержащий два высоко консервативных участка. Эти участки выполняют функцию высокого аффинитета к ДНК генов соматотропина и пролактина [Klemm J. D., Рабо С. О., 1996]. У млекопитающих существует три варианта сплайсинга гена *PIT-1*. Основным вариантом, *PIT-1α*, и два других - *PIT-1β*, *PIT-1γ*, дающие биологически активные продукты. Каждый из вариантов селективно воздействует на промоторные области целевых генов [Konzak J. D., Moore D., 1992].

В настоящее время выявлено несколько вариантов гена *PIT-1*, определяемых точечными мутациями. Три мутации - *Pit1I3H* (С- и D-аллели), *Pit1I3N* (М- и N-аллели) и *Pit1I3NL* (G- и H-аллели) локализованы в третьем интроне. Эти мутации обнаружены с помощью рестриктаз *HinfI*, *NciI* и *NlaIII*, соответственно. Также обнаружены мутации *Pit1I4N* (Е- и F-аллели), *Pit1I5*, *Pit1E6H* (А- и В-аллели) в четвертом, пятом интронах и шестом экзоне гена *PIT-1*. Нуклеотидные замены в четвертом интроне и шестом экзоне идентифицируются эндонуклеазами *BstNI* и *HinfI*, соответственно. Аллель *PIT-1^B* обуславливает точечную мутацию, приводящую к замене аденина на гуанин (А→G) [Zhao Q., Davis M. E., 2004; Woollard J. et al, 1994].

Полиморфизм гена *PIT-1* может представлять интерес как потенциальный маркер продуктивности, однако, действие гена может быть специфичным для определённых пород и оказывать разное влияние на

количественные характеристики животных. В литературе имеются противоречивые данные: например, одни исследования указывают на то, что аллель $PIT-1^A$ связан с увеличением удоя и повышенным качеством молока [Zwierzchowski L. et al, 2002], в то время как другие показывают, что аллель $PIT-1^B$ может способствовать увеличению морфометрических параметров молодых животных, а некоторые исследования вовсе не обнаруживают влияния аллелей $PIT-1$ на рост животных [Zhao Q., Davis M. E., 2004; Dybus A. et al, 2003].

По результатам генотипирования коров голштинской породы в Татарстане было показано, что популяция по гену $PIT-1$ полиморфна, генетическое равновесие не нарушено, а распределение частоты аллелей и генотипов следующее: $PIT-1^A$ – 0,32 и $PIT-1^B$ – 0,68; $PIT-1^{AA}$ – 11,7 %, $PIT-1^{AB}$ – 40,5 %, $PIT-1^{BB}$ – 47,7 % [Гайнутдинова Э. Р. и др., 2019].

У иранской голштинской породы частоты генотипов $PIT-1^{AA}$, $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{BB}$ были 14,2, 35,8 и 50 % соответственно [Sadeghi M. et al., 2022].

Исследования полиморфизма $PIT-1$ фризской голштинской породы Индонезии показали, что частоты генотипов $PIT-1^{AA}$, $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{BB}$ – 10, 30 и 60 % соответственно, а частоты аллелей $PIT-1^A$ и $PIT-1^B$ – 0,25 и 0,75 соответственно [Prastowo S. et al, 2022].

У коров черно-пёстрой породы Ленинградской области также отмечается высокая частота аллеля $PIT-1^B$ (0,7–0,8), а частоты встречаемости животных с генотипами $PIT-1^{AA}$, $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{BB}$ составляют 7,5, 36,8 и 57,1 % соответственно [Позовникова М. В., Сердюк Г. Н., 2017].

По данным ряда авторов, коровы с генотипом $PIT-1^{AA}$ имеют лучшие показатели по удою и выходу молочного белка, но при этом имеют низкий показатель процентного содержания жира, при этом гетерозиготы превосходят гомозигот по жирномолочности и количеству молочного жира [Khaizakan Z. A., Al-Razem F. J., 2014; Dybus A. et al., 2004; Михайлова М. Е. и др., 2008; Некрасов А. А. и др., 2016]. Положительное влияние генотипа

$PIT-1^{AA}$ на удой черно-пёстрых коров подтверждены работами других авторов [Дроздов Е. В. и др., 2011; Михайлова М. Е. и др., 2008]. В Брянской области у коров черно-пёстрой и айширской пород установлена высокая частота аллеля $PIT-1^B$ (0,6) и низкая частота аллеля $PIT-1^A$. Распределение животных с разными генотипами по величине надоя молока за месяц показало, что коровы с генотипом $PIT-1^{AA}$ имеют продуктивность более 550 кг молока, в то время как в других группах таких коров не выявлено. В группах коров с $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{BB}$ получили примерно одинаковые доли коров с минимальной и средней продуктивностью [Дроздов Е. В. и др., 2011].

При оценке ассоциации между полиморфизмом гена $PIT-1$ и признаками молочной продуктивности местных коров региона Кербала в условиях Ирака, частоты аллелей были – $PIT-1^A$ – 0,43, $PIT-1^B$ – 0,57, а генотипов – $PIT-1^{AA}$ – 8,1, $PIT-1^{AB}$ – 68,8, $PIT-1^{BB}$ – 22,9 %. Достоверной разницы между удоем коров с разными генотипами не установлено [Zabeel A. et al, 2018; Thuy N. et al, 2018].

Исследования продуктивности коров черно-пестрой голштинизированной породы в Минской области показали, что аллель $PIT-1^B/HinFI$ является наиболее предпочтительной по трём признакам: удою, жирномолочности и белкомолочности. Особи с генотипом $PIT-1^{BB}$ превосходят особей с генотипом $PIT-1^{AA}$ на 415 кг молока, 18 кг молочного жира и 17 кг молочного белка. Гетерозиготы занимают промежуточное положение [Белая Е. В. и др., 2012; Реброва, О. Ю., 2002].

Напротив, согласно исследованию Zwierzchowski и соавт. (2002), проведенному на польском черно-пестром голштинизированном скоте, установлено, что аллель $PIT-1^A$ положительно коррелируется с суточным удоем и содержанием молочного жира.

Таким образом, результаты исследования полиморфизма представленных генов и их влияние на показатели молочной продуктивности

у коров разной породной и территориальной принадлежности достаточно противоречивы и требуют дальнейшего изучения.

1.5 Морфологические и биохимические показатели крови коров

К числу основных интерьерных показателей животных относят морфологические и биохимические показатели крови. Анализ основных характеристик крови у животных различных генотипов по изучаемым генам является вполне обоснованным [Сивков А. И., 2006]. Кровь как внутренняя среда для органов и тканей тела представляет собой важный показатель при определении активности обменных процессов и поддержания гомеостаза. Однако её состав довольно изменчив, что позволяет использовать его как индикатор адаптации организма к окружающей среде, физиологического состояния, кормления, стрессоустойчивости. Индивидуальные, породные и видовые особенности связывают с генотипом животных [Эйдигевич Е. В., Раевская В. В., 1978].

В крови животных определяется количественное содержание форменных элементов эритроцитарного звена гемограммы, оцениваемого по количеству гемоглобина (HGB, g/L), эритроцитов (RBC, $\times 10^{12}/L$), гематокрита (HCT, %) и эритроцитарных индексов (средний объём эритроцитов (MCV, fL), среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците (MCH, pg), средняя концентрация гемоглобина в одном эритроците (MCHC, g/L) [Шевхужев А. Ф. и др., 2014].

Учитывая связь между составом крови и продуктивностью молочного и мясного скота, были проведены, например, исследования гематологических и биохимических показателей крови чистопородных и помесных первотёлок в условиях Нижнего Поволжья и бычков высокогорной зоны Кабардино-Балкарии [Сивков А. И., 2006; Отаров А. И. и др., 2022]. Группы животных Нижнего Поволжья: 1 – черно-пестрая порода; 2 – помесь 1/2 черно-пестрой и 1/2 черно-пестрой голштинской; 3 – помесь 1/4 черно-пестрой и 3/4 черно-

пестрой голштинской; 4 – помесь 1/4 черно-пестрой и 3/4 черно-пестрой голштинской от разведения «в себе». Группы животных Кабардино-Балкарии: 1 – чистопородная калмыцкая порода; 2 – помесь абердин-ангусская × калмыцкая.

Низкий уровень *HGB* в крови у животных в первой трети лактации свидетельствует о начальном уменьшении его количества перед последующим постепенным увеличением [Эйдигевич Е. В., Раевская В. В., 1978]. Высокий уровень *HGB* у потомства смешанной породы 1/4 черно-пестрая + 3/4 черно-пестрая голштинская при скрещивании «в себе» свидетельствует о более активных окислительно-восстановительных процессах в организме, чем у сверстниц с генотипом черно-пестрая голштинская [Сивков А. И., 2006].

Количество форменных элементов крови в эритроцитарном звене гемограммы у чистопородного калмыцкого скота и их помесей с абердин-ангусами, выращиваемых в горных условиях Кабардино-Балкарии, находилось в пределах физиологической нормы. У чистопородных бычков калмыцкой породы отмечалось повышенное содержание гранулоцитов (GRA, $\times 10^9/\text{л}$) в лейкоцитарной формуле по сравнению с помесным молодняком – $3,82 \times 10^9/\text{л}$ (в 2 раза выше у помесей абердин-ангусская × калмыцкая). Помесные животные характеризовались и большим количеством тромбоцитов (PLT, $\times 10^9/\text{л}$), превышая чистопородных сверстников на $268,2 \times 10^9/\text{л}$. [Отаров А. И. и др., 2022].

Об уровне обменных процессов в организме подопытных животных можно судить с помощью результатов биохимических исследований сыворотки крови, составной частью которой являются белки, находящиеся в постоянном обмене с белками тканей организма [Исхаков Р. С., 2016; Польских С. С. и др., 2015]. Основную часть белков животных составляют альбумины и глобулины [Алексеева Н. М. и др., 2017; Косилов В. И. и др., 2020; Третьякова Р. Ф., 2020]. Альбумины – это широкий спектр белков

сыворотки крови, которые осуществляют в организме связь и транспортировку питательных веществ в различные органы и ткани. Глобулины обеспечивают транспорт липидов, гормонов, витаминов, и выполняют защитную функцию [Косилов В. И. и др., 2016; Заикина Е. В., Герасимов Н. П., 2012].

Уровень общего белка в первые четыре месяца лактации высокий (8,6 %), но к концу этого периода снижается. Наибольшее значение наблюдается у помесей 1/4 черно-пестрая + 3/4 черно-пестрая голштинская (8,9 %) [Сивков А. И., 2006]. Содержание общего белка в сыворотке крови у бычков абердин-ангус × калмыцкая превышало уровень чистопородных калмыцких сверстников на 4,7 г/л (6,04 %). Максимальная концентрация глобулинов также наблюдалась у помесных животных, превышая содержание в крови чистопородных молодняков на 1,82 г/л (3,91 %) [Отаров А. И. и др., 2022].

Поскольку γ -глобулиновая фракция белков является основным компонентом многих антител, уровень этой фракции в сыворотке крови может указывать на степень иммунной защиты организма животных. Анализ фракционного состава сыворотки крови показал, что количество γ -глобулинов у помесных подопытных животных высоко. Чистопородные бычки по количеству β -глобулинов, напротив, имели преимущество над молодняком помесей абердин-ангусская × калмыцкая на 2,51 г/л, или на 21,4 % породы [Сивков А. И., 2006; Отаров А. И. и др., 2022].

Уровень сахара в крови у животных играет важную роль как источник энергии и строительный материал для клеток, исходный продукт для синтеза липидов, белков и нуклеиновых кислот. Более высокий уровень сахара обычно свидетельствует о более интенсивных процессах обмена веществ в организме животных [Волохов И. М., 1997; Пащенко О. В., 1999]. У коров помеси 1/4 черно-пестрая + 3/4 черно-пестрая голштинская уровень сахара в крови выше на 2,9–3,3 % по сравнению с первотёлками черно-пёстрой породы, что указывает на более активный метаболизм в их организме.

Общие показатели сахара, кальция, фосфора в крови животных находятся в пределах нормы для здорового организма, что свидетельствует о нормальном метаболизме. У первотёлок создаваемого нового типа черно-пёстрого скота Нижнего Поволжья отмечается повышенное содержание электролитов в крови на 1,7–26,5 %, что указывает на более интенсивные процессы ассимиляции у коров черно-пестрой × голштинской породы [Сивков А. И, 2006]. Уровень креатинина, мочевины, щелочного фосфата у животных Кабардино-Балкарии был в пределах нормы, однако наибольшее значение показателя отмечено также у помесных бычков – на 7,77 мкмоль/л больше (15,5%), чем у чистопородных калмыцких [Сивков А. И, 2006; Отаров А. И. и др., 2022].

В результате исследования обнаружено, что активность ферментов переаминирования (АСТ – аспартатаминотрансфераза и АЛТ – аланинаминотрансфераза) соответствует физиологическим нормам. Эти ферменты имеют высокую специфичность к тканям и используются для диагностики заболеваний сердца при анализе их содержания в крови. Помесные бычки проявляли некоторое повышение активности АСТ по сравнению с чистопородными сверстниками. Активность АЛТ была максимальной у молодняка калмыцкой породы, однако это превосходство не имело статистической значимости [Сивков А. И, 2006; Отаров А. И. и др., 2022].

Щелочная фосфатаза, находящаяся в клетках печени и желчевыводящих путях, катализирует определенные биохимические реакции. В ходе исследования не выявлено значительных различий в уровне щелочной фосфатазы в сыворотке крови бычков между группами. Все показатели щелочной фосфатазы оставались в пределах нормы, однако у бычков абердин-ангус × калмыцкая этот показатель был немного выше, превышая чистопородных сверстников на 5,46 ед/л (4,62 %). У помесных бычков абердин-ангусская×калмыцкая также выявлена более выраженная

активность щелочной фосфатазы, что свидетельствует о более сильной реакции иммунной системы.

Большинство показателей крови помесных животных породы чернопестрая × голштинская, а также абердин-ангус × калмыцкая, были выше, чем у чистопородных представителей калмыцкой породы [Сивков А. И, 2006; Отаров А. И. и др., 2022].

Наряду с многочисленными исследованиями биохимического статуса животных разного генеалогического происхождения, есть работы и по изучению ассоциации генетических маркеров с показателями метаболического профиля. Установлено, что при сбалансированном кормлении дойных коров генотипы по генам *CSN3*, *BLG* оказывают влияние на показатели белкового, углеводного, липидного, минерального обменов веществ. Так, наибольшим содержанием общего белка в сыворотке крови характеризовались коровы с генотипом *CSN3^{BB}* – 99,40 г/л; наименьшим содержанием мочевины – коровы с генотипом *BLG^{AB}* (5,40 ммоль/л); максимальным уровнем триглицеридов – коровы с генотипом *BLG^{AB}* (0,29 ммоль/л); фосфора неорганического – животные с генотипом *CSN3^{BB}* (2,26 ммоль/л); наиболее низкой активностью щелочной фосфатазы – коровы с генотипом *BLG^{AA}* (82,33 ед/л). Различий по уровню альбуминов (г/л); общего кальция (ммоль/л); АСТ и АЛТ – (ед/л); α-амилазы (Е/л) между животными разных генотипов по генам *CSN3* и *BLG* не установлено [Крупин Е. О., 2021].

Таким образом, анализ литературных источников указал на актуальность дальнейшего изучения полиморфизма генов *CSN3*, *BLG*, *PIT-1* и их связи с молочной продуктивностью и интерьерными показателями животных разных пород и территорий разведения, в частности, в стадах северного Казахстана. Важным элементом новизны исследования стало влияние генотипа по изучаемым генам на стрессоустойчивость животных, показателя, тесно связанного с продуктивностью.

1.6 Стрессоустойчивость крупного рогатого скота

В условиях развития агропромышленного комплекса Казахстана, значимо исследование воздействия стрессовых факторов на показатели молочной продуктивности крупного рогатого скота. Нервная система животных отвечает за процессы выработки молока и лактации в организме. Стресс – это активация симпатической нервной системы и/или системы «гипоталамус-гипофиз-надпочечники» в ответ на влияние какого-либо фактора окружающей среды. Устойчивость животных к стрессам, помимо пролактина, определяется уровнем адренокортикотропного гормона (АКТГ) и кортизола в организме коров [Чеченихина О. С. и др., 2022; Донник И. М. и др., 2021].

По мнению ученых, молочные животные имеют сильный уравновешенный подвижный темперамент, они стрессоустойчивы. Получение животных с высокой молочной продуктивностью, хорошими продуктивными качествами и адаптированных к местным условиям – все это связано с их стрессоустойчивостью, что сегодня считается весьма актуальным [Zemlyanukhina T. N., 2021].

По степени стрессоустойчивости коров делят на четыре типа: 1-й тип – высокая устойчивость к стрессу; 2-й и 3-й типы – средняя группа стрессоустойчивости; 4-й тип – низкая стрессоустойчивость. Учеными было выявлено, что наибольшую ценность для введения животноводства представляют животные первого и второго типов стрессоустойчивости, так как они проявляют повышенные адаптационные качества по сравнению с другими группами животных. По данным ученых, наибольший удой отмечен у молочного скота первого типа стрессоустойчивости, чем у коров второго, третьего (средних) и четвертого (слабого) типов стрессоустойчивости [Ламонов С. А., Загороднев Ю. П., 2019; Скоркина И. А. и др., 2019].
Результатов исследований, посвященных изучению связи

стрессоустойчивости с генотипами по генам *CSN3*, *BLG*, *PIT-1*, в доступной нам литературе не обнаружено.

В заключении следует сказать, что изучение генетического разнообразия пород на основе полиморфизма ДНК как источника генетического ресурса для будущих поколений, поиск путей повышения продуктивности животных без ущерба их адаптационных качеств, включая устойчивость к болезням, стрессу и воспроизводство, является стратегической задачей ученых во всех странах. Учитывая комплекс нерешенных вопросов, связанных с неоднозначной оценкой взаимосвязи между признаками и генотипами животных с разной продуктивностью и породной принадлежности, нами были сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Место проведения, объект и предмет исследования

Исследования были проведены в 2017 году в рамках выполнения проекта МОН РК «Экспрессия генов-кандидатов белкового и липидного обмена у молочного скота» и в период обучения в аспирантуре Новосибирского государственного аграрного университета на базе кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии с 2020 по 2024 годы. Молекулярно-генетические исследования проведены в Испытательной лаборатории биотехнологии животных НИИ «Агроинновации и биотехнологии» Торайгыров университета г. Павлодара. Схема исследования представлена на рисунке 2.1.

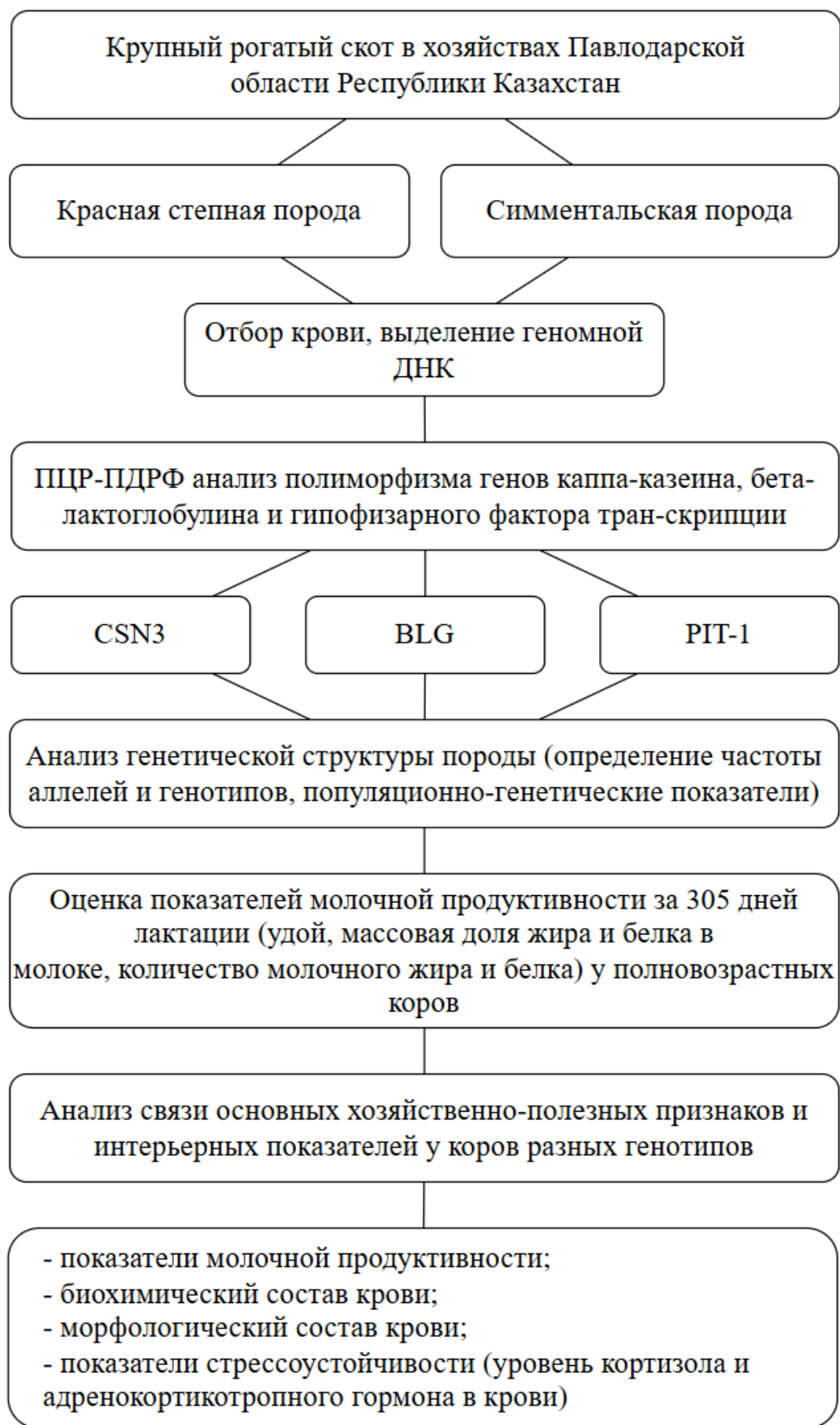


Рисунок 2.1 – Схема исследования

Объектом исследования послужили животные двух пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности: коровы красной степной породы хозяйства ТОО «Победа» Павлодарской области, Щербактинского района, с. Орловка (n=120); симментальской породы племенного хозяйства ТОО «Галицкое» Павлодарской области, Успенского района, с. Галицкое (n=116). Предметом исследования являлись полиморфные гены: каппа-казеин (*CSN3*), бета-лактоглобулин (*BLG*), гипофизарный фактор транскрипции (*PIT-1*).

2.2 Выделение образцов ДНК из крови крупного рогатого скота

Материалом для исследования являлась цельная венозная кровь. Забор крови производился из хвостовой вены в пробирки VACUETTE® с K2 ЭДТА для гематологических, молекулярно-генетических исследований цельной крови.

Биологический материал транспортирован из хозяйств в лабораторию в термоконтейнере с хладогентом с поддержанием рабочей температуры от +2 до +8 °С в течение первых суток после взятия.

Экстракцию ДНК проводили в процессе лизирования клеток крови, закрепления ДНК на сорбенте, промывки (3×), элюции ДНК в ТЕ-буфер (50 мкл). Для экстракции нуклеиновой кислоты использовали набор реагентов ДНК-сорб-В компании АмплиСенс®, г. Москва. Очищенные молекулы ДНК хранили при температуре от 2 до 8 °С в течение недели, при температуре от минус 24 до минус 16 °С в течение 6 месяцев и при температуре не выше минус 68 °С в течение года.

Качество и концентрацию извлечённых препаратов ДНК оценивали электрофоретическим методом в 1 % агарозном геле. Аликвоты проб ДНК после смешивания с буфером, содержащим 0,25 % бромфенолового синего, наносили в лунки геля и подвергали электрофорезу в Трис-боратном буфере (18 мМ Трис-НСl, рН 8.5; 18 мМ H₃BO₃; 0,4 мМ ЭДТА) при 40 В в течение 10

мин [Калашникова Л. А., 1999]. Визуализировали ДНК на трансиллюминаторе в проходящем УФ-свете по флуоресценции $C_{21}H_{20}BrN_3$. Концентрацию оценивали по яркости свечения ДНК в геле.

Далее, согласно рекомендациям учёных (Кириленко С. Д., 1995; Калашникова Л. А. и др., 2015; Позовникова М. В., 2017), были проведены исследования генов с использованием полимеразной цепной реакции и полиморфизм длин рестрикционных фрагментов и последующим анализом ампликонов гель-электрофорезом.

2.3 Генотипирование образцов ДНК на определение полиморфизма генов *CSN3*, *BLG*, *PIT-1*

Для проведения ПЦР использованы набор с *Taq* ДНК-полимеразой и буфером AS компании «СибЭнзайм» и готовая реакционная смесь БиоМастер HS-*Taq* ПЦР (2×) компании Биолабмикс, г. Новосибирск.

Состав набора для ПЦР: *Taq* ДНК-полимераза (1 е.а./мкл); смесь dNTP (0,5 mM каждого); буфер для реакции «SE-буфер AS» (10X: 670 mM Tris-HCl (pH 8,8 при 25 °C); 166 mM $(NH_4)_2SO_4$; 0,1 % Tween-20); раствор $MgCl_2$ (50 mM); стерильная вода – 5 мл.

Состав реакционной смеси БиоМастер HS-*Taq* ПЦР (2×): 100 mM Трис-HCl, pH 8.5 (при 25 °C), 100 mM KCl, 0,4 mM каждого dNTP, 4 mM $MgCl_2$, 0,06 ед. акт./мкл *Taq* ДНК-полимеразы, 0,2 % Tween 20, стабилизаторы HS-*Taq* ДНК-полимеразы.

Для оценки полиморфизма гена *BLG* ПЦР проводили на программируемом термоциклере «Терцик» (ДНК-технология, г. Москва) в объёме 20 мкл, содержащей буфер (60 mM трис-HCl (pH 8.5), 1,5 mM $MgCl_2$, 25 mM KCl, 0,1 mM тритон X-100), 0,2 mM dNTP, 0,2 мкл *Taq* ДНК полимеразы, по 0,5 мкМ праймеров.

Использованы ПЦР-праймеры компаний «СибЭнзайм» (г. Новосибирск) и Люмипроб РУС (г. Москва).

Оценка полиморфизма гена CSN3. Исследование полиморфизма гена CSN3 было проведено с использованием метода ПЦР-ПДРФ, разработанного во Всероссийском НИИ селекции животных ГАСХН (Кириленко С. Д., Глазко В. И., 1995).

Для реакции амплификации из лиофилизированных праймеров (Люмипроб РУС) готовили концентрированный раствор, аликваты разводили дист. водой до концентрации 10 пМ/мкл.

Последовательности олигонуклеотидов для исследуемого гена CSN3:

BOSAS A: - 5' ATg TgC TgA gCA ggT ATC CTA gTT ATg g - 3';

BOSAS B: -5' CCA AAA gTA gAg TgC AAC ACT gg - 3'.

Режим амплификации: 94 °C – 1 мин – денатурация, 62 °C – 1 мин – отжиг праймеров, 72 °C – 1,5 мин – синтез (×35); хранение – 4 °C.

Для ПДРФ-идентификации генотипов аллельных CSN3A и CSN3B 20 мкл ПЦР-пробы (883 пн) обрабатывали 10 ед. эндонуклеазы рестрикции *PstI* в 1×буфере «О» (СибЭнзайм) при 37 °C в течение ночи. Сайт узнавания рестриктазы *PstI* – CTGCA↑G / G↓ACGTC. Источник фермента – штамм *E. coli*, несущего клонированный ген *PstI* из *Providencia stuartii*.

Для визуализации фрагментов ДНК пробы вносили в лунки 2,5 % агарозного геля с содержанием этидия бромид (0,5 мкг/мл) и проводили горизонтальный электрофорез при 15 В/см в течение 50 мин в 1×TBE буфере.

По результатам амплификации фрагмента гена CSN3 получен фрагмент ПЦР размером 883 пн, входящим в состав экзона 4.

Картина электрофореза исследуемых симментальской и красной степной и пород крупного рогатого скота приведена на рисунках 2.2, 2.3. Положение на геле специфических полос показано стрелками.

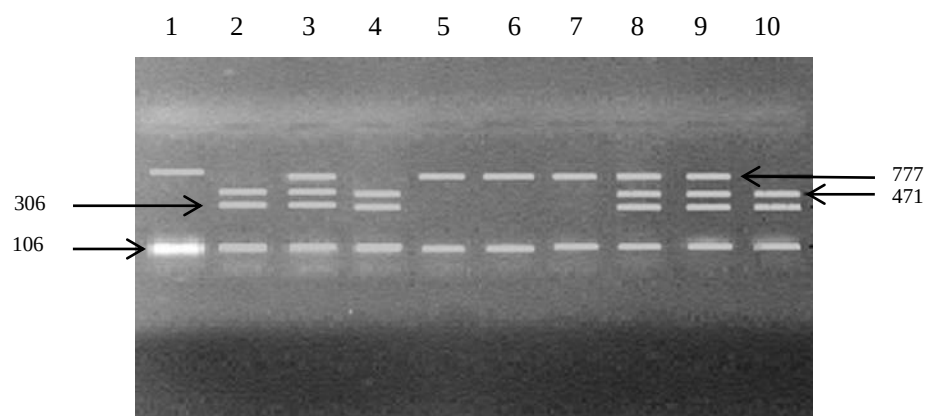


Рисунок 2.2 – Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма *CSN3/PstI* симменталов Дорожки 1, 5, 6, 7 – фрагменты рестрикции 106, 777 пн, соответствующие генотипу *CSN3^{BB}*; дорожки 2, 4, 10 – фрагменты рестрикции 106, 306, 471 пн, соответствующие генотипу *CSN3^{AA}*; дорожки 3, 8, 9 – фрагменты рестрикции 106, 306, 471, 777 пн, соответствующие генотипу *CSN3^{AB}*.

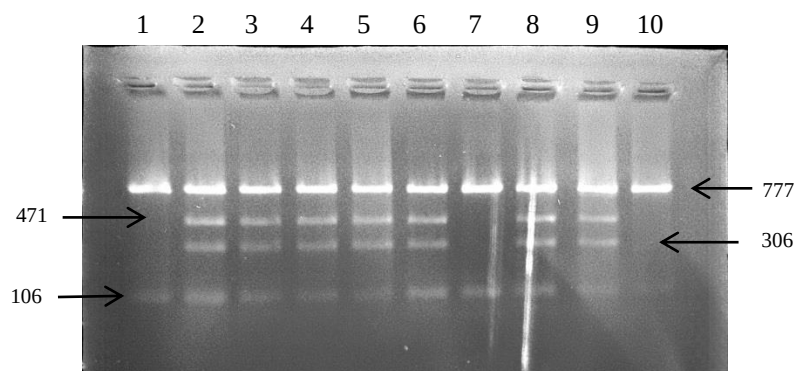


Рисунок 2.3 – Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма *CSN3/PstI* красной степеной породы. Дорожки 1, 7, 10 – фрагменты рестрикции 106, 777 пн, соответствующие генотипу *CSN3^{BB}*; дорожки 2–5, 8, 9 – фрагменты рестрикции 106, 306, 471, 777 пн, соответствующие генотипу *CSN3^{AB}*.

По результатам расщепления ампликонов получены генотипы $CSN3^{AA}$, $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$. О генотипе $CSN3^{AA}$ свидетельствовало наличие трёх фрагментов ДНК длиной 106, 306, 471 пн, генотип $CSN3^{AB}$ показал четыре фрагмента ДНК длиной 106, 306, 471, 777 пн, $CSN3^{BB}$ генотип определялся наличием двух фрагментов ДНК длиной 106, 777 пн.

Оценка полиморфизма гена *BLG*. Полиморфизм гена *BLG* был исследован с использованием метода ПЦР-ПДРФ в соответствии с рекомендациями по генетическому анализу КРС (Калашниковой Л. А. и др., 2015).

Последовательности олигонуклеотидов для исследуемого гена *BLG* (Medrano J.F., 1990):

BLG P3: 5' - gTC CTT gTg CTg gAC ACC gAC TAC A - 3';

BLG P4: 5' - CAg gAC ACC ggC TCC Cgg TAT ATg A - 3'.

Режим амплификации: 94 °C – 4 мин – предварительная денатурация (×1); 94 °C – 10 сек – денатурация, 60 °C – 10 сек – отжиг праймеров, 72 °C – 10 сек – синтез (×38); 72 °C – 5 мин – финальная элонгация (×1); хранение – 4 °C.

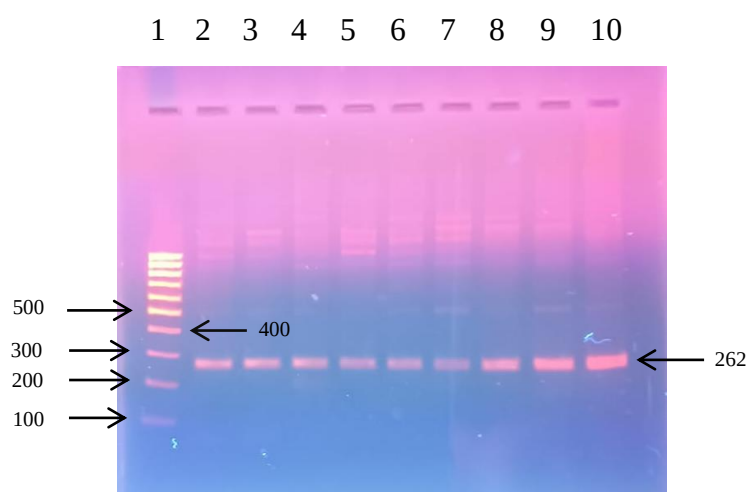


Рисунок 2.4 – ПЦР-продукт 262 пн фрагмента гена *BLG*. Дорожка 1 – маркер молекулярных масс 100 bp DNA Ladder; дорожки 2–10 – ПЦР-продукт фрагмента гена *BLG* красной степной и симментальской пород КРС.

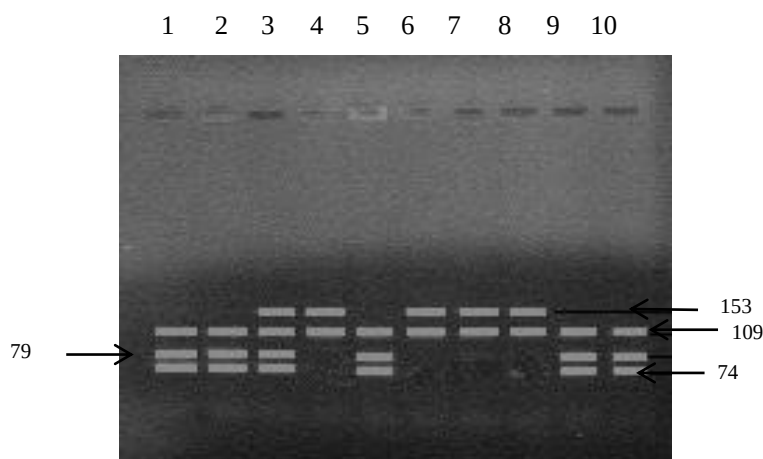


Рисунок 2.5 – Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма *BLG/HaeIII* симменталов. Дорожки 1, 2, 9, 10 – фрагменты рестрикции 109, 79, 74 пн, соответствующие генотипу *BLG^{BB}*; дорожка 3 – фрагменты рестрикции 153, 109, 79, 74 пн, соответствующие генотипу *BLG^{AB}*; дорожки 4, 6, 7, 8 – фрагменты рестрикции 153, 109 пн, соответствующие генотипу *BLG^{AA}*.

Для определения полиморфизма гена *BLG* по вариантам *BLG^A* и *BLG^B* 20 мкл ПЦР пробы обрабатывали 5 ед. эндонуклеазы рестрикции *HaeIII* при 37 °С течение ночи. Сайт узнавания рестриктазы – GG↓CC / CC↓GG. Источник фермента – штамм *E. coli*, несущего клонированный ген *HaeIII* из *Haemophilus aegyptius* в 1×буфере «С» (СибЭнзайм).

Для визуализации фрагментов ДНК пробы вносили в лунки 2,5 % агарозного геля с содержанием этидия бромид (0,5 мкг/мл) и проводили горизонтальный электрофорез при 15 В/см в течение 40 мин в 1×TBE буфере.

После электрофореза гель просматривали в УФ-трансиллюминаторе при длине волны 310 нм. Идентификацию генотипов определяли по количественным и качественным признакам ПЦР-ПДРФ.

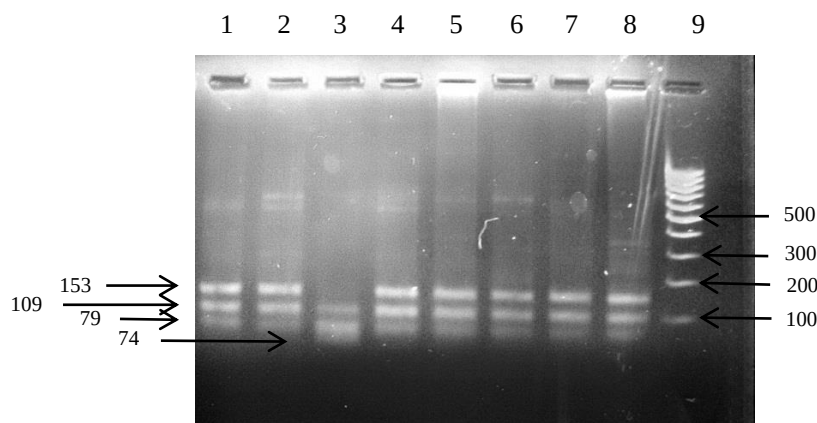


Рисунок 2.6 – Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма *BLG/HaeIII* красной степеной породы. Дорожки 1, 2, 4–8 – фрагменты рестрикции 153, 109, 79, 74 пн, соответствующие генотипу *BLG^{AB}*; дорожка 3 – фрагменты рестрикции 109, 79, 74 пн, соответствующие генотипу *BLG^{BB}*; дорожка 9 – маркер молекулярных масс 100 bp DNA Ladder.

По результатам амплификации фрагмента гена *BLG* получен продукт ПЦР размером 262 пн (рисунок 2.4).

ПДРФ показал наличие четырёх рестрикционных фрагментов 153, 109, 79 и 74 пн соответствующих генотипу *BLG^{AB}*, трёх фрагментов 109, 79 и 74 пн – *BLG^{BB}* и двух фрагментов 153, 109 пн – *BLG^{AA}* (рисунок 2.5, 2.6).

Оценка полиморфизма гена *PIT-1*. Последовательности олигонуклеотидов для исследуемого гена *Pit-1* (Woollard J. et al, 1994):

Pit1-F: 5' - AAA CCA TCA TCT CCC TTC TT - 3';

Pit1-R: 5' - AAT gTA CAA TgT gCC TTC TgA g - 3'.

Режим амплификации: 94 °C – 5 мин – предварительная денатурация (×1); 94 °C – 30 сек. – денатурация, 56 °C – 30 сек – отжиг праймеров, 72 °C –

30 сек. – синтез ($\times 35$); 72 °C – 10 мин – финальная элонгация ($\times 1$); хранение – 4 °C. [Позовникова М. В., Сердюк Г. Н., 2016].

Анализ полиморфизма длин рестрикционных фрагментов включал обработку амплификата сайт-специфической рестриктазой и последующее разделение полученных фрагментов с помощью горизонтального геле-электрофореза. Амплифицированный фрагмент гена *PIT-1* входит в состав экзона 6. Генотипирование для дифференциации аллелей *PIT-1^A* и *PIT-1^B* проводили путём расщепления продукта ПЦР с использованием рестриктазы *HinfI* при 37 °C течение ночи. Сайт узнавания *HinfI* – G↑ANTC / CTNA↓G. Источник: штамм *E. coli*, несущего клонированный ген *HinfI* из *Haemophilus influenzae*.

Для проведения электрофоретического разделения продуктов амплификации вносили агарозные пластины в камеру с ТБЕ буфером (1×). Электрофорез проводится в направлении от катода (–) к аноду (+) в течение 50 мин, напряжённость электрического поля 10–20 В/см при ширине камеры 10 см. Напряжение, устанавливаемое в источнике постоянного тока – 200–220 В. На трансиллюминаторе анализировали полученные результаты. Продукт амплификации виден в ультрафиолетовом свете (длина волны 254 нм или 310 нм) в виде светящейся полосы красно-оранжевого цвета. Электрофорез проводили в 2 % агарозном геле с бромистым этидием.

По результатам амплификации фрагмента гена *PIT-1* методом ПЦР в данном исследовании был получен продукт ПЦР размером 451 пн (рисунок 2.7). Получаемая картина электрофореза исследуемых пород крупного рогатого скота приведена на рисунках 2.8, 2.9. Положение на геле специфических полос показано стрелками.

По результатам расщепления ампликонов получены генотипы *PIT-1^{AA}*, *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{BB}*. О генотипе *PIT-1^{AA}* свидетельствовало наличие 1 полосы ДНК размером 451 пн, генотип *PIT-1^{AB}* показал 3 полосы ДНК размером 451 пн, 207 и 244 пн, *PIT-1^{BB}* генотип определялся наличием 2-х полос ДНК

размером 207 и 244 пн. Образование полос ДНК, наблюдаемое после электрофореза, показывает, что присутствует аллель В.

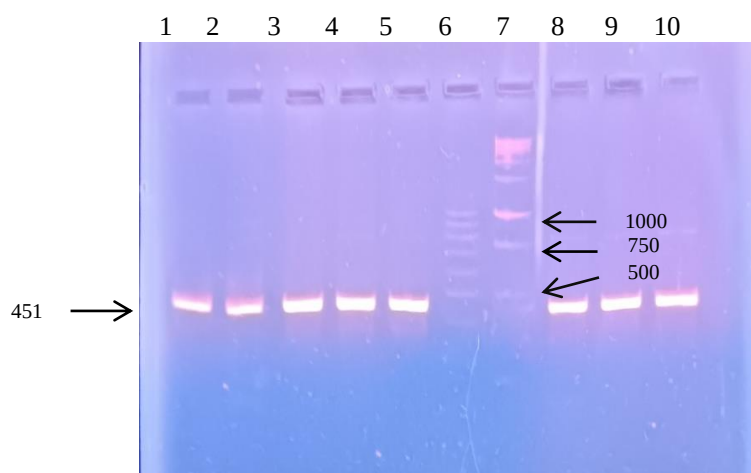


Рисунок 2.7 – ПЦР-продукт 451 пн фрагмента гена *PIT-1*. Дорожка 1, 2 – ПЦР-продукт фрагмента гена *PIT-1* симменталов; дорожки 3–5, 8–10 – ПЦР-продукт фрагмента гена *PIT-1* красной степной породы; дорожка 6 – маркер молекулярных масс 100 bp DNA Ladder; дорожка 7 – маркер молекулярных масс 1 kb DNA Ladder.

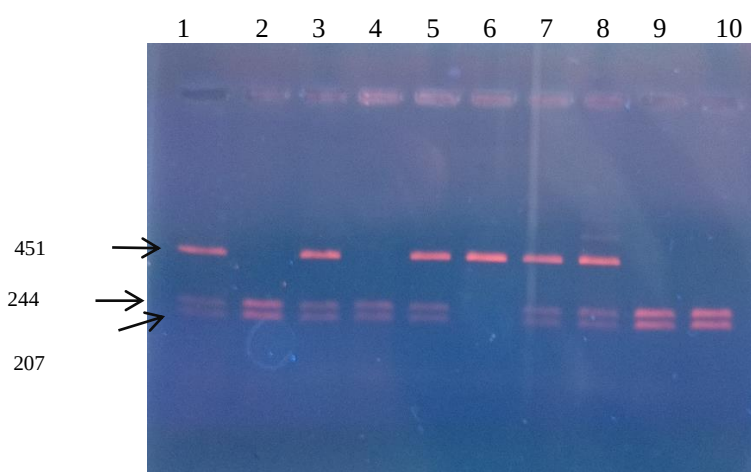


Рисунок 2.8 – Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма *PIT-1/HinFI* симменталов. Дорожки 1, 3, 5, 7, 8 – фрагменты рестрикции 451, 244,

207 пн, соответствующие генотипу *PIT-1/Hinfl^{AB}*; дорожки 2, 4, 9, 10 – фрагмент рестрикции 244, 207 пн, соответствующий генотипу *PIT-1/Hinfl^{BB}*; дорожка 6 – фрагмент рестрикции 451 пн, соответствующий генотипу *PIT-1/Hinfl^{AA}*.

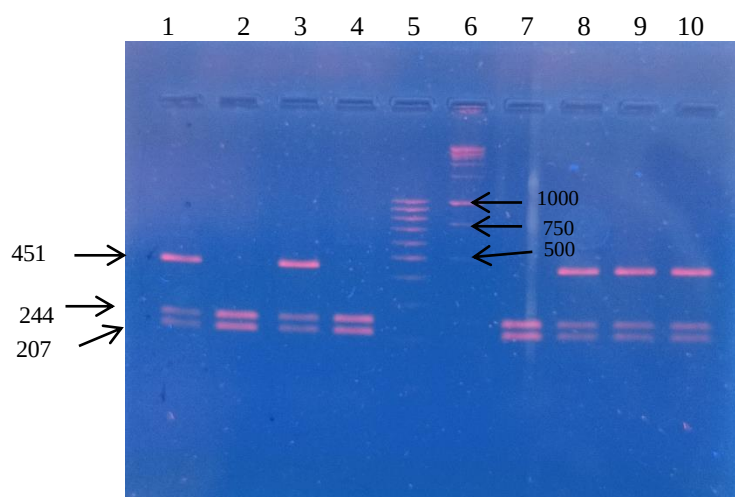


Рисунок 2.9 – Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма *PIT-1/Hinfl* красной степной породы. Дорожки 1, 3, 8, 9, 10 – фрагменты рестрикции 451, 244, 207 пн, соответствующие генотипу *PIT-1/Hinfl^{AB}*; дорожки 2, 4, 7 – фрагмент рестрикции 244, 207 пн, соответствующий генотипу *PIT-1/Hinfl^{BB}*, 5– маркер молекулярных масс 100 bp DNA Ladder; дорожка 6 – маркер молекулярных масс 1 kb DNA Ladder

2.4 Сбор данных показателей молочной продуктивности

Данные зоотехнического учета собраны из базы аналитического центра экономической политики агропромышленного комплекса Республики Казахстан «АСЕРPAS». Получена информация о молочной продуктивности (удой, жирномолочность, белковомолочность, количество молочного жира и белка) полновозрастных коров за 305 дней лактации. Показатели массовой доли жира, белка (%) животных определены на анализаторе качества молока

«Лактан» исп. 700 (Сибагроприбор, г. Новосибирск) в Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар).

2.5 Биохимический анализ крови

Исследования проводили в соответствии с правилами отбора проб, перемещаемых (перевозимых) объектов и биологического материала со статьи 8 Закона РК от 10 июля 2002 года «О ветеринарии». Забор крови проводили в пробирки «Acti-Fine®» с активатором свёртывания (SiO_2), нанесённого на внутренние стенки пробирки в виде микрочастиц, активирующего процесс образования сгустка и сыворотки. Забор венозной крови осуществляли утром до кормления животных вакуум-содержащими системами из *v.c ossuеа* (хвостовая вена) коров красной степной породы (n=120).

Исследование сыворотки крови на биохимические показатели проводили с использованием методов фотометрии и фотоэлектрической колориметрии в Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар) и биохимической лаборатории ТОО «NFT-KATU» НАО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана) на биохимических анализаторах Biochem FC-120 и SMT-120V с использованием реагентов HTI (High Technology, США) и реагент-дисков Seamaty (Китай).

На биохимическом ветеринарном анализаторе SMT-120V методом фотоэлектрической колориметрии определили концентрации мочевой кислоты (мкмоль/л), глюкозы (ммоль/л), общего билирубина (мкмоль/л), общего холестерина (ммоль/л), желчной кислоты (мкмоль/л), лактатдегидрогеназы (ед/л), креатинкиназы (мкмоль/л), амилазы (ед/л), гамма-глутамилтранспептидазы (ед/л), триглицеридов (ммоль/л) и липазы (ед/л). Работа прибора SMT-120V основана на принципе сухой химии.

Расходным материалом во время выполнения анализов выступают уже готовые к исследованию лиофилизированные реагенты и разбавитель, расположенные на пластмассовом диске. Метод фотоэлектрической колориметрии исключает случайные погрешности и перекрёстное загрязнение. Проверка состояния анализатора и калибровка выполняются автоматически в режиме реального времени в ходе анализа. Для проведения анализа использовалось 100 мкл сыворотки крови.

2.6 Морфологический анализ крови

Для гематологических исследований цельной крови забор проводили у коров симментальской (n=103) и красной степной породы (n=120) из подхвостовой вены в вакуумные пробирки VACUETTE® с K2 ЭДТА. Эритроциты, тромбоциты и лейкоциты в пробе с ЭДТА стабильны до 24 ч. Стабилизированную кровь до исследования хранили в холодильнике при температуре 2–4 °C

Гематологический анализ сыворотки крови коров определён на анализаторе MicroCC-20Vet (HTI, США) в Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар).

Определились следующие морфологические показатели крови: абсолютное содержание лейкоцитов (WBC), гранулоциты (GRAN#, GRAN%), абсолютное содержание эритроцитов (RBC), ширина распределения эритроцитов (RDW-CV, RDW-SD), концентрация гемоглобина (HGB), гематокрит (HCT), эритроцитарные индексы (MCV, MCH, MCHC), абсолютное содержание тромбоцитов (PLT), средний объём тромбоцитов (MPV), тромбокрит (PCT), относительная ширина распределения тромбоцитов по объёму (PDW). лимфоциты (LYM#, LYM%), содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID#, MID%).

2.7 Определение адренокортикотропного гормона и кортизола в сыворотке крови методом ИФА

В процессе научно-исследовательской работы проведён анализ показателей стрессоустойчивости и молочной продуктивности коров симментальской и красной степной пород. Оцениваемых животных разделили по генотипам генов *CSN3*, *BLG*, *PIT-1*.

В наших исследованиях фактором стресса была перегруппировка коров и увеличение количества голов в загоне. До эксперимента животные находились в состоянии «условного покоя», т.е. все коровы были привыкшими друг к другу, имели устоявшуюся социальную иерархию. Стресс был вызван присоединением 36 голов чужих коров, пригнанных из других клеток, совершенно разных возрастов и темперамента.

Количественный уровень кортизола и адренокортикотропного гормона (АКТГ) в сыворотке крови определили с помощью твердофазного иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием тестов «Кортизол-ИФА» и «АКТГ-ИФА» (Хема, Россия) на иммуноферментном анализаторе «Infinite F50» (Tecan, Австрия).

Забор крови проводили в пробирки VACUETTE® для получения сыворотки с активатором свёртывания SiO_2 . Забор венозной крови осуществляли утром (6–9 ч утра) у коров красной степной породы ($n=120$). Анализ проводился в день взятия крови.

Определение кортизола основано на использовании конкурентного ИФА. Кортизол из исследуемого образца плазмы крови конкурирует с конъюгированным кортизолом за связывание с антителами. Определение АКТГ основано на использовании «сэндвич»-вариант твердофазного ИФА.

В процессе проведения ИФА вносили в соответствующие лунки 96-луночного планшета в дубликатах калибровочные пробы (0; 8; 25; 60; 240; 480 пг/мл) для АКТГ и (0; 40; 80; 200; 600; 2000 нмоль/л) для кортизола,

контрольный и исследуемые образцы. После внесения конъюгата мышинных моноклональных антител к АКТГ и кортизола крупного рогатого скота с пероксидазой хрена провели инкубацию в течение 120 минут при температуре +18–25 °С и постоянном встряхивании со скоростью 600–800 об/мин для АКТГ и в течение 60 мин при температуре плюс 37 °С для кортизола. Далее после отмывке во все лунки был внесён раствор субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) для окрашивания растворов в лунках. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации АКТГ или кортизола в исследуемых образцах. Величину оптической плотности (ОП) измеряется на фотометре вертикального сканирования при длине волны 450 нм в течение 15 мин после внесения стоп-регента (5,0 % раствор серной кислоты). Концентрацию АКТГ (пг/мл) и кортизола (нмоль/л) в исследуемых образцах плазмы крови красной степной породы определяется по калибровочному графику в зависимости оптической плотности от содержания гормонов в калибровочных пробах.

2.8 Определение типа стрессоустойчивости

Стрессоустойчивость коров оценивали по уровню кортизола в крови по методике, описанной в патенте Республики Казахстан №9336 от 05.07.2024 года «Способ определения границ типов стрессоустойчивости молочных коров» [Бексеитов Т. К., Ахажанов К. К. и др., 2024].

2.9 Статистическая обработка данных

Статистическая обработка проводилась с использованием стандартного пакета Microsoft Office Excel 2016.

Частоту генотипов в выборке вычисляли по формуле:

$$P_i = \frac{n_i}{N}, \quad (2.1)$$

где P_i – частота i генотипа; n_i – число животных с данным генотип; N – общая

численность животных в выборке.

Частоту аллеля определяли по формуле:

$$p_i = f_i / 2N, \quad (2.2)$$

где p_i – частота i -го аллеля; f_i – число i -го аллеля в выборке, N – всего животных.

Стандартную ошибку частот генотипов рассчитывали по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \quad (2.3)$$

где p – частота генотипа; n – объем выборки.

Стандартную ошибку частот аллелей рассчитывали по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{p(1-p)}{2n}}, \quad (2.4)$$

где p – частота генотипа; n – объем выборки.

Проверку соответствия фактического распределения частот генотипов теоретически ожидаемому распределению частот проводили с помощью критерия χ^2 (хи-квадрат) (Кузнецов, 2014):

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (2.5)$$

где O_i – фактическая частота i -го генотипа; E_i – теоретическая частота.

Оценку достоверности различий частот генотипов и аллелей проводили при помощи t -критерия Стьюдента с учетом поправки Бонферрони (Лакин, 1990):

$$t_d = \frac{P_x - P_y}{\sqrt{m_x^2 + m_y^2}}, \quad (2.6)$$

где P_x – частота генотипа (или аллеля) x ; P_y – частота генотипа (или аллеля) y , m_x, m_y – стандартные ошибки частот генотипов (или аллелей) x и y .

Ожидаемую гомозиготность (C_a) вычисляли по формуле Робертсона (1956):

$$C_a = \sum p_i^2, \quad (2.7)$$

где p_i – квадраты частот аллелей локуса.

Ожидаемую гетерозиготность (He) вычисляли по формуле:

$$He = 1 - C_a, \quad (2.8)$$

где C_a – показатель ожидаемой гомозиготности.

Наблюдаемую гетерозиготность (Ho) вычисляли по формуле М. Нея (1975):

$$Ho = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2.9)$$

где h_i – количество гетерозигот на объем выборки, усредненное по всем локусам.

Индекс фиксации (Fis) рассчитывали по формуле:

$$Fis = 1 - (Ho/He), \quad (2.10)$$

где Ho – наблюдаемая гетерозиготность, He – ожидаемая гетерозиготность.

При статистической обработке данных молочной продуктивности, биохимии и морфологии крови оценивалась нормальность распределения признаков с помощью критерия Шапиро-Уилка, сопряженность признаков – с помощью коэффициента корреляции Пирсона и рангового коэффициента Спирмена. Для оценки влияния генотипа на признаки с ненормальным распределением применяли критерий Краскела-Уоллиса, для попарного сравнения – метод Данна, для расчета статистических параметров ($\bar{X}$, $S_{\bar{X}}$, σ , Cv) – метод Hozo et al. (2005).

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Генотипическая структура симментальской и красной степной пород по гену *CSN3*

В исследуемых породах крупного рогатого скота, разводимого в Павлодарской области Республики Казахстан, выявлен полиморфизм гена каппа-казеина (*CSN3*). Генетическая структура симментальской и красной степной пород по этому гену представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Генетическая структура симментальской и красной степной пород по гену *CSN3*

Порода	n	Частота генотипа, %						Частота аллелей, ед.		χ^2
		AA		AB		BB		A	B	
		n	%	n	%	n	%			
Симмен талъс кая	103	28	27,2 ± 4,4	50	48,5 ± 4,9	25	24,3 ± 4,1	0,52±0,05	0,48±0,05	0,47
Красная степная	120	41	34,2 ± 4,2	59	49,1 ± 4,5	20	16,7 ±3,3	0,58±0,05	0,42±0,05	0,04

Наблюдаемая степень гетерозиготности ($CSN3^{AB}$) в породах составляет 48,5 и 49,1 % соответственно. Частота «желательного» генотипа ($CSN3^{BB}$) находится на уровне 16,6 и 24 %. В симментальской породе выявлены достоверные различия между частотами генотипов $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$, $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ ($p < 0,001$). У красной степной породы генотип $CSN3^{AB}$ имеет самую высокую частоту – 49,1 %, за ним следуют $CSN3^{AA}$ – 34,2 % и $CSN3^{BB}$ – 16,7 %. Различия между этими частотами достоверны при $p < 0,05$ и $p < 0,001$. Межпородных различий по частотам одинаковых генотипов не установлено. Распределение частот в этих популяционных выборках не отличалось от теоретически ожидаемого, что может говорить о генном равновесии и отсутствии существенного влияния факторов отбора и подбора животных.

Следует отметить, что наши данные по гену *CSN3* у симментальской породы согласуются с результатами исследований Bartonova P. (2012) по чешским симментам ($CSN3^{AB}$ – 48,7 %, частота аллеля В – 41,8 %). Частота

встречаемости «желательного» генотипа $CSN3^{BB}$ у животных симментальской и красной степной пород северного Казахстана на 11,3 и 6,3 % выше, чем у пород соседнего Сибирского региона [Kochnev N. et al., 2022].

3.2 Генотипическая структура симментальской и красной степной пород по гену BLG

Потенциальным генетическим маркером молочной продуктивности коров является ген BLG , кодирующий сывороточный белок бета-лактоглобулин, составляющий до 12 % от общего количества белков в молоке и 50–60 % от всей альбуминовой фракции.

Генетическая структура пород по гену BLG представлена в таблице 3.2. В структуре обеих пород преобладает гетерозиготный генотип BLG^{AB} (на уровне 50%), частоты гомозигот BLG^{AA} – минимальны (на уровне 12 %). Различия между частотами генотипов BLG^{AA} и BLG^{AB} , BLG^{AA} и BLG^{BB} у пород достоверны ($p < 0,05$). Различий между породами в пределах отдельных генотипов не выявлено, что может свидетельствовать об отсутствии вовлеченности этого гена в процесс породообразования. В то же время высокая частота аллеля BLG^B (65 %) по отношению к BLG^A (35 %) указывает на то, что существует дифференцированный вклад аллелей в формирование структуры породы животных одного направления продуктивности.

Таблица 3.2

Генетическая структура симментальской и красной степной пород по гену BLG

Порода	n	Частота генотипа, %						Частота аллелей, ед.		χ^2
		AA		AB		BB		А	В	
		п	%	п	%	п	%			
Симмен талъс кая	116	14	12,1 ± 3,0	58	50,0 ± 4,6	44	37,9 ± 4,8	0,35± 0,04	0,65±0,04	1,12
Красная степная	98	12	12,2 ± 3,2	50	51,0 ±5,0	36	36,8 ± 4,8	0,35± 0,05	0,65±0,05	0,91

Высокая степень достоверности совпадения фактического распределения генотипов с теоретически ожидаемыми данными подтверждает тезис о генном равновесии в стадах двух пород.

По гену *BLG* симментальской породы наши данные согласуются с результатами исследований чистопородных симменталов Сибири, где желательный генотип *BLG^{BB}* выявлен у 39,2 % коров [Гончаренко Г. М. и др., 2016]. При этом некоторые авторы отмечают, что для симментальской породы характерна обратная тенденция: снижение частоты встречаемости аллеля *BLG^B* в среднем до 45 %, а в некоторых популяциях даже до 32 % [Парыгина Е. В., Кожевникова И. С., 2023]. Вероятно, противоречивость результатов является следствием уникальности каждой породной группы с точки зрения генотипов её формирующих.

3.3 Генотипическая структура симментальской и красной степной пород по гену *PIT-1*

Генетическая структура пород по гену *PIT-1*, представленная в таблице 3.3, демонстрирует преобладание частоты аллеля *PIT-1^B* – 51 и 70 % у симментальской и красной степной пород, соответственно. Частота встречаемости генотипа *PIT-1^{BB}* имеет самое высокое значение (47,5 %) у красной степной породы, на долю генотипов *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{AA}* приходится 43,3 и 9,2 %. Различия между частотами генотипов *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{AB}*, *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* у красной степной породы достоверны ($p < 0,01$).

У симменталов преобладают гетерозиготы *PIT-1^{AB}* (45,8 %), гомозиготы составляют 23,7 % (*PIT-1^{AA}*) и 30,5 % (*PIT-1^{BB}*). Различия между частотами генотипов *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{AB}* у симменталов достоверны ($p < 0,01$). Также отмечены межпородные различия между частотами генотипов *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* ($p < 0,05$). Если у симментальской породы доля генотипа *PIT-1^{AA}* превосходит красную степную породу, то частота встречаемости других

гомозигот ($PIT-1^{BB}$) уступает ей, что указывает также на своеобразие структуры популяционных выборок.

Таблица 3.3

Генетическая структура симментальской и красной степной пород по гену $PIT-1$

Порода а	п	Частота генотипа, %						Частота аллелей, ед.		χ^2
		АА		АВ		ВВ		А	В	
		п	%	п	%	п	%			
Симментальская	59	14	23,7± 5,5	27	45,8± 6,4	18	30,5 ± 5,9	0,49±0,07	0,51±0,07	0,61
Красная степная	120	11	9,2 ± 2,5	52	43,3± 4,5	57	47,5± 4,5	0,30±0,04	0,70±0,04	0,06

Следует также отметить соответствие фактического распределения генотипов теоретически ожидаемому по закону Харди-Вайнберга. Если подобный прием оценки состояния популяции остается общепринятым, то можно считать, что породы находятся в состоянии равновесия в данный момент времени, несмотря на очевидные факторы влияния (подбор, отбор, дрейф генов). Возможно, чтобы выявить статистически значимое отклонение от равновесия Харди-Вайнберга, нужны результаты исследования более больших выборок.

3.4 Популяционно-генетическая характеристика пород по полиморфизму генов $CNS3$, BLG и PIT

Популяционно-генетический анализ показал, что в современных условиях разведения и селекции молочного скота Казахстана, породы сохраняют генетическое разнообразие, которое отражается средней частотой гетерозигот по изученным генам (таблица 3.4). Считается, что относительно высокая степень гетерогенности популяции позитивно характеризует её с точки зрения адаптивных качеств. В нашем случае, отмечаем незначительное превышение наблюдаемой гетерозиготности над ожидаемой

гетерозиготностью и отрицательное значение индекса фиксации у красной степной породы, что указывает на наличие небольшого избытка гетерозиготных генотипов и отсутствие внутривидового инбридинга. Что касается симментальской породы, то здесь индекс фиксации равен нулю, следовательно, эта популяция наиболее близка к равновесному состоянию.

Таблица 3.4

Популяционно-генетическая характеристика красной степной и симментальской пород Казахстана

Показатель	Красная степная порода	Симментальская порода
Ca, %	54,7	51,4
He, %	45,3	48,6
Ho, %	47,6	48,6
Fis	-0,051	0

Примечание: Ca – ожидаемая гомозиготность, He – ожидаемая гетерозиготность, Ho – наблюдаемая гетерозиготность, Fis – индекс фиксации.

3.5 Влияние генотипов по *CSN3*, *BLG*, *PIT-1* на молочную продуктивность коров

После генотипирования полиморфных состояний по генам *CSN3*, *BLG*, *PIT-1* был проведен сравнительный анализ показателей молочной продуктивности животных с разными генотипами.

Анализ репрезентативной выборки полновозрастной группы коров симментальской породы показал, что у генотипа *CSN3^{BB}* наблюдается повышение удоя в сравнении с альтернативными генотипами, особенно с вариантом *CSN3^{AA}* (таблица 3.5). Так, животные с генотипом *CSN3^{BB}* за 305 дней лактации имели удой 7111 кг, что больше на 1882,0 кг (26,5 %) и 868,0 кг (12,2 %), чем удой от коров с генотипом *CSN3^{AA}* и *CSN3^{AB}* соответственно. Различия между показателями удоя у коров симментальской породы достоверны при $p < 0,01$.

За период лактации незначительное превосходство по содержанию жира (+ 0,7 %) было отмечено в группах коров с генотипами $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ (4,26 %) над генотипом $CSN3^{AA}$. По содержанию белка в молоке коровы с генотипом $CSN3^{BB}$ превосходили коров с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ на 0,6 %; 1,2 % соответственно ($p < 0,01$).

В сравнении с вариантами $CSN3^{AA}$ (229,2 кг) и $CSN3^{AB}$ (268,7 кг) по выходу молочного жира превосходство имеют коровы с генотипом $CSN3^{BB}$ (301,7 кг) на 72,5 кг и 33,0 кг соответственно ($p < 0,01$).

Выход молочного белка у коров с генотипом $CSN3^{BB}$ выше на 56 и 27,3 кг, чем у коров с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ ($p < 0,01$).

Таблица 3.5

Молочная продуктивность коров симментальской породы с разными генотипами по гену $CSN3$

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S \bar{x}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Удой, кг	AA	28	$5229 \pm 115,4$	4099	6740	610,8	11,5
	AB	50	$6243 \pm 107,0$	4191	7460	756,7	12,1
	BB	25	$7111 \pm 126,5$	5938	8876	632,7	8,9
Жир, %	AA	28	$4,23 \pm 0,054$	3,7	4,97	0,287	6,8
	AB	50	$4,26 \pm 0,041$	3,6	5,03	0,293	6,89
	BB	25	$4,26 \pm 0,055$	3,81	4,87	0,277	6,5
Белок, %	AA	28	$3,23 \pm 0,021$	3,06	3,56	0,113	3,51
	AB	50	$3,21 \pm 0,012$	3,06	3,45	0,085	2,65
	BB	25	$3,25 \pm 0,021$	3,08	3,62	0,104	3,2
Количество жира, кг	AA	28	$229,2 \pm 6,54$	172,2	306,4	34,6	15,1
	AB	50	$268,7 \pm 5,11$	173,4	346,9	36,1	13,5
	BB	25	$301,7 \pm 6,69$	240,6	362,1	33,4	11,1
Количество белка, кг	AA	28	$172,9 \pm 3,91$	142,2	222,8	20,7	12,0
	AB	50	$201,6 \pm 3,26$	131,5	239,5	23,1	11,4
	BB	25	$228,9 \pm 4,75$	169,3	292,9	23,7	10,4

Таким образом, у коров симментальской породы гомозиготный генотип $CSN3^{BB}$ оказывает положительное влияние на уровень удоя, выход молочного белка и жира в молоке. Нами подтверждены результаты, полученные другими учёными [Гончаренко Г. М. и др., 2016; Шайдуллин Р. Р. и др., 2019; Гатилова Е.В. и др., 2020] в том, что у коров симментальской породы преобладающим является гомозиготный генотип $CSN3^{BB}$,

оказывающий положительное влияние на показатели молочной продуктивности. Отбор животных с таким генотипом может повысить эффективность селекции при работе с симментальской породой.

Что касается изучения влияния полиморфизма гена *CSN3* на молочную продуктивность коров красной степной породы, то здесь достоверных различий между группами не установлено. Однако отметить некоторые тенденции следует. Так, удой коров-носителей генотипов *CSN3^{AA}* составил 7731 кг и *CSN3^{AB}* – 6848 кг, а *CSN3^{BB}* – 6337 кг (таблица 3.6).

Таблица 3.6

Молочная продуктивность коров красной степной породы с разными генотипами по гену *CSN3*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	ЛИМИТЫ		SD (δ)	Cv
				min	max		
Удой, кг	AA	41	7731 $\pm$ 161,2	3602	9800	1032	13,4
	AB	59	6848 $\pm$ 165,8	4218	10498	1273	18,6
	BB	20	6337 $\pm$ 246,4	4718	8808	1102	17,4
Жир, %	AA	41	4,02 $\pm$ 0,03	3,34	4,36	0,192	4,79
	AB	59	4,0 $\pm$ 0,018	3,62	4,32	0,135	3,38
	BB	20	3,99 $\pm$ 0,016	3,9	4,17	0,07	1,76
Белок, %	AA	41	3,21 $\pm$ 0,011	3,07	3,42	0,068	2,12
	AB	59	3,19 $\pm$ 0,009	3,04	3,4	0,07	2,2
	BB	20	3,25 $\pm$ 0,36	3,11	3,9	0,16	4,92
Количество жира, кг	AA	41	312,5 $\pm$ 6,43	156,7	401,8	41,2	13,2
	AB	59	274 $\pm$ 6,97	167,5	417,8	53,6	19,5
	BB	20	252,5 $\pm$ 9,69	184,4	345,3	43,4	17,2
Количество белка, кг	AA	41	247,5 $\pm$ 4,9	123,2	308,7	31,4	12,7
	AB	59	219,3 $\pm$ 5,49	129,9	326,5	42,2	19,2
	BB	20	203,6 $\pm$ 7,96	151,9	280,1	35,6	17,5

По жирности молока также наблюдается тенденция незначительного преимущества коров с генотипом *CSN3^{AA}* (4,02 %) и *CSN3^{AB}* (4,0 %) над *CSN3^{BB}* (3,99 %), а по содержанию белка, наоборот, превосходство последних. Похожую тенденцию отмечаем и по выходу молочного жира за период лактации: преимущество у гомозиготных коров с генотипом *CSN3^{AA}* (312,5 кг) в сравнении с *CSN3^{AB}* (274 кг) и *CSN3^{BB}* (252,5 кг).

По массовой доле белка в молоке также наблюдается тенденция преимущества у коров с генотипом $CSN3^{AA}$ (247,5 кг) над носителями генотипов $CSN3^{AB}$ (219,3 кг) и $CSN3^{BB}$ (203,6 кг).

Из данных таблиц 3.5 и 3.6 видно, что независимо от генотипической принадлежности животных по гену $CSN3$ коэффициент вариации по удою коров красной степной породы варьируют на уровне – 13,4–18,6 %, выходу молочного жира – 13,2–19,5 %, выходу молочного белка – 12,7–19,2 %, а у симменталов эти показатели несколько ниже, что в целом отражает более консолидированную наследственность животных. Возможно в случае с низкой фенотипической изменчивостью признаков, обнаружить статистические различия между животными с разной степенью вовлеченности генов в признак будет легче. Данное предположение подтверждается установленными статистически достоверными различиями у симменталов.

В таблице 3.7 представлены данные молочной продуктивности коров симментальской породы с разными генотипами по гену BLG , кодирующему главный белок молочной сыворотки – β -лактоглобулин.

Таблица 3.7

Молочная продуктивность коров симментальской породы с разными генотипами по гену BLG

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	ЛИМИТЫ		SD (δ)	Cv
				min	max		
Удой, кг	AA	14	6102 $\pm$ 318,8	4099	8269	1193	19,5
	AB	58	5994 $\pm$ 119,7	4276	8015	911,5	15,2
	BB	44	6103 $\pm$ 148,5	4191	8876	948,8	16,1
Жир, %	AA	14	4,27 $\pm$ 0,084	3,6	4,97	0,313	7,33
	AB	58	4,24 $\pm$ 0,039	3,7	5,03	0,3	7,08
	BB	44	4,21 $\pm$ 0,034	3,86	4,76	0,225	5,35
Белок, %	AA	14	3,24 $\pm$ 0,044	3,06	3,56	0,163	5,04
	AB	58	3,22 $\pm$ 0,01	3,07	3,44	0,075	2,35
	BB	44	3,26 $\pm$ 0,017	3,06	3,62	0,115	3,52
Количество жира, кг	AA	14	259,2 $\pm$ 13,3	172,2	352,5	49,8	19,2
	AB	58	256,9 $\pm$ 5,65	176,6	360,8	43,0	16,7
	BB	44	259,2 $\pm$ 6,8	173,4	362,1	45,1	17,4
Количество белка, кг	AA	14	196,6 $\pm$ 9,19	142,2	258,0	34,4	17,5
	AB	58	193,1 $\pm$ 3,79	139,0	257,3	28,9	14,9

	ВВ	44	199,8 ± 4,8	131,5	292,9	31,9	16,0
--	----	----	-------------	-------	-------	------	------

Сравнительный анализ продуктивности коров симментальской породы статистически достоверных различий между животными разных генотипов не выявил. При этом, наблюдаются тенденции превосходства по удою носителей гомозиготных генотипов BLG^{AA} и BLG^{BB} по отношению к гетерозиготам BLG^{AB} .

По жирности молока наблюдается тенденция незначительного превосходства коров с генотипом BLG^{AA} (4,27 %) над носителями генотипов BLG^{AB} (4,24 %) и BLG^{BB} (4,21 %) и по выходу молочного жира у гомозиготных коров по отношению к гетерозиготам BLG^{AB} .

По содержанию белка у коров с генотипом BLG^{BB} отмечаем тенденцию превосходства над коровами с генотипами BLG^{AA} и BLG^{AB} . Количество молочного белка у животных с генотипом BLG^{BB} составляет 199,8 кг, с генотипом BLG^{AA} – 196,6 кг и с BLG^{AB} – 193,1 кг.

Оценивая фенотипическую изменчивость признаков у животных разных генотипических групп, следует обратить внимание на относительно высокие величины по удою (от 15,2 до 19,5 %) по сравнению с жиром и белком в молоке, что закономерно для этих признаков. При этом заметим, что при таких значениях, как в случае с $CSN3$ у красной степной породы, мы не получили достоверных различий. Возможно, среди прочих причин, имеет значение и уровень фенотипической изменчивости: чем меньше изменчивость по удою, тем выше вероятность обнаружить различия, конечно при условии дифференцированного вклада аллельных вариантов гена в признак.

Ряд учёных [Гончаренко Г. М. и др., 2016; Рачкова Е. Н., 2016; Долматова И. Ю., Валитов Ф. Р., 2015; Павлова Н. И. и др. 2016] считают, что у симментальской породы коровы с гомозиготным генотипом BLG^{AA} имеют более высокие показатели удоя, содержание белка и жира в молоке, поэтому их предпочтительно использовать в селекции. Наши результаты не подтверждают данные рекомендации. Очевидно, что необходимы

дальнейшие исследования, и не только в отношении симментальской породы, но и других популяций. Несмотря на уникальность каждой породной группы, представляется, что вклад аллелей, напрямую ассоциированных с качеством молока, может быть разным, но не зависеть от породы.

Статистически достоверных различий между животными разных генотипов по гену *BLG* у красной степной пород также не установлено (таблица 3.8). Однако нельзя не отметить некоторые тенденции, в том числе схожие между породами. Так, животные с генотипом *BLG^{AA}* и *BLG^{AB}* превосходили по удою показатели коров с генотипом *BLG^{BB}* на 320 и 373 кг соответственно. У коров с генотипами *BLG^{AA}* и *BLG^{AB}* выход молочного жира превышает показатель *BLG^{BB}* на 38,5 кг, с генотипом *BLG^{AA}* на 14,4 кг. Показатель выхода молочного белка у коров-носителей генотипов *BLG^{AA}* и *BLG^{AB}* на 10,0 кг выше, чем у коров с генотипами *BLG^{BB}*. Однако эти различия статистически недостоверны.

Таблица 3.8

Молочная продуктивность коров красной степной породы с разными генотипами по гену *BLG*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S \bar{x}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Удой, кг	AA	12	7046 $\pm$ 312,5	5347	8808	1082	15,4
	AB	50	7099 $\pm$ 177,7	3602	9800	1257	17,7
	BB	36	6726 $\pm$ 219,6	4218	9132	1318	19,6
Жир, %	AA	12	4,03 $\pm$ 0,04	3,87	4,35	0,137	3,41
	AB	50	4,01 $\pm$ 0,02	3,7	4,36	0,144	3,59
	BB	36	4,0 $\pm$ 0,018	3,62	4,22	0,11	2,74
Белок, %	AA	12	3,2 $\pm$ 0,013	3,13	3,3	0,046	1,43
	AB	50	3,2 $\pm$ 0,011	3,04	3,42	0,077	2,42
	BB	36	3,23 $\pm$ 0,022	3,1	3,9	0,131	4,06
Количество жира, кг	AA	12	283,7 $\pm$ 13,1	213,9	345,3	45,3	16
	AB	50	284,5 $\pm$ 7,37	156,7	401,8	52,1	18,3
	BB	36	269,7 $\pm$ 9,05	167,5	375,3	54,3	20,1
Количество белка, кг	AA	12	225,5 $\pm$ 10,2	172,2	280,1	35,3	15,7
	AB	50	226,3 $\pm$ 5,48	123,2	308,7	38,8	17,1
	BB	36	216 $\pm$ 7,26	129,9	259,9	43,5	20,2

Независимо от генотипической принадлежности животных по гену *BLG* отмечаем схожую с симментальской породой фенотипическую

изменчивость удоя (15,4–19,6 %), количества молочного жира (16,0–20,1 %) и количества молочного белка (15,7–20,2 %). У красной степной породы незначительно ниже изменчивость по массовой доле жира и белка в молоке по сравнению с симменталами. Каких-либо закономерностей, связанных с изменчивостью признаков в разных генотипических группах, не установлено.

Следующим возможным геном-кандидатом, влияющим на продуктивные признаки коров, был ген *PIT-1*, кодирующий факторы транскрипции пролактина, соматотропина, рецептора соматотропин-рилизинг гормона, бета-субъединицы тиреоидного гормона, бета-субъединицы рецептора тиреотропного гормона. Как видим, полиморфизм этого гена может прямо или косвенно влиять на признаки продуктивности молочного скота.

В результате исследования коров симментальской породы статистически достоверных различий между животными разных генотипов не установлено. Показатель удоя у носителей генотипа *PIT-1^{AB}* (6182 кг) имел тенденцию преимущества над показателями коров с генотипами *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* на 173 кг и 72 кг соответственно (таблица 3.9).

Таблица 3.9

Молочная продуктивность коров симментальской породы с разными генотипами по гену *PIT-1*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Удой, кг	AA	14	6009 $\pm$ 350,0	4191	8876	1309	21,8
	AB	27	6182 $\pm$ 143,7	5039	8015	745,2	12,1
	BB	18	6110 $\pm$ 299,2	4099	8269	1269	20,8
Жир, %	AA	14	4,15 $\pm$ 0,063	3,88	4,73	0,236	5,7
	AB	27	4,24 $\pm$ 0,06	3,6	4,83	0,309	7,29
	BB	18	4,23 $\pm$ 0,057	3,81	4,7	0,24	5,67
Белок, %	AA	14	3,25 $\pm$ 0,031	3,06	3,43	0,118	3,61
	AB	27	3,27 $\pm$ 0,024	3,1	3,62	0,126	3,85
	BB	18	3,24 $\pm$ 0,023	3,06	3,47	0,1	3,07
Количество жира, кг	AA	14	248,4 $\pm$ 14,4	173,4	362,1	53,9	21,7
	AB	27	264,2 $\pm$ 7,73	196,5	339,9	40,1	15,2
	BB	18	257,4 $\pm$ 13,9	172,2	360,8	59,0	22,9
Количество белка, кг	AA	14	194,6 $\pm$ 10,9	131,5	292,9	40,7	20,9
	AB	27	202,0 $\pm$ 4,75	163,4	257,3	24,7	12,2

	ВВ	18	194,8 ± 9,35	142,2	258,0	39,7	20,4
--	----	----	--------------	-------	-------	------	------

По жирности молока у симменталов наблюдается тенденция незначительного превосходства коров с генотипом РІТ-1АВ над генотипами РІТ-1АА и РІТ-1ВВ. Наивысший выход молочного жира отмечен также у симменталов с генотипом РІТ-1АВ (264,2 кг). Тенденция превосходства по белковомолочности отмечена у коров с генотипом РІТ-1АВ. Выгодное влияние полиморфного генотипа РІТ-1АВ также было на выход молочного белка (202 кг).

Следует отметить разную фенотипическую изменчивость некоторых показателей у различных генотипов. Так, к примеру, коэффициент вариации по удою и количеству белка в молоке у гомозиготных животных был на уровне 21 %, в то время как у гетерозигот ниже – на уровне 12 %. У красной степной породы такой зависимости не обнаружено (таблица 3.10).

Таблица 3.10

Молочная продуктивность коров красной степной породы с полиморфными генотипами по гену *PIT-1*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	ЛИМИТЫ		SD (δ)	Cv
				min	max		
Удой, кг	АА	11	6653 ± 397,9	4718	8692	1320	19,8
	АВ	52	6971 ± 168,7	3602	9187	1217	17,5
	ВВ	57	7229 ± 172,1	4218	10498	1299	18
Жир, %	АА	11	4,02 ± 0,037	3,9	4,33	0,122	3,03
	АВ	52	3,98 ± 0,024	3,34	4,36	0,174	4,37
	ВВ	57	4,02 ± 0,017	3,73	4,35	0,126	3,13
Белок, %	АА	11	3,23 ± 0,021	3,13	3,35	0,071	2,2
	АВ	52	3,22 ± 0,016	3,09	3,9	0,119	3,69
	ВВ	57	3,19 ± 0,008	3,04	3,33	0,063	1,98
Количество жира, кг	АА	11	267,8 ± 16,4	184,4	352,9	54,4	20,3
	АВ	52	278,5 ± 6,8	156,7	366,5	49	17,6
	ВВ	57	291,4 ± 7,28	167,5	417,8	55	18,9
Количество белка, кг	АА	11	214,8 ± 13,0	155,7	275,6	43,2	20,1
	АВ	52	223,9 ± 5,48	123,2	305,1	39,5	17,6
	ВВ	57	230,8 ± 5,52	129,9	326,5	41,7	18,0

У красной степной породы наблюдается тенденция превосходства коров-носителей генотипа *PIT-1^{ВВ}* по удою (7229 кг) над генотипами *PIT-1^{АА}*

(на 576,0 кг) и $PIT-1^{AB}$ (на 258 кг). По жирности молока гетерозиготный генотип коров красной степной породы (3,98 %) достоверно уступает гомозиготам ($p < 0,05$). Ранжирование по количеству жира следующее: $PIT-1^{BB} > PIT-1^{AB} > PIT-1^{AA}$. Максимальный выход молочного жира, отмеченный у коров с генотипом $PIT-1^{BB}$ (291,4 кг), превышает показатели $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{AA}$ на 13 и 24 кг соответственно.

У коров красной степной породы с генотипом $PIT-1^{BB}$ отмечено достоверное превосходство по выходу молочного белка по сравнению с другими генотипами ($p < 0,05$). Преимущество над генотипами $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{AA}$ составило 6,9 и 16 кг соответственно.

Животные красной степной породы с разными генотипами по гену $PIT-1$ демонстрируют относительно одинаковую фенотипическая изменчивость в пределах отдельных показателей продуктивности, что не подтверждает полученный результат у симменталов, в частности по удою.

Следует отметить, что в отношении полиморфизма гена $PIT-1$ в литературе имеются противоречивые сведения. Так, по гену $PIT-1$ у симментальской породы отмечена закономерность по показателям удоя, содержанию жира и белка в пользу генотипа $PIT-1^{AA}$ [Cosier V., 2012]. Животные красной степной породы с генотипом $PIT-1^{BB}$ в Ростовской области отличались лучшим удоєм за лактацию (5795,2 кг) в отличии от генотипов $PIT-1^{AA}$ (4959 кг) и $PIT-1^{AB}$ (5294 кг) [Гетманцева Л. В., 2014].

По результатам наших исследований желательными генотипами по гену $PIT-1$ для отбора высокопродуктивных животных с улучшенными характеристиками для симментальской породы, учитывая тенденции различий, можно считать генотип $PIT-1^{AB}$, для красной степной породы – генотип $PIT-1^{BB}$.

В заключение раздела следует сказать, что полиморфизм генов $CSN3$, BLG и $PIT-1$ оказывает разное влияние на некоторые признаки молочной продуктивности коров, разводимых в северном регионе Казахстана, и

оценивать степень этого влияния следует с учетом породной принадлежности животных.

Материалы глав 3.1–3.5 получены автором лично. Анализ и интерпретация результатов выполнены в соавторстве и частично опубликованы в следующих работах:

1. Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н., Кайниденов Н.Н. Полиморфные варианты гена PIT-1 крупного рогатого скота симментальской, красной степной пород республики Казахстан.– Новосибирск: Вестник НГАУ – 2023. № 3(68) – С. 167–175.

2. Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н., Кайниденов Н.Н. Полиморфные варианты генов CSN3, BLG крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Казахстанской селекции. № 2 – Москва: Ветеринария, зоотехния и биотехнология – 2024. – С. 123–142.

3. Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н. Идентификация генов, ассоциированных с молочной продуктивностью коров симментальской и красной степной пород Казахстана - Новосибирск: Вестник НГАУ – 2025. № 1 – С. 142–150.

3.6 Биохимические показатели крови коров симментальской и красной степной пород с разными генотипами по CSN3, BLG, PIT-1

С учетом полифакториальной природы формирования количественных признаков продуктивности, в которой участвуют разнообразные физиологические и биохимические процессы в организме, были проанализированы биохимические и гематологические (морфологические) параметры крови, которые имеют тесную связь с генетическими эффектами, а также с признаками продуктивности коров. Несомненно, особый интерес биохимические показатели крови представляют для прогнозирования племенных и продуктивных характеристик стада скота. В частности, подбор животных при скрещивании по биохимическим характеристикам крови

позволяет корректировать продуктивность и качество продукции у потомков [Васильева С. В., Конопатов Ю. В., 2017]. В нашем исследовании ставилась задача изучить интерьерные показатели животных и их связь с генотипом, тем самым оценить функциональную значимость исследуемых генов.

3.6.1 Биохимические показатели крови коров с разными генотипами по CSN3

В таблице 3.11 представлены биохимические показатели крови по группам генотипов животных симментальской породы по гену каппа-казеина. Следует сразу отметить, что статистически достоверных различий между животными разных генотипов почти по всем биохимическим показателям не установлено. Несмотря на отсутствие различий, считаем важным констатировать значения биохимических показателей как отражение общего метаболического профиля молочного скота северного Казахстана. Итак, концентрация общего белка сыворотки крови у высокопродуктивных коров с генотипом CSN3^{BB} составляет 90,4 г/л, а у менее продуктивных коров с генотипами CSN3^{AA} и CSN3^{BB} – соответственно 88,3 и 84,6 г/л.

Таблица 3.11

Биохимические показатели крови коров симментальской породы с разными генотипами по гену CSN3

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Щелочная фосфатаза, ед/л	AA	28	73,6 $\pm$ 4,7	40,8	126,9	24,9	33,8
	AB	50	70,7 $\pm$ 2,46	42,5	122,1	17,2	24,3
	BB	25	75,3 $\pm$ 5,23	45,1	156,3	26,1	34,7
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	AA	28	88,6 $\pm$ 5,27	42,6	141	27,9	31,5
	AB	50	81,1 $\pm$ 2,83	44,5	136,3	20,0	24,7
	BB	25	86,6 $\pm$ 5,47	48,2	140,0	27,4	31,6
Аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л	AA	28	128,0 $\pm$ 11,2	82,0	415,0	59,4	46,4
	AB	50	113,5 $\pm$ 2,14	92,4	160,8	15,1	13,3
	BB	25	112,8 $\pm$ 2,51	93,2	134,3	12,5	11,1
Мочевина, ммоль/л	AA	28	4,77 $\pm$ 0,169	3,2	7,1	0,896	18,8
	AB	50	4,77 $\pm$ 0,108	3,2	6,4	0,762	16,0
	BB	25	4,98 $\pm$ 0,172	3,4	6,6	0,859	17,3
Кальций, ммоль/л	AA	28	2,12 $\pm$ 0,031	1,9	2,5	0,162	7,64
	AB	50	2,08 $\pm$ 0,021	1,8	2,4	0,149	7,15

	BB	25	2,13 ± 0,03	1,9	2,4	0,151	7,12
Креатинин, мкмоль/л	AA	28	87,0 ± 3,44	62,0	152	18,2	21,0
	AB	50	82,2 ± 2,48	55,0	176,0	17,5	21,3
	BB	25	88,1 ± 4,03	67,0	154,0	20,1	22,5
Магний, ммоль/л	AA	28	0,917 ± 0,063	0,475	1,57	0,335	36,5
	AB	50	1,1 ± 0,056	0,039	1,73	0,393	35,6
	BB	25	1,17 ± 0,063	0,556	1,51	0,316	27,1
Фосфор, ммоль/л	AA	28	2,19 ± 0,06	1,5	2,9	0,317	14,5
	AB	50	2,12 ± 0,043	1,5	2,9	0,301	14,2
	BB	25	2,23 ± 0,059	1,7	2,9	0,291	13,0
Общий белок, г/л	AA	28	88,3 ± 1,96	67	102	10,4	11,8
	AB	50	84,6 ± 2,9	18	109	20,5	24,2
	BB	25	90,4 ± 2,38	63	109	11,9	13,2

Основные компоненты остаточного азота имели тенденцию преимуществ в плазме крови симменталов с генотипом $CSN3^{BB}$. Концентрация мочевины у коров с $CSN3^{BB}$ (4,98 ммоль/л) незначительно превышала показатели генотипов $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ (4,77 ммоль/л). Показатель креатинина у $CSN3^{BB}$ (88,1 мкмоль/л) превышает показатели у $CSN3^{AA}$ (87,0 мкмоль/л) и $CSN3^{AB}$ (82,2 мкмоль/л), соответственно на 1,1 и 5,9 мкмоль/л.

Концентрации метаболитов минерального обмена (кальций, фосфор, магний) преобладали в организме высокоудойных коров симментальской породы с генотипом $CSN3^{BB}$: кальций на 0,03 ммоль/л, фосфор – на 0,07 ммоль/л, магний – на 0,16 ммоль/л ($p < 0,05$) над показателями генотипов $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$.

У коров симментальской породы с полиморфными вариантами гена $CSN3$ определена активность внутриклеточных ферментов переаминирования, участников обмена белков – аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ). В целом, значения АСТ и АЛТ входят в границы референсных значений: 50–150 ед/л, 5–50 ед/л соответственно. При этом, концентрация АСТ при генотипе $CSN3^{AA}$ (128 ед/л) была выше концентраций при генотипах $CSN3^{AB}$ (113,5 ед/л) и $CSN3^{BB}$ (112,8 ед/л) на 14,5 и 15,2 ед/л соответственно. Фермент АЛТ также активнее синтезировался в клетках гомозиготного генотипа $CSN3^{AA}$ (88,6 ед/л) и

преобладал над концентрациями при генотипах $CSN3^{AB}$ (81,1 ед/л) и $CSN3^{BB}$ (86,6 ед/л).

Концентрация гидролитического фермента щелочной фосфатазы, синтезируемого в основном в печени, выделяемого из организма в составе желчи, во всех группах составляет 73,2 ед/л и входит в границы референсных значений (28–233 ед/л). Количество щелочной фосфатазы в генотипе $CSN3^{BB}$ составляет 75,3 ед/л, в генотипах $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ соответственно – 73,6 и 70,7 ед/л.

В таблице 3.11 представлены статистические показатели фенотипической изменчивости метаболитов крови. Так, коэффициент вариации концентрации в крови щелочной фосфатазы – 24,3–34,7 %, АЛТ – 24,7–31,6 %, мочевины – 16,0–18,8 %, кальция – 7,1–7,6 %, креатинина – 21,0–22,5 %, фосфора – 13,0–14,5 %. Следует обратить внимание на разную фенотипическую изменчивость у животных в связи с их генотипической принадлежностью. Так, коэффициент вариации по АСТ у животных с генотипом $CSN3^{AA}$ – 46,4 %, в то время как с генотипом $CSN3^{AB}$ – 13,3 %, с генотипом $CSN3^{BB}$ – 11,1 %, по общему белку у животных с генотипом $CSN3^{AB}$ – 24,2 %, а с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ соответственно – 11,8 и 3,2 %. Возможно, эти результаты указывают на вовлеченность аллелей в метаболизм организма.

В таблицах 3.12 представлены биохимические показатели крови коров красной степной породы. Анализ данных показал, что значения по концентрации общего белка, мочевины, креатинина, кальция, фосфора, магния, глюкозы, щелочной фосфатаза, аспартат- и аланинаминотрансфераз в сыворотке крови коров разных генотипов входят в границы референсных значений. Статистически достоверные различия между животными разных генотипов выявлены по фосфору, между генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ ($p < 0,05$).

Содержание общего белка в сыворотке крови в среднем по всем группам было 73,2 г/л при незначительном превышении концентрации у животных с

генотипом $CSN3^{BB}$ (74 г/л).

Содержание мочевины, как основного компонента остаточного азота в плазме крови, имел тенденцию преимущества у генотипа $CSN3^{BB}$ (5,15 ммоль/л) над показателями $CSN3^{AB}$ (4,75 ммоль/л) и $CSN3^{AA}$ (4,99 ммоль/л).

Таблица 3.12

Биохимические показатели крови коров красной степной породы с разными генотипами по гену $CSN3$

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Щелочная фосфатаза, ед/л	AA	41	63,6 $\pm$ 1,9	38,3	106,9	12,2	19,2
	AB	59	61,2 $\pm$ 1,49	41,5	86,5	11,4	18,7
	BB	20	62,7 $\pm$ 3,17	43,5	98,2	14,2	22,6
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	AA	41	53,3 $\pm$ 1,43	17,5	73,8	9,14	17,1
	AB	59	53,7 $\pm$ 1,31	40,5	68,4	10,1	18,7
	BB	20	53,8 $\pm$ 1,11	47,4	62,5	4,95	9,2
Аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л	AA	41	110,2 $\pm$ 1,73	95	126,1	11,1	10,0
	AB	59	109,5 $\pm$ 1,54	66,4	129,4	11,8	10,8
	BB	20	107,8 $\pm$ 3,31	62,1	125,5	14,8	13,7
Мочевина, ммоль/л	AA	41	4,99 $\pm$ 0,169	2,5	6,5	1,08	21,7
	AB	59	4,75 $\pm$ 0,155	1,9	7,1	1,19	25,0
	BB	20	5,15 $\pm$ 0,294	2,6	7,1	1,32	25,6
Кальций, ммоль/л	AA	41	2,1 $\pm$ 0,041	1,0	2,9	0,265	12,6
	AB	59	2,11 $\pm$ 0,032	1,0	2,6	0,243	11,5
	BB	20	2,06 $\pm$ 0,072	1,1	2,9	0,322	15,7
Креатинин, мкмоль/л	AA	41	92,2 $\pm$ 3,66	68,0	153	23,4	25,4
	AB	59	94,7 $\pm$ 3,64	64,0	180,0	28,0	29,6
	BB	20	97,6 $\pm$ 5,2	71,0	146,0	23,3	23,9
Магний, ммоль/л	AA	41	0,754 $\pm$ 0,019	0,286	0,926	0,12	16,0
	AB	59	0,736 $\pm$ 0,021	0,257	1,08	0,163	22,1
	BB	20	0,805 $\pm$ 0,026	0,544	1,06	0,115	14,3
Фосфор, ммоль/л	AA	41	2,07 $\pm$ 0,028	1,7	2,6	0,18	8,7
	AB	59	1,92 $\pm$ 0,034	1,3	2,5	0,262	13,7
	BB	20	1,93 $\pm$ 0,06	1,4	2,3	0,27	14,0
Общий белок, г/л	AA	41	73,0 $\pm$ 0,81	64	89	5,19	7,11
	AB	59	72,5 $\pm$ 0,883	58	96	6,78	9,35
	BB	20	74,0 $\pm$ 1,88	65	96	8,42	11,4

В таблице 3.13 представлены результаты биохимических показателей крови, полученных методом фотоэлектрической колориметрии.

Ниже описаны различия на уровне тенденции, которые могут иметь значение для оценки интерьера животных. Суммарное количество

компонентов остаточного азота в плазме крови коров (мочевая кислота, креатинин) преобладает у коров с генотипом $CSN3^{BB}$. При этом, концентрация общего билирубина была выше у генотипа $CSN3^{AB}$. Показатель креатинина у $CSN3^{BB}$ (97,6 мкмоль/л) превышает значения у $CSN3^{AA}$ (92,2 мкмоль/л) и $CSN3^{AB}$ (94,7 мкмоль/л) соответственно на 5,6 и 2,9 мкмоль/л. Показатель мочевой кислоты у $CSN3^{BB}$ (49,22 мкмоль/л) также выше чем у $CSN3^{AA}$ (35,98 мкмоль/л) и $CSN3^{AB}$ (44,86 мкмоль/л) на 9,64 и 4,36 мкмоль/л. Концентрация общего билирубина при генотипе $CSN3^{AB}$ – 2,3 мкмоль/л, что на 0,7 и 0,34 мкмоль/л выше, чем в гомозиготных генотипах $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$.

Таблица 3.13

Биохимические показатели крови коров красной степной породы с разными генотипами по гену $CSN3$

Показатель	Генотип животного		
	$CSN3^{AA}$	$CSN3^{AB}$	$CSN3^{BB}$
Мочевая кислота, мкмоль/л	35,98 ± 5,55	44,86 ± 24,58	49,22 ± 9,96
Общий билирубин, мкмоль/л	1,6 ± 0,36	2,3 ± 0,3	1,96 ± 0,29
Глюкоза, ммоль/л	3,12 ± 0,79	2,98 ± 0,13	2,00 ± 0,31
Общий холестерин, ммоль/л	4,72 ± 0,32	4,66 ± 0,78	3,5 ± 0,48
Желчная кислота, мкмоль/л	34,28 ± 4,69	32,78 ± 3,16	23,96 ± 3,18
Лактатдегидрогеназа, ед/л	847,0 ± 51,67	842,59 ± 109,23	875 ± 119,86
Креатинкиназа, мкмоль/л	255,0 ± 72,9	263,42 ± 85,69	241,46 ± 110,46
Амилаза, ед/л	78,86 ± 4,0	66,24 ± 3,16	73,7 ± 6,37
Гамма-глутамилтранспептидаза, ед/л	31,18 ± 1,78	29,54 ± 3,48	34,56 ± 1,67
Триглицериды, ммоль/л	0,31 ± 0,05	0,32 ± 0,02	0,35 ± 0,01
Липаза, ед/л	20,8 ± 0,32	19,81 ± 0,75	19,82 ± 0,28

Содержание фосфора в плазме крови животных с генотипами $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ уступает показателю высокопродуктивного генотипа $CSN3^{AA}$ (2,07 ммоль) на 0,145 ммоль/л ($p < 0,05$).

Содержание магния у генотипов $CSN3^{BB}$ (0,805 ммоль/л) в среднем на 0,06 ммоль/л превосходит показатели генотипов $CSN3^{AA}$ (0,754 ммоль/л) и $CSN3^{AB}$ (0,736 ммоль/л) при норме 0,5–1,5 ммоль/л.

Концентрация глюкозы в крови коров красной степной породы с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ варьирует в пределах физиологической нормы –

3,12 и 2,98 ммоль/л. По данным литературы, норма концентрации глюкозы в крови у коров (2,5–3,88 ммоль/л) является результатом баланса функций регулирующих ее гормонов [Васильева С. В., Конопатов Ю. В., 2017]. Содержание глюкозы в генотипе $CSN3^{BB}$ (2,0 ммоль/л) уступает значениям в генотипах $CSN3^{AA}$, $CSN3^{AB}$ на 1,12 и 0,98 ммоль/л соответственно.

Содержание холестерина, являющегося значимым стеринном в животных тканях и главнейшим компонентом мембран клеток животных тканей, в генотипе $CSN3^{BB}$ было в пределах нормы (3,5 ммоль/л). Концентрации холестерина в генотипах $CSN3^{AA}$ (4,72 ммоль/л), $CSN3^{AB}$ (4,66 ммоль/л) превосходят показатель в $CSN3^{BB}$ соответственно на 1,22 и 1,16 ммоль/л. Референсные значения общего холестерина в крови коров – 1,16–5,14 ммоль/л.

Поскольку конечными продуктами метаболизма холестерина являются желчные кислоты, их концентрации в генотипах $CSN3^{AA}$ (34,28 мкмоль/л) и $CSN3^{AB}$ (32,78 мкмоль/л) также имели тенденцию превышения над концентрацией в генотипе $CSN3^{BB}$ на 10,32 и 8,82 мкмоль/л соответственно. Показания входят в границы референсных значений (0,02–48,0 мкмоль/л).

Определена активность ферментов у коров красной степной породы с разными генотипами по гену каппа-казеина. Концентрация АСТ в генотипе $CSN3^{AA}$ (110,2 ед/л) незначительно превышает концентрации в генотипах $CSN3^{AB}$ (109,5 ед/л) и $CSN3^{BB}$ (107,8 ед/л) соответственно. Показания входят в границы референсных значений (50–150 ед/л). Концентрация АЛТ в трех генотипах в среднем была 53,6 ед/л.

Концентрации лактатдегидрогеназы (ЛДГ) – гликолитического фермента, катализирующего обратимую реакцию восстановления пировиноградной кислоты в молочную, в среднем в группах составляет 854,6 ед/л и входят в границы референсных значений (40–1032 ед/л). В генотипе $CSN3^{BB}$ (875 ед/л) отмечено превосходство концентрации ЛДГ над показателями в генотипах $CSN3^{AA}$ (847,0 ед/л) и $CSN3^{AB}$ (842,59 ед/л).

Содержание креатинкиназа (КК), играющий важную роль в энергетическом обмене, необходимый для обеспечения энергией мышечного

сокращения, транспорта ионов через мембраны, во всех группах в среднем составляет 253,0 ед/л, в границах референсных значений (50–350 ед/л).

Концентрация гидролитического фермента щелочной фосфатазы, синтезируемого в основном в печени и выделяемого из организма в составе желчи, была в среднем 62,5 ед/л, также в границах референсных значений (28–233 ед/л). Отмечаем тенденцию превышения фермента в генотипе *CSN3^{AA}* (63,6 ед/л) по сравнению с *CSN3^{AB}* (61,2 ед/л) и *CSN3^{BB}* (62,7 ед/л).

Содержание амилазы, фермента поджелудочной железы и обладающего специфическим действием на альфа-1,4-глюкозидные связи гликогена, в среднем в группах было 72,9 ед/л, что выходит за пределы референсных значений (0–57 ед/л).

Содержание гамма-глутамилтранспептидазы, фермент участвует в обмене аминокислот, у исследуемых генотипов было в границах референсных значений (0–87 ед/л) и составляет в среднем 31,8 ед/л.

Концентрации липазы, фермента, катализирующего расщепление липидов в ходе обменных процессов в организме, у животных в среднем было 20,14 ед/л.

Таким образом, коровы с разными генотипами по гену *CSN3* демонстрируют практически одинаковый метаболический профиль, так как статистически достоверных различий между средними значениями не выявлено, и фенотипическая изменчивость параметров мало отличается. Однако, учитывая тенденции различий, исследования в этом направлении нужно продолжать.

3.6.2 Биохимические показатели крови коров с разными генотипами по *BLG*

В таблице 3.14 представлены биохимические показатели крови по группам генотипов животных симментальской породы по гену *BLG*. Статистически достоверных различий по основным биохимическим

показателям между животными разных генотипов нами не было установлено, что говорит об отсутствии вовлеченности гена в формирование признаков. Однако с точки зрения описания в целом биохимического статуса изученных животных, считаем важным оценить параметры крови в сравнительном аспекте на уровне тенденций различий между средними значениями и фенотипической изменчивости.

Итак, концентрации общего белка у всех животных в среднем составляет 87,0 г/л, немного ниже у генотипов BLG^{BB} (83,7 г/л). Уровень мочевины, как компонента остаточного азота, в плазме крови симменталов с генотипами BLG^{AA} (5,04 ммоль/л) и BLG^{BB} (4,91 ммоль/л) превышал показатель генотипа BLG^{AB} (4,72 ммоль/л). Значение креатинина у BLG^{AA} и BLG^{AB} (84,1 и 82,5 мкмоль/л) уступает BLG^{BB} (91,0 мкмоль/л) на 7,7 мкмоль/л.

Таблица 3.14

Биохимические показатели крови коров симментальской породы с разными генотипами по гену BLG

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Щелочная фосфатаза, ед/л	AA	14	70,0 $\pm$ 5,9	41,8	126,3	22,1	31,5
	AB	58	74,5 $\pm$ 3,32	40,8	156,3	25,3	33,9
	BB	44	66,0 $\pm$ 2,08	42,5	106,0	13,8	20,9
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	AA	14	81,8 $\pm$ 6,86	48,2	136,2	25,7	31,4
	AB	58	87,2 $\pm$ 3,33	40,3	141,0	25,3	29,0
	BB	44	76,1 $\pm$ 3,38	41,3	140,0	22,4	29,5
Аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л	AA	14	138,3 $\pm$ 21,8	92,1	415,0	87,5	58,9
	AB	58	114,3 $\pm$ 2,38	82,0	185,6	18,2	15,9
	BB	44	112,8 $\pm$ 1,63	94,7	150,1	10,8	9,57
Мочевина, ммоль/л	AA	14	5,04 $\pm$ 0,207	3,6	6,2	0,776	15,4
	AB	58	4,72 $\pm$ 0,118	3,2	7,1	0,897	19,0
	BB	44	4,91 $\pm$ 0,127	3,2	7,2	0,843	17,2
Кальций, ммоль/л	AA	14	2,12 $\pm$ 0,026	1,9	2,3	0,097	4,6
	AB	58	2,1 $\pm$ 0,021	1,8	2,4	0,157	7,45
	BB	44	2,09 $\pm$ 0,023	1,8	2,5	0,154	7,35
Креатинин, мкмоль/л	AA	14	84,1 $\pm$ 4,14	62,0	125	15,5	18,4
	AB	58	82,5 $\pm$ 1,92	55,0	152,0	14,6	17,7
	BB	44	91,0 $\pm$ 3,51	60,0	176,0	23,3	25,6
Магний, ммоль/л	AA	14	1,1 $\pm$ 0,1	0,475	1,58	0,376	34,3
	AB	58	1,04 $\pm$ 0,047	0,039	1,73	0,356	34,1
	BB	44	0,979 $\pm$ 0,056	0,228	1,57	0,37	37,8

Фосфор, ммоль/л	AA	14	$2,21 \pm 0,076$	1,9	2,9	0,284	12,9
	AB	58	$2,14 \pm 0,039$	1,5	2,9	0,295	13,8
	BB	44	$2,15 \pm 0,048$	1,5	2,9	0,319	14,8
Общий белок, г/л	AA	14	$89,1 \pm 2,06$	70,0	100,0	7,71	8,66
	AB	58	$87,9 \pm 2,05$	34,0	107,0	15,6	17,7
	BB	44	$83,7 \pm 2,76$	18,0	109,0	18,3	21,9

Концентрация фосфора в крови высокоудойных коров симментальской породы с генотипом BLG^{AA} составила 2,21 ммоль/л, немного выше альтернативных генотипов. Содержания магния и кальция в среднем по генотипам равны.

Показания ферментов АСТ и АЛТ во всех группах коров входят в границы референсных значений (50–150 ед/л, 5–50 ед/л соответственно). Концентрация АСТ в генотипе BLG^{AA} (138,3 ед/л) имела тенденцию преимущества над генотипами BLG^{AB} (114,3 ед/л) и BLG^{BB} (112,8 ед/л) на 24,0 и 25,5 ед/л соответственно. Уровень АЛТ у гетерозиготного генотипа BLG^{AB} (87,2 ед/л) превышал концентрации в генотипах BLG^{AA} (81,8 ед/л) и BLG^{BB} (76,1 ед/л).

Концентрация щелочной фосфатазы у животных была в границах референсных значений (28–233 ед/л) и составляет в среднем 70,16 ед/л. Отмечаем тенденцию превышения в генотипе BLG^{AB} (74,5 ед/л) над генотипами BLG^{AA} (70,0 ед/л) и BLG^{BB} (66,0 ед/л) на 4,5 и 8,5 ед/л соответственно.

Фенотипическая изменчивость концентрации в крови щелочной фосфатазы была на уровне 20,9–33,9 %, АЛТ – 29,0–31,4 %, мочевины – 15,4–19,0 %, креатинина – 17,7–25,6 %, магния – 34,1–37,8 % и фосфора – 12,9–14,8 %. Следует отметить разную изменчивость в генотипических группах животных. Так, например, коэффициент вариации АСТ у животных с генотипом BLG^{AA} – 58,9 %, в то время как с генотипом BLG^{AB} – 15,9 %, с генотипом BLG^{BB} – 9,6 %; по концентрации кальция с генотипом BLG^{AA} – 4,6 %, с генотипами BLG^{AB} и BLG^{BB} – 7,4 %; по содержанию общего белка у

животных с генотипом BLG^{AA} – 8,7 %, а с генотипом BLG^{AB} – 17,7 %, с генотипом BLG^{BB} – 21,9 %.

В таблицах 3.15 представлены биохимические показатели крови по группам генотипов животных красной степной породы по гену BLG . Статистически достоверных различий между животными разных генотипов по основным биохимическим показателям не установлено.

Таблица 3.15

Биохимические показатели крови коров красной степной породы с разными генотипами по гену BLG

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Щелочная фосфатаза, ед/л	AA	12	59,7 $\pm$ 2,98	45,2	76,5	10,3	17,3
	AB	50	64,1 $\pm$ 1,92	38,3	106,9	13,5	21,1
	BB	36	59,8 $\pm$ 1,9	43,5	98,2	11,4	19,1
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	AA	12	53,3 $\pm$ 1,31	48,0	60,2	4,52	8,49
	AB	50	54,5 $\pm$ 1,22	40,5	51,3	8,65	15,9
	BB	36	53,6 $\pm$ 1,39	28,5	73,8	8,32	15,5
Аспартатамино трансфераза (АСТ), ед/л	AA	12	110,3 $\pm$ 3,45	95	129,4	12	10,9
	AB	50	110,8 $\pm$ 1,79	66,4	126,1	12,7	11,4
	BB	36	107,8 $\pm$ 2,04	62,1	125,9	12,3	11,4
Мочевина, ммоль/л	AA	12	5,08 $\pm$ 0,277	3	6,7	0,959	18,9
	AB	50	5,07 $\pm$ 0,154	1,9	7,1	1,09	21,5
	BB	36	4,68 $\pm$ 0,208	2,5	6,7	1,25	26,6
Кальций, ммоль/л	AA	12	2,04 $\pm$ 0,04	1,8	2,2	0,138	6,75
	AB	50	2,09 $\pm$ 0,039	1,0	2,9	0,273	13
	BB	36	2,11 $\pm$ 0,057	1,0	2,9	0,339	16
Креатинин, мкмоль/л	AA	12	93,6 $\pm$ 6,21	70	153	21,5	23
	AB	50	90,7 $\pm$ 3,13	66	180	22,1	24,4
	BB	36	99,3 $\pm$ 4,64	64	149	27,9	28,1
Магний, ммоль/л	AA	12	0,757 $\pm$ 0,025	0,589	0,872	0,088	11,6
	AB	50	0,76 $\pm$ 0,022	0,257	1,08	0,154	20,3
	BB	36	0,744 $\pm$ 0,026	0,353	1,06	0,154	20,7
Фосфор, ммоль/л	AA	12	1,94 $\pm$ 0,068	1,6	2,3	0,235	12,1
	AB	50	1,99 $\pm$ 0,033	1,5	2,5	0,232	11,6
	BB	36	1,99 $\pm$ 0,046	1,3	2,6	0,277	13,9
Общий белок, г/л	AA	12	78,5 $\pm$ 1,77	70	89	6,14	7,82
	AB	50	72,2 $\pm$ 0,955	58	96	6,75	9,35
	BB	36	73,5 $\pm$ 1,17	63	96	7,01	9,54

Содержание общего белка в сыворотке крови коров с генотипами

BLG^{AA} (78,5 г/л) имело тенденцию превышения над показателями коров с генотипами BLG^{AB} и BLG^{BB} на 28,2 и 49,5 г/л соответственно.

Концентрации мочевины в плазме крови животных с генотипами BLG^{AA} и BLG^{AB} (5,08 и 5,07 ммоль/л соответственно) превышали показатель BLG^{BB} (4,68 ммоль/л).

Суммарное количество остальных компонентов остаточного азота в плазме крови коров с генотипом BLG^{AA} (креатинин, мочевая кислота, общий билирубин) уступало BLG^{AB} и BLG^{BB} . Ранжирование концентрации по креатинину следующее: $BLG^{BB} > BLG^{AA} > BLG^{AB}$; по мочевой кислоте и общему билирубину: $BLG^{BB} > BLG^{AB} > BLG^{AA}$.

Содержание минерального метаболита обмена веществ кальция в генотипах коров по гену BLG в среднем – 2,1 ммоль/л при норме 1,45–2,10 ммоль/л. Концентрация неорганической фракции фосфора в плазме крови генотипов BLG^{AB} и BLG^{BB} (1,99 ммоль) незначительно превосходит показатель BLG^{AA} (1,94 ммоль).

По показателю магния генотипы BLG^{AA} и BLG^{AB} (0,76 ммоль/л) незначительно превосходят значение генотипа BLG^{BB} (0,744 ммоль/л), при норме от 0,5 до 1,5 ммоль/л.

В таблице 3.16 представлены результаты биохимических показателей крови, полученных методом фотоэлектрической колориметрии.

Таблица 3.16

Биохимические показатели крови коров красной степной породы с разными генотипами по гену BLG

Показатель	Генотип животного		
	BLG^{AA}	BLG^{AB}	BLG^{BB}
Мочевая кислота, мкмоль/л	21,69 ± 4,9	31,6 ± 14,5	35,8 ± 10,9
Общий билирубин, мкмоль/л	1,6 ± 0,4	2,1 ± 0,6	2,9 ± 0,3
Глюкоза, ммоль/л	2,0 ± 0,3	2,98 ± 0,13	2,28 ± 0,31
Общий холестерин, ммоль/л	2,86 ± 0,3	3,34 ± 0,1	3,89 ± 0,5
Желчная кислота, мкмоль/л	23,6 ± 1,8	32,78 ± 3,16	31,35 ± 3,2
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ), ед/л	722 ± 215,75	712,0 ± 94,16	581,0 ± 15,12
Креатинкиназа, мкмоль/л	199,2 ± 21,33	167,4 ± 73,87	212,5 ± 102,6
Амилаза, ед/л	49,0 ± 1,17	56,0 ± 11,47	50,0 ± 2,78
Гамма-глутамилтранспептидаза, ед/л	28,34 ± 3,0	27,35 ± 3,0	21,18 ± 0,52

Триглицериды, ммоль/л	0,35 ± 0,01	0,32 ± 0,02	0,31 ± 0,05
Липаза, ед/л	21,0 ± 0,65	20,0 ± 0,5	19,0 ± 0,09

Концентрация глюкозы в крови животных с генотипами BLG^{AB} и BLG^{BB} коров красной степной породы варьирует в пределах физиологической нормы (2,98 и 2,28 ммоль/л) в отличие от генотипа BLG^{AA} (2,0 ммоль/л).

Уровень холестерина в генотипах BLG^{AB} (3,34 ммоль/л), BLG^{BB} (3,89 ммоль/л) имел тенденцию превышения над показателем генотипа BLG^{AA} на 0,48; 1,03 ммоль/л соответственно. Холестерин является неотъемлемой частью клеточных биомембран животных, выполняя структурные и функциональные функции. Он воздействует на клеточное деление, активность белковых рецепторов плазматических мембран, мембранные связанные ферменты, а также обеспечивает стабильность сывороточных липопротеинов и транспорт желчи [Никонова Е. А. и др., 2022; Пономарева Е. И., 2015].

Конечные продукты метаболизма холестерина желчные кислоты в генотипе BLG^{AA} (23,6 мкмоль/л) уступают концентрациям, отмеченным в генотипах BLG^{AB} (32,78 мкмоль/л) и BLG^{BB} (31,35 мкмоль/л) соответственно на 9,18 и 7,75 мкмоль/л.

При определении активности ферментов переаминирования отмечено, что концентрации АСТ в генотипах BLG^{AA} и BLG^{AB} (110,4 ед/л) имели тенденцию превышения над генотипом BLG^{BB} (107,8 ед/л), а уровня АЛТ с генотипом BLG^{AB} (54,5 ед/л) над концентрациями при других генотипах.

Концентрации лактатдегидрогеназы у высокопродуктивных коров с генотипом BLG^{AA} (722 ед/л) и BLG^{BB} (712,0 ед/л) превышали концентрацию BLG^{AB} (581,0 ед/л) на 141,0 и 131,0 ед/л.

Уровень креатинкиназы, отмеченный в генотипе BLG^{BB} (212,5 ед/л), превышает концентрации в BLG^{AA} (199,2 ед/л) и BLG^{AB} (167,4 ед/л) на 6,3 и 21,2 %. Концентрация амилазы преобладала в генотипе BLG^{AB} (56,0 ед/л) над показателями BLG^{AA} (49,0 ед/л) и BLG^{BB} (50,0 ед/л).

Концентрация гидролитического фермента щелочная фосфатаза в генотипе BLG^{AB} (64,1 ед/л) выше, чем в других генотипах.

Уровень гамма-глутамилтранспептидазы, участвующей в обмене аминокислот, у высокопродуктивных коров с генотипом BLG^{AA} (28,34 ед/л) и BLG^{AB} (27,35 ед/л) достоверно превышала концентрацию в BLG^{BB} (21,18 ед/л) на 6,7 ед/л ($p < 0,01$).

Триглицеридов в группе с генотипом BLG^{AA} (0,35 ммоль/л) на 0,035 ммоль выше, чем с генотипом BLG^{AB} (0,32 ммоль/л) и BLG^{BB} (0,31 ммоль/л).

Уровень липазы в генотипе BLG^{AA} (21,0 ед/л), превышает показатели генотипов BLG^{AB} (20,0 ед/л) и BLG^{BB} (19,0 ед/л).

Уровень фенотипической изменчивости (Cv) метаболитов крови животных красной степной породы ражирован следующим образом: креатинин – 23,0–28,1 %; мочевины – 18,9–26,6 %; щелочная фосфатаза – 17,3–21,1 %; АЛТ – 8,49–15,9 %; фосфор – 11,6–13,9 %; АСТ – 10,9–11,4 %; общий белок – 7,8–9,5 %. Отметим разную изменчивость с учетом генотипов. Так, коэффициент вариации кальция у животных с генотипом BLG^{AA} – 6,8 %, а с генотипами BLG^{AB} и BLG^{BB} – 13,0 и 16,0 %; магния у коров с генотипом BLG^{AA} – 11,6 %, с генотипами BLG^{AB} и BLG^{BB} – 20,5 %.

3.6.3 Биохимические показатели крови коров с разными генотипами по *PIT-1*

В таблице 3.17 представлены биохимические показатели крови животных симментальской породы с учетом генотипов по гену *PIT-1*. Статистически достоверных различий между животными разных генотипических групп по основным биохимическим показателям (кроме креатинина, различия между $PIT-1^{AA}$ и $PIT-1^{AB}$, $p < 0,05$) не установлено.

Изучая особенности биохимического статуса животных разных генотипов по показателям, отражающим белковый, углеводный, жировой и

минеральный обмена, пытались найти общие закономерности изменений и оценить степень потенциальной вовлеченности исследуемых генов в функционирование организма. Поэтому, представляется важным описать метаболический профиль животных даже в отсутствие статистически достоверных различий между группами.

Содержание общего белка сыворотки крови у коров разных генотипов варьирует от 82,2 до 84,6 г/л. Концентрация мочевины у животных с генотипом *PIT-1^{AB}* (5,15 ммоль/л) незначительно выше показателей других генотипов (в среднем 4,66 ммоль/л). Уровень креатинина у *PIT-1^{AB}* (94,8 мкмоль/л) достоверно превышает показатели у *PIT-1^{AA}* (79,2 мкмоль/л) и *PIT-1^{BB}* (87,9 мкмоль/л) соответственно на 15,6 и 6,9 мкмоль/л ($p < 0,05$).

Таблица 3.17

Биохимические показатели крови коров симментальской породы с разными генотипами по гену *PIT-1*

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Щелочная фосфатаза, ед/л	AA	14	69,2 $\pm$ 4,5	47,3	106,0	16,8	24,3
	AB	27	68,8 $\pm$ 3,49	45,1	133,8	18,1	26,3
	BB	18	73,3 $\pm$ 6,91	42,1	156,3	29,3	40,0
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	AA	14	83,1 $\pm$ 6,11	42,6	126,3	22,9	27,5
	AB	27	80,7 $\pm$ 5,37	44,8	141,0	27,9	34,6
	BB	18	81,4 $\pm$ 6,85	40,3	137,3	29,1	35,7
Аспартатамино трансфераза (АСТ), ед/л	AA	14	108,8 $\pm$ 2,66	95,6	124,8	9,96	9,16
	AB	27	125,9 $\pm$ 11,4	94,7	415,0	59,0	46,9
	BB	18	107,8 $\pm$ 3,17	82,0	128,7	13,4	12,5
Мочевина, ммоль/л	AA	14	4,64 $\pm$ 0,175	3,9	6,4	0,656	14,1
	AB	27	5,15 $\pm$ 0,186	3,2	6,7	0,966	18,8
	BB	18	4,68 $\pm$ 0,189	3,2	6,4	0,801	17,1
Кальций, ммоль/л	AA	14	2,12 $\pm$ 0,039	1,8	2,4	0,148	6,96
	AB	27	2,13 $\pm$ 0,026	1,9	2,4	0,136	6,37
	BB	18	2,14 $\pm$ 0,041	1,8	2,5	0,172	8,04
Креатинин, мкмоль/л	AA	14	79,2 $\pm$ 3,34	60,0	117,0	12,5	15,8
	AB	27	94,8 $\pm$ 3,77	72,0	152,0	19,6	20,7
	BB	18	87,9 $\pm$ 6,36	62,0	176,0	27,0	30,7
Магний, ммоль/л	AA	14	0,948 $\pm$ 0,11	0,228	1,59	0,412	43,5
	AB	27	1,09 $\pm$ 0,062	0,556	1,57	0,321	29,4
	BB	18	1,05 $\pm$ 0,083	0,475	1,57	0,352	33,6
Фосфор, ммоль/л	AA	14	2,26 $\pm$ 0,108	1,5	2,9	0,405	18,0
	AB	27	2,04 $\pm$ 0,039	1,5	2,4	0,2	9,82
	BB	18	2,16 $\pm$ 0,066	1,7	2,9	0,281	13,0

Общий белок, г/л	AA	14	82,2 ± 6,91	18,0	109,0	25,9	31,4
	AB	27	84,5 ± 2,23	58,0	104,0	11,6	13,7
	BB	18	85,4 ± 3,85	35,0	104,0	16,3	19,1

Концентрации кальция и магния в сыворотке крови во всех группах были соответственно 2,13 и 1,03 ммоль/л., а содержание фосфора у животных с генотипом *PIT-1^{AA}* (2,26 ммоль/л) незначительно выше значений других генотипов (в среднем на 0,2 ммоль/л).

Показания АСТ и АЛТ входят в границы референсных значений (50–150 ед/л и 5–50 ед/л соответственно). При этом, содержание АСТ у коров с генотипом *PIT-1^{AB}* (125,9 ед/л) выше, чем у других генотипов (в среднем на 17,6 ед/л). Концентрация АЛТ была выше у животных с генотипом *PIT-1^{AA}* (83,1 ед/л) в среднем на 4,3 ед/л., а щелочной фосфатазы выше в генотипе *PIT-1^{BB}* (73,3 ед/л) над показаниями, отмеченным в генотипах *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* на 1,7 и 4,6 ед/л соответственно.

Значения фенотипической изменчивости метаболитов крови животных симментальской породы варьировали в диапазоне: АЛТ – от 27,5 до 35,7 %, мочевины – от 14,1 до 18,8 %, кальция – от 6,37 до 8,04 %, магния – от 29,4 до 43,5 %. Отметим разные коэффициенты вариации концентрации щелочной фосфатазы у животных с генотипами *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{AB}* (в среднем 25,3 %) и с генотипом *PIT-1^{BB}* – 40,0 %. Изменчивость АСТ у животных с генотипом *PIT-1^{AA}* – 9,2 %, тогда как с генотипом *PIT-1^{AB}* – 46,9 % и с генотипом *PIT-1^{AB}* – 12,5 %. Коэффициент вариации содержания креатинина у животных с генотипом *PIT-1^{AA}* – 15,8 %, с генотипом *PIT-1^{AB}* – 20,7 %, а с генотипом *PIT-1^{BB}* – 30,7 %. Изменчивость фосфора у животных с генотипом *PIT-1^{AA}* составила 18,0 %, с генотипом *PIT-1^{AB}* – 9,8 %, с генотипом *PIT-1^{BB}* – 13,0 %, а общего белка с генотипом *PIT-1^{AA}* – 31,4 %, с генотипом *PIT-1^{AB}* – 13,7 %, с *PIT-1^{BB}* – 19,1 %. Анализ значений изменчивости в группах разных генотипов возможно отражает участие генов в метаболизме животных.

Данные по биохимическому составу крови коров красной степной породы в зависимости от генотипов по гену *PIT-1* представлены в таблицах

3.18, 3.19. Все показатели были в границах референсных значений, что подтверждает нормальное физиологическое состояние животных.

Содержание общего белка в сыворотке крови животных с генотипами *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* (74,5 и 73,7 г/л) имело тенденцию превышения над вариантом *PIT-1^{AB}* (71,7 г/л) на 2,4 г/л. Также в генотипе *PIT-1^{BB}* отмечено выше значение мочевины (4,99 ммоль/л) чем в генотипах *PIT-1^{AA}* (4,65 ммоль/л) и *PIT-1^{AB}* (4,85 ммоль/л). Показатель креатинина у генотипа *PIT-1^{AA}* (99,5 мкмоль/л) превышает генотип *PIT-1^{AB}* (94,4 мкмоль/л) и *PIT-1^{BB}* (93,2 мкмоль/л) на 5,1 и 6,3 мкмоль/л соответственно. Различия статистически недостоверны.

Концентрации остальных компонентов остаточного азота в крови коров с генотипом *PIT-1^{BB}* (мочевая кислота, общий билирубин) были выше, чем с генотипами *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{AB}*; концентрации мочевой кислоты соответственно на 13,1 и 5,5 мкмоль/л, общего билирубина на 0,5 и 0,1 мкмоль/л.

Содержание кальция и магния в сыворотке крови животных было в пределах нормы и на уровне 2,11 и 0,75 ммоль/л. Концентрация фосфора незначительно выше у животных с генотипом *PIT-1^{BB}* (2,01 мкмоль/л).

Таблица 3.18

Биохимические показатели крови коров красной степной породы с разными генотипами по гену *PIT-1*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Щелочная фосфатаза, ед/л	AA	11	$63,7 \pm 2,83$	47,4	75,9	9,38	14,7
	AB	52	$61,0 \pm 1,69$	43,5	106,9	12,2	19,9
	BB	57	$63,0 \pm 1,67$	38,3	98,2	12,6	20,0
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	AA	11	$51,7 \pm 3,61$	17,5	59,3	12,0	23,2
	AB	52	$53,4 \pm 1,55$	40,5	73,8	11,2	21,0
	BB	57	$54,1 \pm 0,751$	41,2	66,7	5,67	10,5
Аспартатамино-трансфераза (АСТ), ед/л	AA	11	$109,0 \pm 3,6$	95	125,9	11,9	11,0
	AB	52	$109,4 \pm 1,51$	95,2	126,1	10,9	9,93
	BB	57	$109,6 \pm 1,75$	62,1	129,4	13,2	12,1
Мочевина, ммоль/л	AA	11	$4,65 \pm 0,348$	2,5	5,7	1,15	24,8
	AB	52	$4,85 \pm 0,167$	2,5	7,1	1,21	24,9
	BB	57	$4,99 \pm 0,154$	1,9	7,1	1,17	23,4

Кальций, ммоль/л	АА	11	$2,15 \pm 0,078$	2,0	2,9	0,258	12,0
	АВ	52	$2,07 \pm 0,034$	1,1	2,6	0,246	11,9
	ВВ	57	$2,11 \pm 0,037$	1,0	2,9	0,28	13,3
Креатинин, мкмоль/л	АА	11	$99,5 \pm 10,4$	64,0	180,0	34,5	34,7
	АВ	52	$94,4 \pm 3,82$	67	180	27,5	29,2
	ВВ	57	$93,2 \pm 2,92$	66	149	22,0	23,6
Магний, ммоль/л	АА	11	$0,755 \pm 0,033$	0,624	1,02	0,109	14,5
	АВ	52	$0,751 \pm 0,02$	0,286	1,06	0,144	19,1
	ВВ	57	$0,756 \pm 0,02$	0,257	1,08	0,15	19,9
Фосфор, ммоль/л	АА	11	$1,85 \pm 0,068$	1,6	2,2	0,225	12,2
	АВ	52	$1,96 \pm 0,035$	1,4	2,3	0,254	13,0
	ВВ	57	$2,01 \pm 0,032$	1,3	2,6	0,24	11,9
Общий белок, г/л	АА	11	$74,5 \pm 1,9$	67	89	6,3	8,46
	АВ	52	$71,7 \pm 0,918$	60	96	6,62	9,23
	ВВ	57	$73,7 \pm 0,858$	58	89	6,48	8,78

Содержание глюкозы у коров с генотипом *PIT-1^{BB}* было 3,24 ммоль/л, с *PIT-1^{AB}* – промежуточное (2,71 ммоль/л) и *PIT-1^{AA}* – 2,12 ммоль/л.

Концентрация холестерина в генотипе *PIT-1^{BB}* (3,5 ммоль/л) превосходит значения, отмеченные в *PIT-1^{AB}* (3,3 ммоль/л) и *PIT-1^{AA}* (3,0 ммоль/л). Соответственно, конечные продукты метаболизма холестерина желчные кислоты в генотипах *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{BB}* (23,96 и 23,1 мкмоль/л) имели тенденцию превышения над значениями *PIT-1^{AA}* (11,43 мкмоль/л).

Уровень содержания триглицеридов в крови животных находился в пределах от 0,31 до 0,36 ммоль/л.

Таблица 3.19

Биохимические показатели крови коров красной степной породы с разными генотипами по гену *PIT-1*

Показатель	Генотип животного		
	<i>PIT-1^{AA}</i>	<i>PIT-1^{AB}</i>	<i>PIT-1^{BB}</i>
Мочевая кислота, мкмоль/л	$22,7 \pm 3,0$	$30,3 \pm 9,5$	$35,8 \pm 5,5$
Общий билирубин, мкмоль/л	$1,6 \pm 0,4$	$2,0 \pm 0,6$	$2,1 \pm 0,3$
Глюкоза, ммоль/л	$2,12 \pm 0,13$	$2,71 \pm 0,11$	$3,24 \pm 0,4$
Общий холестерин, ммоль/л	$3,0 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,1$	$3,5 \pm 0,5$
Желчная кислота, мкмоль/л	$11,43 \pm 2,0$	$23,96 \pm 3,2$	$23,1 \pm 3,2$
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ), ед/л	$722 \pm 21,8$	$819,0 \pm 34,16$	$884,0 \pm 15,12$
Креатинкиназа (КК), мкмоль/л	$179,2 \pm 11,3$	$177,4 \pm 53,9$	$189,5 \pm 62,6$
Амилаза, ед/л	$67,0 \pm 10,5$	$79,6 \pm 2,8$	$83,0 \pm 1,2$
Гамма-глутамилтранспептидаза (ГГТ), ед/л	$43,35 \pm 2,4$	$37,18 \pm 0,52$	$34,4 \pm 3,0$
Триглицериды, ммоль/л	$0,35 \pm 0,06$	$0,36 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,01$
Липаза, ед/л	$19,0 \pm 0,7$	$20,0 \pm 0,5$	$19,0 \pm 0,1$

При определении активности ферментов отмечено, что концентрация АСТ в генотипе *PIT-1^{BB}* (109,6 ед/л) незначительно превышает значения в генотипах *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{AB}*. Показатель АЛТ также имел такую же тенденцию превосходства в генотипе *PIT-1^{BB}* (54,1 ед/л) над генотипами *PIT-1^{AA}* (53,4 ед/л) и *PIT-1^{AB}* (53,4 ед/л).

Концентрация лактатдегидрогеназы в генотипе *PIT-1^{BB}* (884 ед/л) статистически достоверно превышала значения в *PIT-1^{AB}* (819 ед/л) на 65 ед/л, и в *PIT-1^{AA}* (722 ед/л) на 162 ед/л ($p < 0,001$).

Содержание креатинкиназы у коров с генотипом *PIT-1^{BB}* (189,5 ед/л) также имела тенденцию превышения над *PIT-1^{AA}* (179,2 ед/л) и *PIT-1^{AB}* (177,4 ед/л).

Уровень щелочной фосфатазы у животных был в пределах нормы и составил в среднем 62,57 ед/л., незначительно выше в генотипе *PIT-1^{AA}* (63,7 ед/л).

Обнаружено незначительное отклонение от референсных значений показателя фермента амилазы, гидролизующего гликоген. Концентрация амилазы у животных с генотипом *PIT-1^{BB}* – 83,0 ед/л, *PIT-1^{AB}* – 79,6 ед/л и *PIT-1^{AA}* – 67,0 ед/л.

Концентрация липазы в генотипе *PIT-1^{AB}* ($20,0 \pm 0,5$ ед/л), превышает концентрации, определенных в генотипах *PIT-1^{AA/BB}* (19,0 ед/л) на 1,0 ед/л.

Активность фермента гамма-глутамилтранспептидазы, участвующего в обмене аминокислот, в генотипе *PIT-1^{AA}* (43,35 ед/л) достоверно превышала показатели животных с генотипами *PIT-1^{AB}* (37,18 ед/л) и *PIT-1^{BB}* (34,4 ед/л) на 6,17 и 8,95 ед/л соответственно ($p < 0,05$).

Значения коэффициентов вариации отражают разную степень фенотипической изменчивости содержания метаболитов независимо от генотипов: щелочной фосфатазы – от 14,7 до 20,0 %, АСТ – от 9,93 до 12,1 %, мочевины – от 23,4 до 24,9 %, кальция – от 11,9 до 13,3 %, креатинина – от 23,6 до 34,7 %, магния – от 14,5 до 19,9 %; фосфора – от 11,9 до 13,0

%, общего белка – от 8,46 до 9,23 %. Эти величины наряду с абсолютными значениями признака характеризуют популяции коров, разводимых в технологических и природо-климатических условиях Казахстана. Нельзя исключать влияния исследуемых генов на формирование изменчивости. Например, коэффициенты вариации концентрации АЛТ у животных с генотипами *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{AB}* составили 23,2 и 21,0 %, тогда как с генотипом *PIT-1^{BB}* – 10,5 %.

3.7 Морфологические показатели крови коров симментальской и красной степной пород с разными генотипами по *CSN3*, *BLG*, *PIT-1*

Кровь – это внутренняя среда для органов тела и тканей, которая даёт возможность оценить интенсивность обменных процессов, протекающих у животных разных генотипов. Морфологический состав крови, наряду с биохимическими показателями, напрямую могут воздействовать на уровень молочной продуктивности и физиологическое состояние животных [Отаров А. И. и др., 2022].

Изучены гематологические показатели коров с учетом их генотипической принадлежности. Исследования проведены на автоматическом гематологическом анализаторе MicroCC-20Vet (HTI, США) по комплексу параметров крови: абсолютное содержание лейкоцитов (WBC), гранулоциты (GRAN#, GRAN%), абсолютное содержание эритроцитов (RBC), ширина распределения эритроцитов (RDW-CV, RDW-SD), концентрация гемоглобина (HGB), гематокрит (HCT), эритроцитарные индексы (MCV, MCH, MCHC), абсолютное содержание тромбоцитов (PLT), средний объём тромбоцитов (MPV), тромбокрит (PCT), относительная ширина распределения тромбоцитов по объёму (PDW), лимфоциты (LYM#, LYM%), содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID#, MID%).

3.7.1 Морфологические показатели крови животных с разными генотипами по CSN3

В таблице 3.20 представлены морфологические показатели крови животных симментальской породы в зависимости от генотипа по гену CSN3. Статистически достоверные различия установлены по процентному содержанию гранулоцитов ($p < 0,05$) между животными с генотипом CSN3^{AA} (61,6 %) и CSN3^{BB} (51,8 %), между всеми тремя генотипами по ширине распределения эритроцитов ($p < 0,001$) и между CSN3^{AA} и CSN3^{AB} по проценту гематокрита ($p < 0,05$).

Таблица 3.20

Морфологические показатели крови коров симментальской породы разных генотипов по гену CSN3

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
Число лейкоцитов (WBC), $10^9/\text{л}$	AA	28	$9,23 \pm 0,443$	5,59	15,8	2,35	25,4
	AB	50	$9,52 \pm 0,369$	5,09	16,7	2,61	27,4
	BB	25	$9,35 \pm 0,42$	5,97	15,9	2,1	22,4
Число лимфоцитов (LYM), $10^9/\text{л}$	AA	28	$3,19 \pm 0,385$	1,27	9,82	2,04	63,8
	AB	50	$3,55 \pm 0,358$	1,13	14,7	2,53	71,3
	BB	25	$3,27 \pm 0,432$	0,6	9,24	2,16	66,0
Содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), $10^9/\text{л}$	AA	28	$0,438 \pm 0,044$	0,24	1,54	0,235	53,7
	AB	50	$0,434 \pm 0,018$	0,24	0,78	0,126	29,0
	BB	25	$0,648 \pm 0,021$	0,16	5,52	0,123	18,9
Число гранулоцитов (GRA), $10^9/\text{л}$	AA	28	$5,76 \pm 0,268$	3,74	9,82	1,42	24,6
	AB	50	$5,64 \pm 0,194$	3,05	8,9	1,37	24,4
	BB	25	$5,71 \pm 0,318$	3,09	9,66	1,59	27,9
Процент лимфоцитов (LYM), %	AA	28	$33,2 \pm 2,25$	14,1	68	11,9	35,9
	AB	50	$34,7 \pm 1,7$	11,5	74,1	12,1	34,7
	BB	25	$34,0 \pm 3,18$	13,4	68,1	15,9	46,8
Процент смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), %	AA	28	$4,46 \pm 0,134$	2,5	6,0	0,712	16,0
	AB	50	$4,62 \pm 0,109$	3,1	6,3	0,773	16,7
	BB	25	$4,61 \pm 0,149$	3,4	6,2	0,744	16,1
Процент гранулоцитов (GRA), %	AA	28	$61,6 \pm 1,73$	27,6	78,0	9,14	14,8
	AB	50	$57,6 \pm 1,39$	21,6	69,6	9,85	17,1
	BB	25	$51,8 \pm 3,25$	28,4	68,9	16,2	31,3
Число эритроцитов (RBC), $10^{12}/\text{л}$	AA	28	$6,07 \pm 0,086$	5,17	6,97	0,456	7,5
	AB	50	$5,93 \pm 0,097$	4,59	7,92	0,584	11,5
	BB	25	$6,0 \pm 0,097$	5,28	7,15	0,485	8,08
Концентрация гемоглобина	AA	28	$95,6 \pm 2,17$	78	120	11,5	12,0
	AB	50	$97,1 \pm 1,58$	70	135	11,2	11,5

(HGB), г/л	BB	25	100,2 ± 3,92	27	130	19,6	19,6
Средний объём эритроцитов (MCV), фл	AA	28	47,2 ± 0,633	36,9	53,2	3,35	7,1
	AB	50	46,6 ± 0,519	35,1	56,0	3,67	7,88
	BB	25	47,4 ± 0,742	41,2	54,7	3,71	7,82
Степень отклонения размера эритроцитов от нормального RDW-CV, %	AA	28	14,7 ± 0,123	13,7	16,9	0,652	4,45
	AB	50	14,6 ± 0,084	13,7	16,1	0,593	4,05
	BB	25	14,4 ± 0,109	13,4	15,1	0,545	3,79
Ширина распределения эритроцитов (RDW-SD), фл	AA	28	32,8 ± 0,399	28,7	36,4	2,11	6,44
	AB	50	34,6 ± 0,354	29,8	39,9	2,5	7,22
	BB	25	35,7 ± 0,559	30,5	41,8	2,79	7,82
Гематокрит (HCT), %	AA	28	28,7 ± 0,405	25,2	33,6	2,15	7,47
	AB	50	28,4 ± 0,237	24,6	34,3	1,67	5,89
	BB	25	29,5 ± 0,488	26,4	39,7	2,44	8,26
Число тромбоцитов (PLT), 10 ⁹ /л	AA	28	502,4 ± 15,9	347	684	84,2	16,8
	AB	50	508,5 ± 16,9	221	820	119,3	23,5
	BB	25	510,0 ± 19,2	294	775	95,9	18,8
Средний объём тромбоцитов (MPV), фл	AA	28	6,85 ± 0,058	6,4	7,5	0,305	4,45
	AB	50	6,81 ± 0,052	6,2	7,7	0,37	5,43
	BB	25	6,96 ± 0,071	6,3	7,7	0,355	5,09
Однородность размера тромбоцитов (PDW, фл)	AA	28	12,5 ± 0,352	10,0	18,4	1,86	14,9
	AB	50	12,5 ± 0,33	10,0	18,2	2,33	18,6
	BB	25	12,7 ± 0,42	10,0	17,6	2,1	16,5
Относительный объём тромбоцитов (PCT), %	AA	28	0,345 ± 0,012	0,24	0,48	0,062	18,1
	AB	50	0,349 ± 0,013	0,169	0,771	0,096	26,7
	BB	25	0,354 ± 0,013	0,207	0,529	0,065	18,4

При анализе гемограммы установлено, что количественное содержание гемоглобина и форменных элементов крови (лейкоциты, эритроциты, тромбоциты), а также эритроцитарный и тромбоцитарный индексы были в пределах физиологической нормы.

Представленная лейкограмма, оцениваемая по количеству лимфоцитов и проценту смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток в крови животных, также была в пределах физиологической нормы.

Количественное содержание форменных элементов крови эритроцитарного звена гемограммы, оцениваемого по индексам среднего объёма эритроцитов (MCV), показателя аницитоза эритроцитов (RDW-CV), было в пределах физиологической нормы. Гематокрит (процентное соотношение эритроцитов к общему объёму крови) также был в пределах нормы – 28,9 %. Установлено, что различия между процентным содержанием

гематокрита у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ (28,7 %) и $CSN3^{AB}$ (28,4 %) достоверно различаются ($p < 0,05$).

Количественное содержание форменных элементов крови тромбоцитарного звена гемограммы, оцениваемого по индексам распределения тромбоцитов по объему (RDW-SD), среднего объема тромбоцитов (MPV), однородности размера тромбоцитов (PDW), процентному содержанию тромбоцитов (PCT) в крови животных рассматриваемых генотипов были в пределах физиологической нормы. При этом, различия по RDW-SD между животными трех генотипов по гену $CSN3$ были достоверны при $p < 0,001$.

Независимо от генотипа животных симментальской породы по гену $CSN3$ важно отметить разную фенотипическую изменчивость (Cv) гематологических показателей: WBC – 22,4–27,4 %, LYM – 63,8–71,3 %, GRA – 24,4–27,9 %, LYM – 34,7–46,8 %, MID – 16,0–16,7 %, RBC – 7,5–11,5 %, HGB – 11,5–19,6 %, MCV – 7,1–7,9 %, RDW-CV – 3,8–4,5 %, PLT – 16,8–23,5 %, MPV – 4,5–5,4 %, PDW – 14,9–18,6 %, PCT – 18,1–26,7 %. Отмечена высокая изменчивость по количеству лимфоцитов, средняя – по количеству лейкоцитов, гранулоцитов и тромбоцитов, и низкая – по числу эритроцитов и концентрации гемоглобина. При этом, изменчивость в группах животных с разными генотипами может отличаться. Так, по проценту гранулоцитов у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ она – 14,8 %, тогда как у животных с генотипом $CSN3^{BB}$ – 31,3 %.

В таблице 3.21 представлены морфологические показатели крови коров красной степной породы. Статистически достоверные различия установлены между животными с генотипами $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ по GRA ($p < 0,05$), с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ по HGB ($p < 0,05$), $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ по RDW-SD ($p < 0,05$), $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ по HCT ($p < 0,05$).

Таблица 3.21

Морфологические показатели крови коров красной степной породы разных
генотипов по гену *CSN3*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
WBC, $\times 10^9$	AA	41	$9,07 \pm 0,319$	5,86	13,9	2,05	22,6
	AB	59	$9,68 \pm 0,29$	5,87	16,1	2,23	23
	BB	20	$8,98 \pm 0,44$	6,02	13,9	1,97	21,9
LYM, $\times 10^9$	AA	41	$3,09 \pm 0,254$	1,1	8,67	1,62	52,5
	AB	59	$3,77 \pm 0,275$	1,01	10,2	2,12	56,1
	BB	20	$3,27 \pm 0,41$	0,76	8,44	1,83	56,1
MID, $\times 10^9$	AA	41	$0,522 \pm 0,033$	0,27	1,5	0,212	40,6
	AB	59	$0,531 \pm 0,023$	0,25	1,09	0,177	33,3
	BB	20	$0,551 \pm 0,074$	0,33	1,76	0,332	60,2
GRA, $\times 10^9$	AA	41	$6,03 \pm 0,246$	3,3	9,51	1,57	26,1
	AB	59	$6,1 \pm 0,162$	3,58	10,2	1,24	20,4
	BB	20	$6,16 \pm 0,291$	4,08	8,72	1,3	21,1
LYM, %	AA	41	$29,8 \pm 1,71$	12,2	59	11	36,8
	AB	59	$32,7 \pm 1,52$	10	60,3	11,7	35,7
	BB	20	$30,8 \pm 2,65$	11,5	69,1	11,8	38,4
MID, %	AA	41	$5,42 \pm 0,138$	4	7,7	0,883	16,3
	AB	59	$5,24 \pm 0,124$	2,5	8,2	0,949	18,1
	BB	20	$5,22 \pm 0,171$	4	7,1	0,763	14,6
GRA, %	AA	41	$56,5 \pm 1,49$	26,8	75,2	9,55	20,1
	AB	59	$54,2 \pm 1,42$	28,9	74,1	10,9	18,4
	BB	20	$60,5 \pm 2,48$	25,7	83,9	11,1	11,7
RBC, $\times 10^{12}$	AA	41	$6,19 \pm 0,113$	4,6	8,7	0,725	11,7
	AB	59	$6,09 \pm 0,092$	4,22	7,7	0,709	11,7
	BB	20	$6,16 \pm 0,094$	5,43	7,03	0,421	6,8
HGB, г/л	AA	41	$115,6 \pm 2,98$	32	137	19,1	16,5
	AB	59	$106,5 \pm 1,64$	81	133	12,6	11,8
	BB	20	$103,9 \pm 2,46$	92	131	11	10,6
MCV, фл	AA	41	$45,2 \pm 1,2$	13,9	54,8	7,7	17
	AB	59	$46,4 \pm 0,415$	36,2	52,1	3,19	6,87
	BB	20	$44,3 \pm 1,57$	16,1	51,1	7	15,8
RDW-CV, %	AA	41	$15 \pm 0,1$	13,8	16,4	0,641	4,27
	AB	59	$15,2 \pm 0,095$	13,9	16,9	0,733	4,83
	BB	20	$15,1 \pm 0,216$	13,7	17,9	0,965	6,39
RDW-SD, фл	AA	41	$35 \pm 0,31$	25,4	38,3	1,99	5,68
	AB	59	$34 \pm 0,305$	29,1	39,9	2,34	6,88
	BB	20	$32,9 \pm 0,574$	29,1	38,5	2,57	7,82
HCT, %	AA	41	$29,8 \pm 0,368$	22,9	38,9	2,35	7,89
	AB	59	$28,8 \pm 0,199$	24,1	33,3	1,53	5,3
	BB	20	$28,1 \pm 0,314$	25,1	29,9	1,4	4,99
PLT, $\times 10^9$	AA	41	$563 \pm 29,5$	210	1462	189,1	33,6
	AB	59	$500,8 \pm 15,6$	236	808	119,8	23,9
	BB	20	$513,5 \pm 27,8$	269	810	124,2	24,2
MPV, фл	AA	41	$6,79 \pm 0,06$	5,2	7,3	0,385	5,67
	AB	59	$6,74 \pm 0,048$	5,8	7,5	0,372	5,52

	BB	20	6,82 ± 0,077	5,9	7,4	0,345	5,07
PDW, фл	AA	41	13,5 ± 0,307	10,7	19,2	1,97	14,5
	AB	59	13,5 ± 0,233	10,7	18	1,79	13,2
	BB	20	13,3 ± 0,445	10,7	17,3	1,99	15
PCT, %	AA	41	0,368 ± 0,02	0,144	0,992	0,127	34,5
	AB	59	0,339 ± 0,01	0,147	0,557	0,078	23,2
	BB	20	0,367 ± 0,014	0,256	0,533	0,063	17,1

Анализ гемограммы показал, что содержание гемоглобина (HGB) и форменных элементов крови (лейкоциты (WBC), эритроциты (RBC), тромбоциты (PLT), а также эритроцитарный и тромбоцитарный индексы были в пределах физиологической нормы. Отмечено, что HGB у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ (115,6) и $CSN3^{BB}$ (103,9) достоверно различались при $p < 0,05$.

Показатели лейкограммы были также в пределах физиологической нормы: LYM – $3,4 \times 10^9/\text{л}$, 31,1 %; MID – в среднем $0,54 \times 10^9/\text{л}$, 5,3 %. Содержание гранулоцитов (GRA) составило в среднем $6,1 \times 10^9/\text{л}$. При этом процент гранулоцитов (GRA) у животных с генотипом $CSN3^{AB}$ (54,2 %) ниже, чем с генотипом $CSN3^{BB}$ (60,5 %) при $p < 0,05$.

Количественное содержание форменных элементов эритроцитарного звена гемограммы было в пределах нормы: MCV – в среднем 45,3 фл, RDW-CV – в среднем 15,1 %. Показатель гематокрита (HCT) также был в пределах физиологической нормы и составил – 28,9 %. При этом установлены различия между HCT у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ (29,8 %) и $CSN3^{BB}$ (28,1 %) при $p < 0,05$.

Количественное содержание форменных элементов крови тромбоцитарного звена гемограммы было в пределах нормы: RDW-SD – в среднем 34,0 фл, MPV – 6,8 фл (верхняя граница нормы), PDW – 13,4 фл, PCT – в среднем 0,4 %. Различия между RDW-SD у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ (35 фл) и $CSN3^{AB}$ (34 фл) достоверны при $p < 0,05$.

Независимо от генетической принадлежности животных симментальской породы по гену $CSN3$ фенотипическая изменчивость (Cv) по

WBC была в пределах 21,9–22,3 %, LYM – 52,5–56,1 %, GRA – 20,4– 26,1 %, LYM (%) – 35,7–38,4 %, MID – 14,6–18,1 %, RBC – 7,5–11,5 %, MCV – 7,1–7,9 %, RDW-CV – 4,27–6,39 %, PLT – 23,9–33,6 %, MPV – 5,1–5,7 %, PDW – 13,2–15,0 %, PCT – 18,1–26,7 %. Уровни изменчивости гематологических показателей примерно такие же как у симменталов. При этом отметим разные коэффициенты вариации в генотипических группах животных. Так, показатель MID у животных с генотипом $CSN3^{AA}$ равен 40,6 %, тогда как у животных с генотипом $CSN3^{AB}$ – 33,3 %, а у животных с генотипом $CSN3^{BB}$ – 60,2 %. Коэффициенты вариации по показателю MCV у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ – на уровне 16,5 %, а с генотипом $CSN3^{AB}$ – 6,9 %; по PCT у генотипов $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ – соответственно 34,5 и 23,2 %, у генотипов $CSN3^{BB}$ – 17,1 %.

3.7.2 Морфологические показатели крови животных с разными генотипами по *BLG*

В таблице 3.22 представлены морфологические показатели крови животных симментальской породы. Достоверные различия установлены между животными с генотипом BLG^{AB} и BLG^{BB} по проценту лимфоцитов (LYM) при $p < 0,05$, показателю гематокрита (HCT) между животными с генотипом BLG^{AA} и BLG^{BB} при $p < 0,05$.

Таблица 3.22

Морфологические показатели крови коров симментальской породы разных генотипов по гену *BLG*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
WBC, $\times 10^9$	AA	14	$8,24 \pm 0,212$	7,29	9,85	0,791	9,6
	AB	58	$9,46 \pm 0,332$	3,78	16,7	2,53	26,8
	BB	44	$9,27 \pm 0,387$	5,76	16,6	2,57	27,7
LYM, $\times 10^9$	AA	14	$3,19 \pm 0,56$	0,6	9,81	2,1	65,7
	AB	58	$3,6 \pm 0,305$	1,09	14,7	2,32	64,4
	BB	44	$3,11 \pm 0,361$	1,13	12,8	2,39	77,1
MID, $\times 10^9$	AA	14	$0,401 \pm 0,038$	0,16	0,81	0,144	35,9
	AB	58	$0,43 \pm 0,017$	0,24	0,78	0,13	30,2
	BB	44	$0,451 \pm 0,031$	0,24	1,54	0,206	45,6

GRA, $\times 10^9$	AA	14	$5,35 \pm 0,404$	3,09	8,9	1,51	28,3
	AB	58	$5,52 \pm 0,169$	1,71	9,82	1,29	23,3
	BB	44	$5,88 \pm 0,232$	3,42	8,9	1,54	26,1
LYM, %	AA	14	$34,6 \pm 2,95$	15,5	56,6	11,0	31,9
	AB	58	$35,9 \pm 1,49$	13,4	68,1	11,3	31,5
	BB	44	$31,8 \pm 2,2$	11,5	74,1	14,6	45,9
MID, %	AA	14	$4,61 \pm 0,163$	3,8	5,9	0,608	13,2
	AB	58	$4,49 \pm 0,1$	2,5	6,5	0,758	16,9
	BB	44	$4,68 \pm 0,115$	3,1	6,2	0,76	16,2
GRA, %	AA	14	$57,3 \pm 2,0$	38,7	37,6	7,49	13,1
	AB	58	$57,2 \pm 1,44$	28,4	78,0	11,0	19,2
	BB	44	$59,4 \pm 1,73$	21,6	71,6	11,4	19,3
RBC, $\times 10^{12}$	AA	14	$6,19 \pm 0,126$	5,32	7,15	0,472	7,63
	AB	58	$5,9 \pm 0,069$	4,91	7,18	0,524	8,88
	BB	44	$5,96 \pm 0,096$	4,59	7,92	0,635	10,7
HGB, г/л	AA	14	$96,3 \pm 2,44$	78,0	117,0	9,13	9,48
	AB	58	$95,8 \pm 1,39$	70,0	130,0	10,6	11,0
	BB	44	$96,4 \pm 2,54$	27,0	135,0	13,8	17,5
MCV, фл	AA	14	$46,8 \pm 0,875$	42,7	53,4	3,28	7,0
	AB	58	$46,5 \pm 0,459$	35,1	53,2	3,49	7,52
	BB	44	$47,9 \pm 0,564$	36,7	56,0	3,74	7,8
RDW-CV, %	AA	14	$14,3 \pm 0,127$	13,7	15,3	0,474	3,3
	AB	58	$14,6 \pm 0,075$	13,7	16,9	0,573	3,93
	BB	44	$14,7 \pm 0,09$	13,4	16,1	0,599	4,09
RDW-SD, фл	AA	14	$34,6 \pm 0,933$	29,5	39,9	3,49	10,0
	AB	58	$34,1 \pm 0,37$	28,7	41,8	2,82	8,25
	BB	44	$33,9 \pm 0,358$	28,9	39,8	2,38	7,01
HCT, %	AA	14	$29,8 \pm 0,539$	27,2	33,9	2,02	6,77
	AB	58	$28,2 \pm 0,23$	24,6	34,3	1,75	6,2
	BB	44	$28,8 \pm 0,37$	23,7	39,7	2,45	8,51
PLT, $\times 10^9$	AA	14	$468,9 \pm 24,6$	302,0	598,0	91,9	19,6
	AB	58	$517,7 \pm 15,4$	221,0	820,0	117,5	22,7
	BB	44	$501,7 \pm 12,8$	242	673,0	85,1	17,0
MPV, фл	AA	14	$6,84 \pm 0,125$	6,3	8,1	0,467	6,82
	AB	58	$6,8 \pm 0,046$	6,2	7,7	0,352	5,18
	BB	44	$6,97 \pm 0,053$	6,3	7,7	0,352	5,05
PDW, фл	AA	14	$13,1 \pm 0,635$	10,7	18,5	2,38	18,2
	AB	58	$12,3 \pm 0,257$	10,0	17,9	1,96	15,9
	BB	44	$12,9 \pm 0,356$	10,0	18,4	2,36	18,3
PCT, %	AA	14	$0,318 \pm 0,014$	0,24	0,407	0,053	16,8
	AB	58	$0,354 \pm 0,012$	0,168	0,771	0,092	25,9
	BB	44	$0,349 \pm 0,009$	0,187	0,434	0,059	16,9

Анализ гемограммы показал, что в крови животных количественное содержание гемоглобина (HGB) и форменных элементов (лейкоциты, эритроциты, тромбоциты), а также эритроцитарный и тромбоцитарный индексы были в пределах физиологической нормы. При этом, количество

лейкоцитов и тромбоцитов у коров с гетерозиготным генотипом (BLG^{AB}) незначительно превышало гомозиготных животных.

Показатели лейкограммы также были в пределах физиологической нормы. При этом, процентное содержание лимфоцитов у животных с генотипом BLG^{AB} было выше по сравнению с BLG^{BB} (35,9 против 31,8) при $p < 0,05$. Содержание гранулоцитов (GRA) в лейкоцитарной формуле крови составило в среднем $5,6 \times 10^9/\text{л}$ или 58 %.

Содержание форменных элементов эритроцитарного звена гемограммы в крови животных рассматриваемых генотипов было в пределах физиологической нормы: MCV – в среднем 47,0 фл, RDW-CV – в среднем 14,5 %, HCT – 28,9 %. При этом, значение гематокрита у животных с генотипом BLG^{AA} было достоверно выше (29,8 %) по сравнению с гетерозиготами (28,2 %) при $p < 0,05$.

Анализ тромбоцитарного звена гемограммы свидетельствует, что показатели RDW-SD (34,2 фл), MPV (6,9 фл), PDW (12,8 фл), PCT (0,34 %) были в границах физиологической нормы. При этом, наблюдается тенденция превышения однородности размера тромбоцитов (PDW) у гомозигот (13,0 фл) над гетерозиготами (12,3 фл).

Результаты исследования показывают, что существенных различий по количеству эритроцитов, тромбоцитов, содержанию гемоглобина, эритроцитарным и тромбоцитарным индексам крови животных симментальской породы разных генотипов по гену BLG не установлено.

Важным элементом комплексного анализа интерьерных показателей животных является расчет фенотипической изменчивости. Из данных таблицы 3.22 видно, что изменчивость между некоторыми показателями существенно отличается, но различий между генотипическими группами животных нет, за исключением количества лейкоцитов в крови (WBC), коэффициент вариации у животных с генотипом BLG^{AA} – 9,6 %, тогда как у животных с другими генотипами около 27,0 %.

В таблице 3.23 представлена гематология животных красной степной

породы. Статистически достоверные различия ($p < 0,05$) установлены между животными с генотипами BLG^{AB} и BLG^{BB} по значениям среднего объёма эритроцитов (MCV), между гомозиготными генотипами по однородности размера тромбоцитов (PDW).

Анализ гемограммы показал, что содержание гемоглобина, форменных элементов крови, эритроцитарный и тромбоцитарный индексы в крови животных красной степной породы были в пределах физиологической нормы.

Количество лейкоцитов (WBC), эритроцитов (RBC) и тромбоцитов (PLT) согласно данным таблицы также находилось в допустимых пределах нормы.

Таблица 3.23

Морфологические показатели крови коров красной степной породы разных генотипов по гену BLG

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
WBC, $\times 10^9$	AA	12	$10,3 \pm 0,714$	6,03	14,6	2,47	24
	AB	50	$9,37 \pm 0,278$	5,87	14,2	1,96	21
	BB	36	$9,23 \pm 0,378$	6,17	16,1	2,27	24,6
LYM, $\times 10^9$	AA	12	$4,48 \pm 0,693$	1,63	8,99	2,4	53,5
	AB	50	$3,44 \pm 0,291$	1,01	10,2	2,06	59,9
	BB	36	$3,17 \pm 0,246$	0,72	8,62	1,48	46,5
MID, $\times 10^9$	AA	12	$0,632 \pm 0,098$	0,27	1,5	0,34	53,9
	AB	50	$0,542 \pm 0,036$	0,25	1,76	0,255	47
	BB	36	$0,49 \pm 0,021$	0,28	0,87	0,127	25,9
GRA, $\times 10^9$	AA	12	$6,36 \pm 0,356$	4,1	8,14	1,23	19,4
	AB	50	$6,39 \pm 0,199$	3,81	10,2	1,41	22,1
	BB	36	$5,73 \pm 0,194$	3,3	8,2	1,17	20,4
LYM, %	AA	12	$34,5 \pm 3,61$	12,6	59	12,5	36,3
	AB	50	$30,3 \pm 1,86$	10	69,1	13,1	43,3
	BB	36	$31,6 \pm 1,44$	17,5	59,1	8,66	27,4
MID, %	AA	12	$5,28 \pm 0,293$	4	4,8	1,02	19,3
	AB	50	$5,17 \pm 0,114$	4,3	4,6	0,804	15,5
	BB	36	$5,41 \pm 0,142$	3,1	4,74	0,85	15,7
GRA, %	AA	12	$51,4 \pm 4,09$	26,8	68,9	14,2	27,6
	AB	50	$57 \pm 1,62$	25,7	83,9	11,4	20
	BB	36	$56,6 \pm 1,44$	32,8	69,3	8,64	15,2
RBC, $\times 10^{12}$	AA	12	$6,36 \pm 0,126$	5,28	6,9	0,435	6,85
	AB	50	$6,11 \pm 0,101$	4,22	7,7	0,714	11,7
	BB	36	$6,06 \pm 0,102$	5,1	7,54	0,612	10,1

HGB, г/л	AA	12	109,9 ± 4,09	93	131	14,2	12,9
	AB	50	106,5 ± 2,38	32	132	16,8	15,8
	BB	36	107,6 ± 2,47	81	137	14,8	13,8
MCV, фл	AA	12	47,3 ± 0,876	43,8	53,5	3,04	6,42
	AB	50	46,5 ± 0,496	35,2	52,1	3,5	7,53
	BB	36	43,9 ± 1,25	13,9	51,8	7,52	17,1
RDW-CV, %	AA	12	15,3 ± 0,293	14,4	17,9	1,01	6,62
	AB	50	15,1 ± 0,097	13,9	16,4	0,688	4,56
	BB	36	14,9 ± 0,119	13,7	16,5	0,716	4,8
RDW-SD, фл	AA	12	34,6 ± 0,317	32,2	35,8	1,1	3,18
	AB	50	33,7 ± 0,363	25,4	39,8	2,57	7,62
	BB	36	33,9 ± 0,431	29,1	39,9	2,58	7,62
HCT, %	AA	12	29,0 ± 0,336	26,7	30,8	1,16	4,01
	AB	50	29,0 ± 0,259	22,9	33,8	1,83	6,32
	BB	36	28,7 ± 0,303	25,1	34,7	1,82	6,34
PLT, x10 ⁹	AA	12	496,9 ± 36,6	325	744	126,7	25,5
	AB	50	494,5 ± 19,2	210	858	135,6	27,4
	BB	36	540,2 ± 17,5	269	810	105	19,4
MPV, фл	AA	12	6,97 ± 0,087	6,5	7,5	0,303	4,34
	AB	50	6,81 ± 0,043	5,9	7,5	0,307	4,51
	BB	36	6,75 ± 0,07	5,2	7,3	0,417	6,18
PDW, фл	AA	12	14,9 ± 0,556	13	18	1,93	13
	AB	50	13,7 ± 0,298	10,9	19,2	2,11	15,4
	BB	36	13,2 ± 0,255	10,7	17,3	1,53	11,6
PCT, %	AA	12	0,346 ± 0,024	0,233	0,534	0,083	23,9
	AB	50	0,334 ± 0,011	0,144	0,584	0,081	24,2
	BB	36	0,362 ± 0,012	0,247	0,557	0,069	19,1

Наблюдается тенденция превышения WBC и RBC у коров с генотипом *BLG^{AA}*. Показатель PLT, напротив, был выше у животных с генотипом *BLG^{BB}*.

Количественное содержание форменных элементов лейкограммы в пределах физиологической нормы: количество лимфоцитов (LYM) – от 3,17 до 4,48×10⁹/л; LYM – от 30,3 до 34,5 %; содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID) – от 0,49 до 0,632×10⁹/л; MID – в среднем 5,29 %. Отмечено, что по количеству лимфоцитов (LYM) животные с генотипом *BLG^{AA}* (4,48×10⁹/л) незначительно превосходят показатели в вариантах *BLG^{AB}* (3,44 ×10⁹/л) и *BLG^{BB}* (3,17 ×10⁹/л). Количество MID у коров с генотипом *BLG^{AA}* (0,632 × 10⁹/л) также статистически недостоверно выше, чем у *BLG^{AB}* (0,542 ×10⁹/л) и *BLG^{BB}* (0,49 ×10⁹/л).

Число гранулоцитов (GRA) в лейкоцитарной формуле крови имело тенденцию преимущества у высокопродуктивных коров с генотипами BLG^{AA} и BLG^{AB} над показателем генотипа BLG^{BB} в среднем на $44,5 \times 10^9/\text{л}$.

Гемограмма крови коров красной степной породы по содержанию форменных элементов эритроцитарного звена соответствовала физиологической норме: средний объём эритроцитов (MCV) – в среднем 45,9 фл, степень отклонения размера эритроцитов от нормального (RDW-CV) – в среднем 15,1 %. Отмечено, что значения MCV у животных с генотипом BLG^{AB} (46,5 фл) и генотипом BLG^{BB} (43,9 фл) достоверно различаются ($p < 0,05$). Гематокрит (HCT) у исследуемых животных был в пределах нормы – 29,0 %.

Тромбоцитарное звено гемограммы описано следующим образом: ширина распределения эритроцитов (RDW-SD) – в среднем 34,06 фл, средний объём тромбоцитов (MPV) – 6,84 фл (верхняя граница нормы), относительный объём тромбоцитов (PCT) – в среднем 0,35 %. Достоверные различия установлены по однородности размера тромбоцитов (PDW) между животными с генотипом BLG^{AA} (14,9 фл) и BLG^{BB} (13,2 фл) при $p < 0,05$.

Характеризуя интерьерные показатели животных красной степной породы независимо от генотипа по гену BLG приведем их фенотипическую изменчивость (Cv): WBC – 21,0–24,6 %, LYM – 46,5–59,9 %, MID – 15,5–19,3 %, GRA – 19,4–22,1 %, GRA – 15,2–27,6 %, RBC – 6,85–11,7 %, HGB – 12,9–15,8 %, RDW-CV – 4,6–6,6 %, HCT – 4,0–6,3 %, PLT – 19,4–27,4 %, MPV – 4,3–6,2 %, PCT – 19,1–24,2 %. Отмечаем разную степень вариабельности показателей, которую нужно учитывать при оценке влияния полиморфизмов на признаки. В частности, коэффициент вариации по MID ($\times 10^9/\text{л}$) у животных с генотипами BLG^{AA} и BLG^{AB} – 53,9 и 47,0 %, тогда как у животных с генотипом BLG^{BB} – 25,9 %, по RDW-SD (фл) с генотипами BLG^{AB} и BLG^{BB} – 7,6 %, а с BLG^{AA} – 3,2 %. Возможно, генотипы влияют на величину признака и показатели изменчивости.

3.7.3 Морфологические показатели крови животных с разными генотипами по *PIT-1*

В таблице 3.24 представлены морфологические показатели крови животных симментальской породы с учетом генотипов по гену *PIT-1*. Установлены различия по концентрации гемоглобина (HGB) между животными с генотипами *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{BB}* ($p < 0,05$), по другим показателям различия статистически не подтверждены. В целом показатели гемограммы (содержание гемоглобина, лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов, эритроцитарный и тромбоцитарный индекс) у животных находятся в границах физиологической нормы.

Таблица 3.24

Морфологические показатели крови коров симментальской породы разных генотипов по гену *PIT-1*

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
WBC, $\times 10^9$	AA	14	$9,52 \pm 0,636$	6,2	16,6	2,38	25,0
	AB	27	$9,79 \pm 0,519$	5,95	15,9	2,7	27,6
	BB	18	$8,89 \pm 0,629$	3,78	15,8	2,67	30,0
LYM, $\times 10^9$	AA	14	$2,73 \pm 0,273$	1,13	5,31	1,02	37,4
	AB	27	$3,93 \pm 0,54$	1,09	12,8	2,8	71,3
	BB	18	$3,51 \pm 0,64$	0,6	9,82	2,71	77,3
MID, $\times 10^9$	AA	14	$0,449 \pm 0,026$	0,29	0,64	0,097	21,6
	AB	27	$0,474 \pm 0,027$	0,32	1,84	0,14	29,6
	BB	18	$0,541 \pm 0,086$	0,25	1,76	0,22	40,6
GRA, $\times 10^9$	AA	14	$6,16 \pm 0,372$	3,42	8,9	1,39	22,6
	AB	27	$5,6 \pm 0,253$	3,61	8,77	1,31	23,4
	BB	18	$5,39 \pm 0,48$	1,71	9,66	2,04	37,8
LYM, %	AA	14	$30,0 \pm 2,45$	11,5	46,4	9,15	30,5
	AB	27	$37,2 \pm 3,05$	13,4	74,1	15,9	42,6
	BB	18	$35,6 \pm 3,56$	13,9	68,1	15,1	42,4
MID, %	AA	14	$4,89 \pm 0,194$	3,7	6,0	0,724	14,8
	AB	27	$4,78 \pm 0,131$	3,5	6,0	0,678	14,2
	BB	18	$4,56 \pm 0,192$	3,5	6,5	0,813	17,8
GRA, %	AA	14	$62,0 \pm 2,18$	45,8	71,6	8,15	13,2
	AB	27	$52,6 \pm 2,64$	21,6	68,8	13,7	26,1
	BB	18	$55,1 \pm 3,83$	28,4	68,2	16,2	29,5
RBC, $\times 10^{12}$	AA	14	$5,93 \pm 0,116$	5,22	6,65	0,436	7,35

	AB	27	6,08 ± 0,124	4,83	7,92	0,644	10,6
	BB	18	6,21 ± 0,128	5,28	7,15	0,544	8,76
HGB, г/л	AA	14	96,5 ± 4,44	70,0	130,0	16,6	17,2
	AB	27	101,7 ± 2,05	88,0	135,0	10,6	10,5
	BB	18	95,7 ± 2,58	78,0	130	11,0	11,4
MCV, фл	AA	14	48,1 ± 0,687	44,3	54,5	2,57	5,34
	AB	27	47,0 ± 0,801	35,1	54,1	4,16	8,86
	BB	18	46,7 ± 1,05	36,9	53,4	4,46	9,55
RDW-CV, %	AA	14	14,5 ± 0,134	13,8	15,4	0,502	3,47
	AB	27	14,6 ± 0,091	13,8	15,5	0,471	3,23
	BB	18	14,7 ± 0,153	13,4	15,8	0,647	4,41
RDW-SD, фл	AA	14	33,8 ± 0,399	31,3	35,8	1,49	4,42
	AB	27	33,7 ± 0,461	25,4	39,8	2,39	7,1
	BB	18	34,1 ± 0,873	28,7	41,8	3,7	10,9
HCT, %	AA	14	29,6 ± 0,908	26,1	39,7	3,4	11,5
	AB	27	28,4 ± 0,272	24,6	31,1	1,41	4,97
	BB	18	28,8 ± 0,546	24,6	33,6	2,32	8,06
PLT, ×10 ⁹	AA	14	492,4 ± 30,6	221	650	114,6	23,3
	AB	27	472,4 ± 16,8	242	632	87,5	18,5
	BB	18	529,8 ± 26,3	302	714	111,4	21,0
MPV, фл	AA	14	7,03 ± 0,1	6,4	7,6	0,373	5,31
	AB	27	6,89 ± 0,082	6,2	7,7	0,424	6,15
	BB	18	6,89 ± 0,11	6,4	8,1	0,465	6,75
PDW, фл	AA	14	13,0 ± 0,711	10,0	18,4	2,66	20,5
	AB	27	13,0 ± 0,426	10,0	18,2	2,21	17,0
	BB	18	13,0 ± 0,58	10,0	18,5	2,46	18,9
PCT, %	AA	14	0,341 ± 0,02	0,169	0,433	0,073	21,5
	AB	27	0,324 ± 0,011	0,187	0,434	0,058	17,9
	BB	18	0,366 ± 0,017	0,24	0,482	0,072	19,8

Концентрация гемоглобина у гетерозиготных животных (101,7 г/л) была выше, чем у коров с генотипом *PIT-1^{BB}* (95,7 г/л) на 6,0 г/л ($p < 0,05$). При этом наблюдается тенденция превышения концентрации тромбоцитов (PLT) в крови коров с *PIT-1^{BB}* (529,8 × 10⁹/л) над показателями других групп.

Содержание форменных элементов крови лейкограммы в крови животных с разными генотипами по гену *PIT-1* было в пределах физиологической нормы: LYM – от 2,73 до 3,93 × 10⁹/л; MID – от 0,4 до 0,7 × 10⁹/л. Содержание гранулоцитов (GRA) в лейкоцитарной формуле крови составило в среднем 5,72 × 10⁹/л. Отмечена тенденция превышения количества гранулоцитов в крови коров с генотипом *PIT-1^{AA}* (6,16 × 10⁹/л) над значениями других групп в среднем на 0,66 × 10⁹/л.

Показатели эритроцитарного звена гемограммы в норме: MCV – в среднем 47,2 фл, RDW-CV – в среднем 14,6 %. Гематокрит (HCT) также был в пределах физиологической нормы – 28,9 %. Средний объём эритроцитов (MCV) в крови коров с *PIT-1^{AA}* (48,1 фл) статистически недостоверно превышает показатели гетерозигот (46,7 фл).

Показатели тромбоцитарного звена в пределах физиологической нормы: RDW-SD – в среднем 33,9 фл, MPV – 6,9 фл (верхняя граница нормы), PDW – 13,0 фл, PCT – в среднем 0,3 %.

Установлены уровни фенотипической изменчивости (Cv) показателей у коров симментальской породы: WBC – 25,0–30,0 %, MID – 14,2–17,8 %, GRA – 22,6–37,8 %, RBC – 7,4–10,6 %, HGB – 10,5–17,2 %, RDW-CV – 3,2–4,4 %, PLT – 18,5–23,3 %, MPV – 5,3–6,8 %, PCT – 17,9–21,5 %. Отметим разную степень вариабельности с учетом генотипов. Например, коэффициент вариации LYM у животных с генотипами *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{BB}* на уровне 75,0 %, тогда как у животных с генотипом *PIT-1^{AA}* в 2 раза ниже (37,4 %). Cv GRA (%) у животных с генотипами *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{BB}* на уровне 28,0 %, а у животных с генотипом *PIT-1^{AA}* – 13,2 %.

В таблице 3.25 представлены морфологические показатели крови коров красной степной породы. Статистически достоверных различий между животными разных генотипов по основным морфологическим показателям, за исключением показателя однородности размера тромбоцитов (PDW, фл) у генотипов *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{BB}* ($p < 0,05$), не установлено.

Таблица 3.25

Морфологические показатели крови коров красной степной породы разных генотипов по гену *PIT-1*

Показатель	Генотип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
WBC, $\times 10^9$	AA	11	$9,2 \pm 0,558$	6,17	11,8	1,85	20,1
	AB	52	$9,29 \pm 0,319$	5,86	16,1	2,3	24,8
	BB	57	$9,44 \pm 0,272$	5,87	15,1	2,06	21,8
LYM, $\times 10^9$	AA	11	$3,38 \pm 0,654$	1,1	8,99	2,17	64,1
	AB	52	$3,34 \pm 0,275$	1,23	10,2	1,98	59,4
	BB	57	$3,58 \pm 0,245$	0,01	8,67	1,85	51,8

MID, $\times 10^9$	AA	11	$0,495 \pm 0,045$	0,3	0,73	0,148	29,9
	AB	52	$0,527 \pm 0,032$	0,27	1,76	0,228	43,3
	BB	57	$0,541 \pm 0,03$	0,25	1,5	0,224	41,4
GRA, $\times 10^9$	AA	11	$6,07 \pm 0,451$	3,81	8,14	1,5	24,7
	AB	52	$6,13 \pm 0,185$	4,06	9,51	1,34	21,8
	BB	57	$6,05 \pm 0,184$	3,3	10,2	1,39	22,9
LYM, %	AA	11	$30,2 \pm 2,91$	12,2	47,3	9,64	31,9
	AB	52	$30,7 \pm 1,59$	12,5	69,1	11,5	37,3
	BB	57	$32,3 \pm 1,57$	10,0	59,1	11,9	36,8
MID, %	AA	11	$5,03 \pm 0,2$	4,1	6,3	0,665	13,2
	AB	52	$5,34 \pm 0,141$	4,0	7,2	0,728	13,6
	BB	57	$5,32 \pm 0,142$	2,5	8,2	1,06	20,0
GRA, %	AA	11	$53,8 \pm 3,72$	28,9	68,9	12,3	23,0
	AB	52	$57,6 \pm 1,39$	25,7	75,2	10,0	17,4
	BB	57	$55,0 \pm 1,43$	26,8	83,9	10,8	19,7
RBC, $\times 10^{12}$	AA	11	$5,93 \pm 0,249$	4,22	1,06	0,827	13,9
	AB	52	$6,19 \pm 0,096$	5,1	8,7	0,695	11,2
	BB	57	$6,12 \pm 0,083$	4,6	7,7	0,623	10,2
HGB, г/л	AA	11	$106,3 \pm 4,39$	92,0	132,0	14,6	13,7
	AB	52	$109,7 \pm 1,91$	81,0	135,0	13,8	12,5
	BB	57	$109,3 \pm 2,29$	32,0	137	17,3	15,9
MCV, фл	AA	11	$42,8 \pm 3,01$	13,9	50,8	9,99	23,3
	AB	52	$45,2 \pm 0,949$	16,1	54,8	6,85	15,2
	BB	57	$46,6 \pm 0,363$	41,6	52,1	2,74	5,87
RDW-CV, %	AA	11	$14,8 \pm 0,168$	14,3	15,9	0,56	3,77
	AB	52	$15,1 \pm 0,119$	13,7	17,9	0,86	5,65
	BB	57	$15,1 \pm 0,088$	13,8	16,5	0,66	4,38
RDW-SD, фл	AA	11	$34,3 \pm 0,812$	30,1	39,9	2,69	7,85
	AB	52	$34,1 \pm 0,344$	25,4	39,8	2,48	7,28
	BB	57	$34,2 \pm 0,294$	29,1	38,5	2,2	6,5
HCT, %	AA	11	$29,2 \pm 0,803$	25,1	34,7	2,66	9,12
	AB	52	$28,9 \pm 0,282$	22,9	38,9	2,03	7,03
	BB	57	$29,1 \pm 0,223$	24,1	33,8	1,68	5,78
PLT, $\times 10^9$	AA	11	$491,8 \pm 54,1$	236	808	179,4	36,5
	AB	52	$546,9 \pm 24,5$	269	1462	176,4	32,3
	BB	57	$509,7 \pm 14,7$	210	810	111,2	21,8
MPV, фл	AA	11	$6,97 \pm 0,083$	6,6	7,5	0,276	3,96
	AB	52	$6,75 \pm 0,055$	5,2	7,3	0,397	5,88
	BB	57	$6,75 \pm 0,047$	5,9	7,5	0,355	5,25
PDW, фл	AA	11	$14,6 \pm 0,586$	12	18	1,98	13,6
	AB	52	$13,0 \pm 0,243$	10,7	17,7	1,75	13,5
	BB	57	$13,7 \pm 0,247$	10,7	19,2	1,87	13,6
PCT, %	AA	11	$0,346 \pm 0,037$	0,169	0,557	0,124	35,9
	AB	52	$0,362 \pm 0,016$	0,191	0,992	0,112	31
	BB	57	$0,347 \pm 0,01$	0,144	0,533	0,074	21,2

Анализ гемограммы показал, что содержание гемоглобина, форменных элементов крови, эритроцитарный и тромбоцитарный индексы в крови животных находятся в пределах физиологической нормы.

Количество лейкоцитов (WBC) – в границах нормального показателя от 9,2 до $9,44 \times 10^9/\text{л}$, эритроцитов (RBC) – на уровне $6,1 \times 10^{12}/\text{л}$, тромбоцитов (PLT) – в пределах $491,8\text{--}546,9 \times 10^9/\text{л}$. Отмечена тенденция превышения количества тромбоцитов (PLT) у гетерозиготных животных по отношению к другим группам генотипов. Уровень гемоглобина (HGB) между животными разных генотипов статистически достоверно не различался и составлял в среднем 108,4 г/л.

Лейкограммы в целом также соответствовали нормативным значениям: количество лимфоцитов (LYM) – на уровне $3,4 \times 10^9/\text{л}$; содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID) – в пределах $0,495\text{--}0,541 \times 10^9/\text{л}$; число гранулоцитов (GRA) – $6,1 \times 10^9/\text{л}$.

Гемограмма животных была в пределах нормативных значений: средний объём эритроцитов (MCV) – 44,9 фл, степень отклонения размера эритроцитов от нормального (RDW-CV) – 15,0 %. Отмечено, что MCV имел тенденцию преимущества в крови коров с генотипом *PIT-1^{BB}* (46,6 фл). Гематокрит (HCT) находится на нижней границе физиологической нормы – 29,0 %.

Количественное содержание форменных элементов крови тромбоцитарного звена гемограммы в крови животных было в пределах физиологической нормы: RDW-SD – в среднем 34,2 фл, MPV – 6,8 фл (верхняя граница нормы), PDW – 13,8 фл, относительный объём тромбоцитов (PCT) – в среднем 0,35 %. Отмечено, что однородность размера тромбоцитов (PDW) у животных с генотипом *PIT-1^{AB}* (13,0 фл) и *PIT-1^{BB}* (13,7 фл) достоверно различается ($p < 0,05$).

Расчет коэффициентов вариации (Cv) морфологических показателей крови коров красной степной породы позволяет оценить относительную

степень изменчивости признаков: высокую (более 40 %) – по LYM; среднюю (от 20 до 40 %) – по WBC, MID, PLT, GRA; низкую (менее 20 %) – RBC, HGB, RDW-SD, MCV, RDW. Стоит отметить, что значения между группами животных разных пород не существенно различаются.

Материалы глав 3.6, 3.7 получены автором лично. Анализ и интерпретация результатов выполнены в соавторстве и частично опубликованы в следующих работах:

1 Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н., Себежско О.И. Биохимические показатели у коров красной степной породы Павлодарской области Казахстана. – Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы. Сборник статей по материалам II Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию академика В.Г. Рядчикова. Краснодар, 2024. С. 381–387.

2 Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н. Биохимические и гематологические характеристики крови коров красной степной породы Павлодарской области Казахстана. № 3 – Москва: Ветеринария, зоотехния и биотехнология – 2024. – С. 52–63.

3. Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н. Идентификация генов, ассоциированных с молочной продуктивностью коров симментальской и красной степной пород Казахстана – Новосибирск: Вестник НГАУ – 2025. № 1 – С. 142–150.

3.8 Анализ показателей стрессоустойчивости коров симментальской и красной степной пород разных генотипов по генам *CSN3*, *BLG*, *PIT-1*

Известно, что животные обладают разной устойчивостью к стрессам. Существует метод классификации животных по стрессоустойчивости по уровню в крови адренокортикотропного гормона (АКТГ) и кортизола. АКТГ синтезируется в гипофизе и регулирует функцию коры надпочечников,

стимулируя выработку глюкокортикостероидов, к которым относится кортизол. Последний повышает уровень глюкозы в крови, усиливает распад жиров и белков, поддерживая высокий уровень энергии во время стресса. В нашей работе мы определяли концентрацию этих гормонов с учетом генотипической принадлежности коров и степени стрессоустойчивости. Результаты исследования представлены в таблице 3.26.

Было установлено, что у животных симментальской породы с генотипом $CSN3^{BB}$ уровень кортизола составил 64,4 нмоль/л, что меньше по сравнению с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ на 217,2 и 37,0 нмоль/л соответственно. Содержание кортизола у генотипов $CSN3^{AA}$ (281,6 нмоль/л) и $CSN3^{AB}$ (101,4 нмоль/л) достоверно различались ($p < 0,05$).

Уровень АКТГ у коров с генотипом $CSN3^{BB}$ (39,7 пг/мл) также уступал показателям генотипов $CSN3^{AA}$ (89,6 пг/мл) и $CSN3^{AB}$ (46,3 пг/мл) на 50 и 6,6 пг/мл соответственно. Различия по уровню АКТГ у симменталов с генотипами $CSN3^{AA}$ (89,6 пг/мл) и $CSN3^{AB}$ (46,3 пг/мл) достоверны при $p < 0,05$.

Таблица 3.26

Концентрации гормонов в крови коров симментальской породы по полиморфным генотипам генов $CSN3$, BLG , $PIT-1$

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	лимиты		SD (δ)	Cv
				min	max		
CSN3							
АКТГ, пг/мл	AA	28	89,6 ± 8,13	16,0	205,2	43,0	48,0
	AB	50	46,3 ± 2,74	14,3	111,6	19,3	41,8
	BB	25	39,7 ± 3,3	13,2	70,5	16,5	41,6
Кортизол, нмоль/л	AA	28	281,6 ± 35,7	63,1	785,8	189	67,1
	AB	50	101,4 ± 8,63	24,0	439,6	61,0	60,2
	BB	25	64,4 ± 3,78	36,7	110,0	18,9	29,3
BLG							
АКТГ, пг/мл	AA	14	56,3 ± 13,1	13,2	205,2	49,0	87,1
	AB	58	59,9 ± 4,42	16,0	187,6	33,7	56,3
	BB	44	51,6 ± 4,32	14,3	159,4	28,7	55,6
Кортизол, нмоль/л	AA	14	170,6 ± 54,1	24,0	785,8	142,6	83,6
	AB	58	151,6 ± 16,7	36,7	667,3	127,1	83,8
	BB	44	135,1 ± 21,7	37,8	760,5	103,5	76,6

<i>PIT-1</i>							
АКТГ, пг/мл	AA	14	49,3 ± 5,65	21,0	91,7	21,2	42,9
	AB	27	55,3 ± 6,94	22,0	205,2	36,1	65,1
	BB	18	55,6 ± 8,15	13,2	138,8	34,6	62,2
Кортизол, нмоль/л	AA	14	113,2 ± 17,8	46,5	294,7	66,6	58,9
	AB	27	136,5 ± 29,0	37,8	785,8	111,1	81,4
	BB	18	156,1 ± 38,8	36,7	667,3	102,2	65,5

Уровень кортизола у коров с генотипов BLG^{BB} (135,1 нмоль/л) меньше показателей генотипов BLG^{AA} и BLG^{AB} на 35,5 и 16,5 нмоль/л соответственно. Эти различия статистически недостоверны, поэтому отмечаем их на уровне тенденций. Содержание АКТГ у симменталов с разными генотипами по BLG не отличалось и в среднем составило 56,0 пг/мл. Стоит отметить высокую фенотипическую изменчивость показателей гормонов, что характерно для биологически активных веществ, которые контролируют и регулируют все процессы в организме.

Статистически достоверных различий между животными разных генотипов по гену $PIT-1$ симментальской породы по показателям кортизола и АКТГ не установлено. При этом следует отметить максимальные концентрации кортизола у носителей аллеля В – гетерозигот $PIT-1^{AB}$ (136,5 нмоль/л), $PIT-1^{BB}$ (156,1 нмоль/л), что соответственно на 23,3 нмоль/л (19,4 %) и 42,9 нмоль/л (13,0 %) выше, чем в генотипе $PIT-1^{AA}$. Уровень АКТГ в среднем у животных составил 53,4 пг/мл при относительно высокой изменчивости.

Концентрации гормонов в крови коров красной степной породы по полиморфным генотипам генов $CSN3$, BLG , $PIT-1$ отражены в таблице 3.27.

Таблица 3.27

Концентрации гормонов в крови коров красной степной породы по полиморфным генотипам генов $CSN3$, BLG , $PIT-1$

Показатель	Гено тип	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	ЛИМИТЫ		SD (δ)	Cv
				min	max		
CSN3							
АКТГ, пг/мл	AA	41	24,0 ± 7,46	2,04	305,0	18,9	79,1

	AB	59	54,3 ± 7,2	1,13	265,2	42,9	71,9
	BB	20	74,1 ± 11,1	4,83	213,0	49,6	67,1
Кортизол, нмоль/л	AA	41	58,7 ± 4,74	25,1	174,4	30,3	51,7
	AB	59	100,9 ± 5,12	14,6	250,3	39,4	39,0
	BB	20	119,5 ± 7,26	42,4	158,0	32,5	27,2
<i>BLG</i>							
АКТГ, пг/мл	AA	12	28,1 ± 6,84	5,73	89,2	23,7	84,2
	AB	50	48,8 ± 8,23	2,04	305	38,6	79,1
	BB	36	62,3 ± 10,9	1,13	265,2	53,0	85,1
Кортизол, нмоль/л	AA	12	49,9 ± 8,93	49,6	146,9	30,9	38,7
	AB	50	89,4 ± 5,81	25,1	174,4	41,1	46,0
	BB	36	101,4 ± 8,05	25,8	250,3	48,3	47,6
<i>PIT-1</i>							
АКТГ, пг/мл	AA	11	41,3 ± 10,7	1,13	117,6	35,4	85,8
	AB	52	49,4 ± 8,09	2,06	305,0	33,9	68,7
	BB	57	46,4 ± 7,27	1,14	265,2	33,5	72,3
Кортизол, нмоль/л	AA	11	89,6 ± 11,3	33,4	156,2	37,6	41,9
	AB	52	89,7 ± 5,72	25,1	174,4	41,3	46,0
	BB	57	89,5 ± 5,88	14,6	250,3	44,4	49,6

Установлено, что уровень кортизола достоверно превышает в крови коров красной степной породы с генотипами $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ (соответственно 100,9 и 119,5 нмоль/л) на 42,2 и 60,8 нмоль/л показателя крови коров с генотипом $CSN3^{AA}$ (58,7 нмоль/л) при $p < 0,05$. Уровень АКТГ также выше у коров с $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ (соответственно 54,3 и 74,1 нмоль/л) на 30,3 и 50,1 нмоль/л показателя генотипа $CSN3^{AA}$ (24,0 нмоль/л) при $p < 0,05$.

Статистически достоверных различий между животными разных генотипов по гену *BLG* красной степной породы по показателям кортизола и АКТГ не установлено. По кортизолу и АКТГ отмечаем тенденцию превышения показателей в генотипах BLG^{AB} и BLG^{BB} по сравнению с генотипом BLG^{AA} .

Не установлено статистически достоверных различий по уровню гормонов между животными разных генотипов по гену *PIT-1*.

Таблица 3.28

Стрессоустойчивость коров симментальской и красной степной пород

Тип стрессоустойчивости	Уровень кортизола, нмоль/л	n	%
Симментальская порода			

CSN3 (n=103)			
Низкий	> 182,5	22	21,4 ± 4,0
Средний	101,1–182,5	44	42,7 ± 4,9
Высокий	< 101,1	37	35,9 ± 4,7
BLG (n=116)			
Низкий	> 187,6	22	18,9 ± 3,6
Средний	107,8–187,6	53	45,7 ± 4,6
Высокий	< 107,8	41	35,4 ± 4,4
PIT-1 (n=59)			
Низкий	> 192,2	9	15,3 ± 4,7
Средний	83,4–192,2	46	77,9 ± 5,4
Высокий	< 83,4	4	6,8 ± 3,2
Красная степная порода			
CSN3 (n=120)			
Низкий	> 101,1	35	29,6 ± 4,2
Средний	78,0–101,1	42	35,0 ± 4,4
Высокий	< 78,0	43	35,4 ± 4,4
BLG (n=98)			
Низкий	> 106,2	33	33,7 ± 4,7
Средний	80,5–106,2	28	28,6 ± 4,6
Высокий	< 80,5	37	37,7 ± 4,9
PIT-1 (n=120)			
Низкий	> 101,1	35	29,6 ± 4,2
Средний	78,0–101,1	42	35,0 ± 4,4
Высокий	< 78,0	43	35,4 ± 4,4

В таблице 3.28 представлены результаты распределения животных по типам стрессоустойчивости, в основе классификации которых была концентрация кортизола в крови. Учитывая, что количество протестированных животных в группах отличается, мы получили разное соотношение долей типов стрессоустойчивости не только в породах, но и с учетом генотипической принадлежности. У симменталов по генам *CSN3* и *BLG* низкая стрессоустойчивость была у 20 % животных, остальные отнесены к среднему и высокому типу. У красной степной породы доля животных с низкой стрессоустойчивостью выше (около 32 %) чем у симменталов ($p < 0,05$).

По гену *PIT-1* симменталы превосходят по доле среднего типа стрессоустойчивости (77,9 %) красную степную породу (35 %) при $p < 0,001$. При этом доля животных с низкой и высокой стрессоустойчивостью гораздо ниже у симменталов ($p < 0,05$).

Результаты распределения по типам стрессоустойчивости животных с разными аллельными вариантами генов представлены в таблице 3.29. В группе симменталов с генотипом $CSN3^{AB}$ было больше животных со средним и высоким типом стрессоустойчивости (22,3 и 18,4 % соответственно) чем низким (7,8 %) при $p < 0,05$. Гетерозиготных коров со средним типом достоверно больше, чем с генотипом $CSN3^{AA}$ (10,7 %) и $CSN3^{BB}$ (9,7 %) при $p < 0,05$.

У симменталов с генотипом BLG^{AA} превышает доля среднего типа (10,7 %) над низким (6,8 %) при $p < 0,01$, с генотипом BLG^{AB} – доля высокого типа (26,7 %) над средним (12,1 %) и низким (11,2 %) при $p < 0,001$. Различия между долями низкого типа у симменталов с генотипом BLG^{AB} и гомозиготами BLG^{AA} достоверны при $p < 0,01$, среднего и высокого – между гетерозиготами и BLG^{BB} ($p < 0,01$).

У симменталов с любым генотипом $PIT-1$ доля среднего типа достоверно превышает долю с низким и высоким типом стрессоустойчивости ($p < 0,05$).

У коров красной степной породы соотношение долей меняется. У животных с генотипом $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ больше среднего типа, чем низкого и высокого ($p < 0,05$). У гетерозигот был выше процент с низким типом стрессоустойчивости (14,2 %) чем у гомозигот (около 5 %) при $p < 0,05$. Средний тип встречается чаще у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ (на уровне 18 %) чем у $CSN3^{BB}$ (9,2 %) при $p < 0,05$. Животных с высоким типом стрессоустойчивости было больше в группе с гетерозиготным генотипом (16,6 %) чем с генотипом $CSN3^{BB}$ (3,3 %) при $p < 0,05$.

Таблица 3.29

Распределение типов стрессоустойчивости коров в зависимости от генотипа по генам $CSN3$, BLG , $PIT-1$

Тип	Симментальская порода					
	$CSN3^{AA}$ (n=28)		$CSN3^{AB}$ (n=50)		$CSN3^{BB}$ (n=25)	
	n	%	n	%	n	%
Низкий	7	$6,8 \pm 2,4$	8	$7,8 \pm 2,6$	7	$6,8 \pm 2,5$

Средний	11	10,7 ± 3,0	23	22,3 ± 4,1	10	9,7 ± 2,9
Высокий	10	9,7 ± 2,9	19	18,4 ± 3,8	8	7,8 ± 2,7
	<i>BLG^{AA}</i> (n=14)		<i>BLG^{AB}</i> (n=58)		<i>BLG^{BB}</i> (n=44)	
	n	%	n	%	n	%
Низкий	2	1,7 ± 1,3	13	11,2 ± 3,1	7	6,0 ± 2,4
Средний	12	10,3 ± 3,0	14	12,1 ± 3,2	27	23,3 ± 4,1
Высокий	-	-	31	26,7 ± 4,2	10	8,6 ± 2,8
	<i>PIT-1^{AA}</i> (n=14)		<i>PIT-1^{AB}</i> (n=27)		<i>PIT-1^{BB}</i> (n=18)	
	n	%	n	%	n	%
Низкий	2	3,4 ± 1,8	4	6,8 ± 2,5	3	5,1 ± 2,2
Средний	11	18,6 ± 4,1	21	35,6 ± 5,3	14	23,7 ± 4,5
Высокий	1	3,4 ± 1,3	2	3,4 ± 1,8	1	1,7 ± 1,3
	Красная степная порода					
	<i>CSN3^{AA}</i> (n=41)		<i>CSN3^{AB}</i> (n=59)		<i>CSN3^{BB}</i> (n=20)	
	n	%	n	%	n	%
Низкий	7	5,8 ± 2,2	17	14,2 ± 3,4	5	4,2 ± 2,0
Средний	21	17,5 ± 3,7	22	18,3 ± 3,8	11	9,2 ± 2,9
Высокий	13	10,81 ± 3,1	20	16,6 ± 3,6	4	3,3 ± 1,8
	<i>BLG^{AA}</i> (n=12)		<i>BLG^{AB}</i> (n=50)		<i>BLG^{BB}</i> (n=36)	
	n	%	n	%	n	%
Низкий	3	3,1 ± 1,7	19	19,4 ± 3,9	11	11,2 ± 3,1
Средний	6	6,1 ± 2,4	12	12,2 ± 3,2	10	10,2 ± 3,0
Высокий	3	3,1 ± 1,7	19	19,4 ± 3,9	15	15,3 ± 3,6
	<i>PIT-1^{AA}</i> (n=11)		<i>PIT-1^{AB}</i> (n=52)		<i>PIT-1^{BB}</i> (n=57)	
	n	%	n	%	n	%
Низкий	2	1,7 ± 1,3	21	17,5 ± 3,5	19	15,8 ± 3,6
Средний	7	5,8 ± 2,2	9	7,5 ± 2,6	14	11,7 ± 3,2
Высокий	2	1,7 ± 1,3	22	18,3 ± 3,8	24	20,0 ± 3,9

Коровы красной степной породы с разными генотипами по гену *BLG* относительно одинаково распределены по типам стрессоустойчивости: с генотипом *BLG^{AA}* – на уровне 3–6 %, *BLG^{AB}* – 12–19 % и *BLG^{BB}* – 10–15 %. При этом различия между долями низкого типа гомозигот *BLG^{AA}* и гетерозигот достоверны при $p < 0,05$, высокого типа – между гетерозиготами и *BLG^{BB}* ($p < 0,001$).

У животных красной степной породы с генотипом *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{BB}* превалирует высокий и низкий тип стрессоустойчивости. Различия между долями высокого и среднего типов в пределах генотипа *PIT-1^{BB}* достоверны при $p < 0,05$. Различия долей низкого и высокого типов стрессоустойчивости между генотипами *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{AA}*, а также *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* также оказались статистически достоверными ($p < 0,001$).

Таким образом, можно сделать заключение о том, что полиморфизм изученных локусов ассоциирован с уровнем гормонов стресса и влияет на стрессоустойчивость животных.

Материалы глав 3.8 получены автором лично. Анализ и интерпретация результатов выполнены в соавторстве и частично опубликованы в следующих работах:

1 Бексеитов Т.К., Тілеубек У.Н., Ахажанов К.К., Кайниденов Н.Н., Джаксыбаева Г.Г., Садыккалиев А. М. Влияние теплового стресса на гематологические показатели крупного рогатого скота. № 4-1 (77) – Уральск: «Наука и образование» Научно-практический журнал Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана – 2024. – С. 193–203.

2 Бексеитов Т.К., Кайниденов Н.Н., Тілеубек У.Н., Джаксыбаева Г.Г., Садыккалиев А.М. Сүтті бағыттағы әртүрлі тұқымды ірі қара малдардың стресске төзімділік түрін анықтау тәсілі. № 4 (71). – Кызылорда: Вестник Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Серия сельскохозяйственных наук. – 2024. – С. 298–310.

3. Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н. Идентификация генов, ассоциированных с молочной продуктивностью коров симментальской и красной степной пород Казахстана – Новосибирск: Вестник НГАУ – 2025. № 1. – С. 142–150.

3.9 Влияние комбинации генотипов по генам *CSN3*, *BLG* на показатели продуктивности, биохимические и морфологические параметры крови

Влияние комбинации генотипов по генам *CSN3* и *BLG* на показатели продуктивности, биохимические и морфологические параметры симментальской породы отражено в таблице 3.30.

Удой коров с генотипом $CSN^{BB}BLG^{AB}$ был на 1613 кг больше чем с $CSN^{AA}BLG^{AB}$ ($p<0,001$), $CSN^{AB}BLG^{BB}$ на 862 кг больше чем с $CSN^{AA}BLG^{AB}$ ($p<0,001$), $CSN^{BB}BLG^{BB}$ на 1150 кг больше чем с $CSN^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,01$), $CSN^{BB}BLG^{AB}$ на 751 кг больше чем с $CSN^{AB}BLG^{BB}$ ($p<0,01$). Наивысший удой отмечен у комбинации $CSN^{BB}BLG^{BB}$ – 7205 кг.

По количеству молочного жира генотипы $CSN^{BB}BLG^{BB}$, $CSN^{BB}BLG^{AB}$ и $CSN^{AB}BLG^{BB}$ превышали показатель $CSN^{AA}BLG^{AB}$ соответственно на 79,2, 64,6 и 35,2 кг ($p<0,001$). Разница между комбинациями генотипов $CSN^{AB}BLG^{BB}$ и $CSN^{BB}BLG^{BB}$ составила 44 кг ($p<0,01$). Наивысшее количество жира отмечено у комбинации $CSN^{BB}BLG^{BB}$ – 305 кг.

По содержанию молочного белка генотип $CSN^{BB}BLG^{AB}$ превышал генотип $CSN^{AA}BLG^{AB}$ на 49 кг ($p<0,001$). Разница выявлена между $CSN^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN^{AB}BLG^{BB}$, а также $CSN^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,01$). Наивысшее количество белка отмечено у коров с генотипом $CSN^{BB}BLG^{BB}$ – 235,9 кг.

Животные с генотипом $CSN^{AA}BLG^{AB}$ имели выше процент гранулоцитов (63,1 %) по сравнению с $CSN^{BB}BLG^{AB}$ (49 %) при $p<0,01$.

Наибольший уровень АКТГ отмечен в генотипе $CSN^{AA}BLG^{AB}$, он превышал значения генотипов $CSN^{AB}BLG^{BB}$, $CSN^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN^{BB}BLG^{AB}$ ($p<0,001$). Наибольшее количество кортизола было у симменталов с генотипом $CSN^{AA}BLG^{AB}$, которое превышало показатель $CSN^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,001$).

Таблица 3.30

Влияние комбинаций генотипов по генам $CSN3$, BLG на показатели животных симментальской породы

Показатель	Генотипы				
	$CSN^{AA}BLG^{AB}$	$CSN^{AB}BLG^{AA}$	$CSN^{AB}BLG^{BB}$	$CSN^{BB}BLG^{AB}$	$CSN^{BB}BLG^{BB}$
Удой, кг	5307±152,6	—	—	6920±176,2	—
	5307±152,6	—	6169±169,5	—	—
	—	6055±303,7	—	—	7205±217,0

	–	–	6169±169,5	6920±176,2	–
Количество жира, кг	225,8±8,15	–	261±8,34	–	–
	225,8±8,15	–	–	290,4±10	–
	225,8±8,15	–	–	–	305±10,0
	–	–	261±8,34	–	305±10,0
Количество белка, кг	170,6±4,78	–	–	219,6±7,46	–
	–	193,7±7,89	–	–	235,9±7,04
	–	–	197,9±5,74	–	235,9±7,04
Процент гранулоцитов GRA, %	63,1±1,52	–	–	49±3,96	–
Ширина распределения эритроцитов RDW-SD, фл	32,8±0,508	–	–	36,4±0,977	–
АКТГ, пг/мл	88±9,89	–	42,6±3,71	–	–
	88±9,89	–	–	–	41,1±4,4
	88±9,89	–	–	39,9±4,5	–
Кортизол, нмоль/л	256,6±38,2	108,2±22,7	–	–	–
	–	–	94,6±6,65	69,5±6,83	–
	–	–	94,6±6,65	–	62,5±4,89

Удой коров с генотипом $CSN^{BB}BLG^{AB}$ был на 1613 кг больше чем с $CSN^{AA}BLG^{AB}$ ($p<0,001$), $CSN^{AB}BLG^{BB}$ на 862 кг больше чем с $CSN^{AA}BLG^{AB}$ ($p<0,001$), $CSN^{BB}BLG^{BB}$ на 1150 кг больше чем с $CSN^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,01$), $CSN^{BB}BLG^{AB}$ на 751 кг больше чем с $CSN^{AB}BLG^{BB}$ ($p<0,01$). Наивысший удой отмечен у комбинации $CSN^{BB}BLG^{BB}$ – 7205 кг.

По количеству молочного жира генотипы $CSN^{BB}BLG^{BB}$, $CSN^{BB}BLG^{AB}$ и $CSN^{AB}BLG^{BB}$ превышали показатель $CSN^{AA}BLG^{AB}$ соответственно на 79,2, 64,6 и 35,2 кг ($p<0,001$). Разница между комбинациями генотипов $CSN^{AB}BLG^{BB}$ и $CSN^{BB}BLG^{BB}$ составила 44 кг ($p<0,01$). Наивысшее количество жира отмечено у комбинации $CSN^{BB}BLG^{BB}$ – 305 кг.

По содержанию молочного белка генотип $CSN^{BB}BLG^{AB}$ превышал генотип $CSN^{AA}BLG^{AB}$ на 49 кг ($p<0,001$). Разница выявлена между $CSN^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN^{AB}BLG^{BB}$, а также $CSN^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,01$). Наивысшее количество белка отмечено у коров с генотипом $CSN^{BB}BLG^{BB}$ – 235,9 кг.

Животные с генотипом $CSN^{AA}BLG^{AB}$ имели выше процент гранулоцитов (63,1 %) по сравнению с $CSN^{BB}BLG^{AB}$ (49 %) при $p<0,01$.

Наибольший уровень АКТГ отмечен в генотипе $CSN^{AA}BLG^{AB}$, он превышал значения генотипов $CSN^{AB}BLG^{BB}$, $CSN^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN^{BB}BLG^{AB}$ ($p<0,001$). Наибольшее количество кортизола было у симменталов с генотипом $CSN^{AA}BLG^{AB}$, которое превышало показатель $CSN^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,001$).

Влияние комбинации генотипов по генам CSN и BLG на показатели продуктивности, биохимические и морфологические параметры крови коров красной степной породы отражено в таблице 3.31.

По удою коровы красной степной породы с генотипом $CSN^{BB}BLG^{BB}$, в отличие от симменталов, имели более низкий показатель (5715 кг) по сравнению с генотипом $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (7691 кг), разница составила 1976 кг ($p<0,001$).

Количества жира и белка на 78,4 и 64,2 кг были выше в комбинации $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (307,1 и 248,4 кг) над показателями в генотипе $CSN^{BB}BLG^{BB}$ (228,7 и 184,2) при $p<0,001$.

По содержанию гемоглобина животные с генотипом $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (119,6 г/л) превышают значения $CSN^{AB}BLG^{AB}$ (104,8 г/л) и $CSN^{AB}BLG^{BB}$ (103,4 г/л) в среднем на 15,5 г/л ($p<0,001$).

Степень отклонения размера эритроцитов от нормального (RDW-CV, %) незначительно превышает (+0,1 %) в комбинации генотипов $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (14,8 %) над показателем в комбинации $CSN^{BB}BLG^{BB}$ (14,7 %) при $p<0,05$. Соответственно, объём красных кровяных клеток (гематокрит), на 2,3 % больше ($p<0,01$) в комбинации $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (29,9 %) по сравнению с $CSN^{BB}BLG^{BB}$ (27,6 %).

Наибольшее количество АКТГ отмечено в комбинации генотипов $CSN^{BB}BLG^{BB}$ (101,0 пг/мл). Указанная концентрация АКТГ на 71,1 пг/мл превышает показания комбинации $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (29,9 пг/мл) при $p<0,05$.

Наибольшее количество кортизола, отмеченное в генотипе $CSN^{BB}BLG^{BB}$ (138,1 нмоль/л), превышает показатель $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (59,9 нмоль/л) на 78,2

нмоль/л ($p < 0,001$). Минимальный уровень кортизола в генотипе $CSN^{AA}BLG^{BB}$ (59,9 нмоль/л) также достоверно уступает значениям $CSN^{AB}BLG^{AB}$ (103,2 нмоль/л) и $CSN^{AB}BLG^{BB}$ (107,4 нмоль/л) соответственно на 43,3 и 47,5 нмоль/л ($p < 0,001$).

Таблица 3.31

Влияние комбинации генотипов по генам $CSN3$, BLG на показатели животных красной степной породы

Показатель	Генотип			
	$CSN^{AA}BLG^{BB}$	$CSN^{AB}BLG^{AB}$	$CSN^{AB}BLG^{BB}$	$CSN^{BB}BLG^{BB}$
Удой, кг	7691±220,8	—	—	5715±265,1
Количество жира, кг	307,1±9,9	—	—	228,7±10,7
Количество белка, кг	248,4±7,29	—	—	184,2±9,28
Концентрация гемоглобина (HGB), г/л	119,6±3,76	104,8±2,24	—	—
	119,6±3,76	—	103,4±3,63	—
Степень отклонения размера эритроцитов от нормального RDW-CV, %	14,8±0,162	—	—	14,7±0,219
Гематокрит (HCT), %	29,9±0,63	—	—	27,6±0,45
АКТГ, пг/мл	20,5±4,29	—	—	101,0±16,7
Кортизол, нмоль/л	59,9±7,98	—	—	138,1±5,44
	59,9±7,98	103,2±6,72	—	—
	59,9±7,98	—	107,4±13,6	—

3.10 Сопряженность признаков продуктивности, биохимии и гематологии у животных разных генотипов и пород

Полиморфизм генов может быть причиной структурно-функциональных изменений белков, а это, в свою очередь, может приводить не только к отличиям признаков, но и их взаимосвязям. Результаты корреляционного анализа связи показателей молочной продуктивности с биохимическими и гематологическими показателями животных симментальской и красной степной пород разных генотипов представлены в таблицах 3.32, 3.32 и 3.34, в которых приведены только достоверные коэффициенты корреляции. Установленные степень и направление связи

между признаками имеют важное значение для оценки интерьера коров, разводимых в климатогеографических и технологических условиях северного Казахстана. Отмечаем, что коэффициенты корреляции у животных разных пород незначительно отличаются, а влияние генотипа по исследуемым генам не существенны. При этом отметим, что удой высоко положительно коррелирует с гемоглобином и гематокритом и высоко отрицательно с гормонами (АКТГ, кортизол) независимо от породы и генотипической принадлежности коров по генам *CSN* и *BLG*. Следует также обратить внимание на высокую отрицательную корреляцию у коров красной степной породы с генотипом *PIT-1^{AA}* между массовой долей белка в молоке, а также количеством молочного жира и общим содержанием белка в крови ($r=-0,651$) и прямо противоположную зависимость между жирностью молока и содержанием белка в крови у животных с генотипом *BLG^{AA}* ($r=+0,639$). При том, что белок в молоке положительно коррелирует с жирностью, можно предположить, что полиморфизмы генов могут влиять на структурно-функциональную зависимость признаков, что требует дальнейшего исследования на других популяционных выборках.

Таблица 3.32

Корреляция между продуктивными, биохимическими и гематологическими показателями животных разных генотипов по гену *CSN3*

Коррелирующие признаки	<i>CSN^{AA}</i>	<i>CSN^{AB}</i>	<i>CSN^{BB}</i>
Симментальская порода			
Удой, кг			
- аспаратаминотрансфераза (АСТ), ед/л	—	—	$-0,572 \pm 0,172^{**}$
- мочевины (BUN), ммоль/л	—	—	$-0,572 \pm 0,172^{**}$
- адренокортикотропный гормон (АКТГ), пг/мл	—	—	$+0,516 \pm 0,179^{**}$
- кортизол, нмоль/л	—	$-0,358 \pm 0,135^{*}$	$-0,471 \pm 0,184^{*}$
- общий белок, г/л	—	$-0,320 \pm 0,137^{*}$	—
- концентрация гемоглобина	$+0,683 \pm 0,143^{***}$	—	—

(HGB), г/л			
- число лейкоцитов (WBC), 10 ⁹ /л	—	-0,333± 0,136*	—
- средний объём тромбоцитов (MPV), фл	—	-0,424± 0,131**	—
- однородность размера тромбоцитов (PDW), фл	—	-0,297± 0,138*	—
Жир, %			
- мочевины, ммоль/л	+0,517±0,168***	—	—
- число лимфоцитов (LYM), 10 ⁹ /л	+0,410±0,179*	+0,434±0,177*	—
Белок, %			
- щелочная фосфатаза (ALP), ед/л	—	-0,271± 0,127*	—
- содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), 10 ⁹ /л	—	+0,399± 0,147**	—
Красная степная порода			
Удой, кг			
- число гранулоцитов (GRA), 10 ⁹ /л	-0,36±0,15*	—	—
- концентрация гемоглобина (HGB), г/л	+0,595±0,129***	+0,589±0,107***	—
- степень отклонения размера эритроцитов от нормального RDW-CV, %	+0,50±0,139***	—	—
- гематокрит (HCT), %	+0,628±0,125***	+0,801±0,079***	—
- число эритроцитов (RBC), 10 ¹² /л	—	—	+0,616±0,186**
- WBC, 10 ⁹ /л	—	—	+0,469±0,208*
- АКТГ, пг/мл	-0,839±0,087***	—	—
- кортизол, нмоль/л	-0,746±0,107***	-0,835±0,073***	—
Жир, %			
- щелочная фосфатаза (ALP), ед/л	—	-0,278±0,127*	—
- MID, 10 ⁹ /л	—	-0,406±0,146*	—
Белок, %			
- ALP, ед/л	—	-0,271±0,127*	—
- аланинаминотрансфераза (ALT), ед/л	—	—	-0,504±0,204*
- магний, ммоль/л	—	—	-0,598±0,189**
Примечание: * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p<0,001			

Таблица 3.33

Корреляция между продуктивными, биохимическими и гематологическими показателями животных разных генотипов по гену *BLG*

Коррелирующие признаки	<i>BLG</i> ^{AA}	<i>BLG</i> ^{AB}	<i>BLG</i> ^{BB}
Симментальская порода			
Удой, кг			
- ширина распределения	+0,551±0,241*	+0,530±0,133***	+0,443±0,138**

эритроцитов (RDW-SD), фл			
- гематокрит (HCT), %	—	+0,454±0,119***	—
Жир, %			
- число тромбоцитов (PLT), 10 ⁹ /л	—	—	+0,409±0,141**
- относительный объём тромбоцитов (PCT), %	—	—	+0,418±0,140**
- мочевины (BUN), ммоль/л	—	+0,226±0,129*	—
- креатинин, мкмоль/л	—	+0,299±0,128*	—
Красная степная порода			
Удой, кг			
- число эритроцитов (RBC), 10 ¹² /л	—	—	−0,336±0,162*
- степень отклонения размера эритроцитов от нормального RDW-CV, %	+0,750±0,209**	—	+0,771±0,108***
- HCT, %	—	—	+0,752±0,113***
- концентрация гемоглобина (HGB), г/л	+0,610±0,251*	—	—
- кортизол, нмоль/л	−0,719±0,220**	−0,863±0,073***	−0,886±0,079***
Жир, %			
- содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), 10 ⁹ /л	—	—	−0,4345±0,161*
- число лимфоцитов (LYM), 10 ⁹ /л	+0,584±0,257*	—	—
- общий белок, г/л	+0,639±0,243*	—	—
Белок, %			
- кортизол, нмоль/л	—	+0,317±0,137*	—
Примечание: * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p<0,001			

Таблица 3.34

Корреляция между продуктивными, биохимическими и гематологическими показателями животных разных генотипов по гену *PIT-1*

Коррелирующие признаки	<i>PIT-1^{AA}</i>	<i>PIT-1^{AB}</i>	<i>PIT-1^{BB}</i>
Симментальская порода			
Удой, кг			
- магний, ммоль/л	+0,533±0,244*	—	—
- концентрация гемоглобина (HGB), г/л	+0,813±0,168***	—	—
- ширина распределения эритроцитов (RDW-SD), фл	+0,633±0,223*	—	—
- АКТГ, пг/мл	—	—	−0,586±0,203*

Красная степная порода			
Удой, кг			
- степень отклонения размера эритроцитов от нормального RDW-CV, %	+0,812±0,195**	—	—
- гематокрит (HCT), %	+0,748±0,221**	—	—
- кортизол, нмоль/л	−0,665±0,249*	—	—
		0,881±0,067***	0,914±0,055***
Количество молочного жира, кг			
- общий белок, г/л	−0,651±0,253*		
Белок, %			
- аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	—	—	−0,268±0,130*
- общий белок, г/л	−0,651±0,253*	—	—
Примечание: * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p<0,001			

Материалы главы получены автором лично. Анализ и интерпретация результатов выполнены в соавторстве и частично опубликованы в следующей работе:

1. Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н. Идентификация генов, ассоциированных с молочной продуктивностью коров симментальской и красной степной пород Казахстана - Новосибирск: Вестник НГАУ – 2025. № 1 – С. 142–150.

ОБСУЖДЕНИЕ

Генетический полиморфизм многих функциональных и структурных генов широко изучается у разных пород сельскохозяйственных животных. Результаты многочисленных исследований демонстрируют разную генетическую структуру популяций по этим генам, что вполне оправдано, учитывая филогенетические и продуктивные особенности каждой породной группы. Что касается исследований генетического полиморфизма для прогноза признаков продуктивности, то здесь часто встречаются противоречивые результаты, не позволяющие сделать однозначные выводы. Очевидно, что для использования маркёров в селекционных программах разведения нужно в каждой породе идентифицировать эти гены, установить полиморфизм и структуру породы, сравнить фенотипические особенности животных при разных аллельных вариантах генов. Именно такой методический подход применен нами при изучении генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* в популяционных выборках симментальской и красной степной пород крупного рогатого скота, разводимого в Павлодарской области Казахстана. Для оценки функциональной вовлеченности генов в фенотипическое проявление были проведены молекулярно-генетические, биохимические и гематологические исследования, а также анализ стрессоустойчивости и молочной продуктивности полновозрастных коров.

В целом, оценка генетической структуры пород по гену *CSN3* показала, что генетические различия между породами незначительны. На долю гетерозигот приходится примерно половина поголовья. У симменталов гомозиготы распределены одинаково, а у красной степной породы частота генотипов *CSN3^{AA}* (34,2 %) в 2 раза больше чем *CSN3^{BB}* (16,6 %) при $p < 0,05$. Межпородных различий по частотам одинаковых генотипов не установлено, что может быть следствием отсутствия какого-либо селективного отбора в отношении этого гена в породах.

Генетическая структура по гену *BLG* в породах практически не отличается, также преобладают гетерозиготы (50 %), частоты гомозигот *BLG^{AA}* минимальны (12 %). При том, что межпородных различий по частотам генотипов не выявлено, отмечаем высокую частоту встречаемости аллеля *BLG^B* (65 %) по сравнению с *BLG^A* (35 %), что указывает на дифференцированный вклад аллелей в формирование структуры породы животных одного направления продуктивности.

Наши данные совпадают с результатами исследований симменталов Сибири, где «желательный» генотип *BLG^{BB}* был у 39 % коров [Гончаренко Г. М. и др., 2016]. При этом, некоторые исследователи считают, что для симменталов характерна более низкая частота аллеля *BLG^B* [Парыгина Е. В. и др., 2023]. Очевидно, что локальные популяции одной и той же породы могут различаться по параметрам генетического разнообразия, поэтому наши результаты отражают особенности генофонда животных казахстанской селекции.

Что касается гена гипофизарного фактора транскрипции (*PIT-1*), то по нему отмечены межпородные различия между генотипами *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* ($p < 0,05$). У симменталов доля генотипов *PIT-1^{AA}* (23 %) превосходит красную степную породу (9,2 %), а частота альтернативной гомозиготы (*PIT-1^{BB}*) уступает ей, что указывает также на своеобразие структуры различных породных групп. При равной гетерозиготности, частота аллелей у симменталов была одинаковой, а у красной степной породы выявлено двукратное превосходство аллеля *PIT-1^B*.

По всем генам фактическое распределение генотипов с высокой степенью достоверности совпадало с теоретически ожидаемыми данными по закону Харди-Вайнберга. Несмотря на отсутствие панмиксии, подбор и отбор животных в искусственных популяциях, а также дрейф генов, наблюдается генное равновесие в породах. Возможно, случайный характер сочетания родительских пар и генотипов гамет нивелирует факторы влияния на

генетическую структуру популяции. Если бы гены не были нейтральными и находились под влиянием отбора, то использование их для оценки генетического разнообразия было бы усложнено. В условиях разведения и селекции молочного скота Северного Казахстана, породы сохраняют генетическое разнообразие, которое отражается достаточно высоким уровнем гетерозиготности, с которой связывают адаптивность животных к меняющимся условиям среды. Обычно гетерозиготность в популяциях ассоциируют с более высокой жизнеспособностью, а сдвиг распределения в сторону выраженного преобладания гомозигот с высоким уровнем продуктивности. В наших исследованиях для всех локусов прослеживается незначительное превышение наблюдаемой гетерозиготности над ожидаемой гетерозиготностью и отрицательное значение индекса фиксации у красной степной породы, что указывает на наличие небольшого избытка гетерозигот и отсутствие инбредности. Следовательно, генетический ресурс у исследуемых пород Казахстана имеется для повышения их продуктивного и адаптивного потенциала.

Сравнительный анализ признаков продуктивности у коров разных генотипов подтвердил достоверное влияние генотипа $CSN3^{BB}$ на удой, содержание жира и белка в молоке и выход молочного жира и белка у симментальской породы ($p < 0,05$). Это согласуется с результатами, полученными другими учеными, которые считают, что отбор животных с таким генотипом может повысить показатели молочной продуктивности у этой породы. У красной степной породы такого влияния не установлено, наблюдается даже тенденция снижения удоя у $CSN3^{BB}$, что указывает на неоднозначный вывод в отношении «желательного» генотипа. Возможной причиной такого противоположного результата может быть разная степень фенотипической изменчивости признаков. Мы видим, что коэффициенты вариации удоя у коров красной степной породы выше, чем у симменталов. Возможно в случае с низкой изменчивостью признаков, обнаружить

статистические различия между животными с разной степенью вовлеченности генов в признак будет легче. Данное предположение подтверждается достоверными различиями у симменталов.

Анализ продуктивности коров симментальской и красной степной пород не выявил статистически значимого влияния генотипа по гену *BLG*. Наблюдается тенденция превосходства гомозигот над гетерозиготами по удою, количеству молочного жира и белка. Некоторые исследователи считают, что у симменталов с генотипом *BLG^{AA}* более высокие показатели молочной продуктивности, поэтому их надо использовать в селекции. Признавая своеобразие популяционных групп, представляется, что вклад аллелей, напрямую влияющих на количество молока, должен быть относительно одинаковым и не зависеть от породы. Причиной низкой воспроизводимости ассоциаций могут быть индивидуальные различия по вкладу генов в формирование признака, межгенные взаимодействия, которые могут приводить даже к антагонизму между аллелями разных генов, участвующих в проявлении одного признака [Глазко В. И., 2013]. Очевидно, степень выраженности количественных признаков больше зависит от аддитивного вклада полигенов, чем от действия одного локуса.

Проанализировав влияние комбинации генотипов по генам *CSN3* и *BLG*, получили статистически достоверное преимущество по удою, количеству жира и белка в молоке генотипа *CSN^{BB}BLG^{BB}*, что делает его перспективным для отбора.

Что касается гена *PIT-1*, который кодирует факторы транскрипции пролактина, соматотропина, участвующих в формировании молочной продуктивности, то по нему, достоверное положительное влияние установлено у коров красной степной породы с генотипом *PIT-1^{BB}* по жирности молока, выходу молочного жира и белка ($p < 0,05$). Наши результаты подтверждают данные, полученные в Ростовской области у

животных этой же породы [Гетманцева Л. В., 2014]. У симменталов подобных ассоциаций не выявлено.

Учитывая мультифакториальную природу количественных признаков продуктивности, был проведен сравнительный анализ биохимического и морфологического состава крови коров с учетом их генотипа по исследуемым генам. Установлены достоверные различия между группами животных разных генотипов по гену *CSN3* по макроэлементам (Ca, P, Mg) в крови у симменталов с превосходством значений с генотипом *CSN3^{BB}* ($p<0,05$). Других статистических различий между средними значениями показателей метаболического профиля не выявлено. При этом фенотипическая изменчивость параметров в группах животных мало отличалась. Однако, учитывая тенденции различий, исследования в этом направлении следует продолжать.

Статистически достоверных различий между животными разных пород и генотипов по гену *BLG* по основным биохимическим показателям не установлено. Все значения варьировали в пределах физиологической нормы. Исключением явился уровень в крови фермента гамма-глутамилтранспептидазы, участвующий в обмене аминокислот, у высокопродуктивных коров с генотипом *BLG^{AA}* его концентрация была выше остальных ($p<0,001$).

С учетом генотипов по гену *PIT-1*, различия установлены у симменталов по креатинину и у красной степной породы по гамма-глутамилтранспептидазе и лактатдегидрогеназе между *PIT^{AA}* и *PIT-1^{AB}* ($p<0,05$).

В целом ранжирование значений биохимии крови у коров симментальской и красной степной пород по гену *CSN3* демонстрирует схожую картину по аспартатаминотрансферазе ($AA>AB>BB$), мочеvine ($BB>AA>AB$) и общему белку в крови ($BB>AA>AB$); по гену *BLG* – по мочеvine ($AA>AB>BB$), креатинину ($BB>AA>AB$) и общему белку

(AA>BB>AB). Считаем, что эти метаболиты также должны стать предметом дальнейшего изучения ассоциаций полиморфизма генов.

Исследуя особенности метаболического профиля животных, мы пытались найти общие закономерности изменений и оценить степень потенциальной вовлеченности генов в функционирование организма. И даже в отсутствие различий между средними значениями, важно было обратить внимание на изменчивость показателей, которая могла существенно отличаться в генотипических группах. Разные коэффициенты вариации получены в отношении аспаратаминотрансферазы и общего белка в крови (по генам *CSN3*, *BLG*), Ca и Mg (по гену *BLG*) и аланинаминотрансферазы (по гену *PIT-1*). Возможно, разная изменчивость этих показателей в генотипических группах животных обусловлена участием исследуемых генов в их метаболизм.

Как уже упоминалось, поиск функциональной значимости генов основан не только на выявлении фенотипических различий между разными генотипами, но и возможном изменении взаимосвязи между признаками. Проведенный корреляционный анализ между показателями продуктивности, биохимии и морфологии крови не выявил существенных различий по большинству признаков. Однако, разная степень и направление связей у животных разной генотипической и породной принадлежности между содержанием общего белка в крови и показателями молочной продуктивности, позволяет предположить возможное влияние полиморфизма генов на структурно-функциональную зависимость признаков, что необходимо учитывать в маркер-ориентированной селекции.

Наряду с биохимией крови, исследовали её морфологический состав. Следует отметить, что значения всех семнадцати показателей гематологии были в пределах физиологической нормы, что говорит о здоровье животных, у которых изучается возможное влияние аллельных вариантов генов на показатели молочной продуктивности. И даже если значения находились в

границах нормы, выявленные достоверные различия между генотипами, указывают на ассоциативную связь с исследуемыми полиморфизмами. У симменталов по гену *CSN3* различия установлены по процентному содержанию гранулоцитов, ширине распределения эритроцитов и проценту гематокрита ($p < 0,05$). У красной степной породы по этому гену различия подтвердились по гранулоцитам, гематокриту, добавился показатель гемоглобина ($p < 0,05$).

Схожая картина ранжирования значений в породах наблюдается по генотипам *CSN3* по числу и проценту лимфоцитов ($AB > BB > AA$), количеству эритроцитов ($AA > BB > AB$) и среднему объёму тромбоцитов ($BB > AA > AB$). Здесь и далее показатели крови, по которым обнаружены степень ассоциативности с конкретным геном, могут рекомендоваться для дальнейших генетических и селекционных исследований.

Оценка морфологических показателей крови у симменталов по полиморфным вариантам гена *BLG* выявила достоверные различия по проценту лимфоцитов, показателю гематокрита, у красной степной породы – по значениям среднего объема эритроцитов и однородности размера тромбоцитов ($p < 0,05$).

Схожий ранжированный ряд у пород наблюдается по проценту смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток ($BB > AA > AB$), что делает их возможными информационными маркерами вовлеченности гена *BLG*.

Животные разных генотипов по гену *PIT-1* отличались по концентрации гемоглобина, превышение было у гетерозигот ($p < 0,05$). Ранжированные ряды в породах по этому гену совпадали по гематокриту и однородности размера тромбоцитов. Подобные совпадения, очевидно, могут носить случайный характер, а не однозначный результат влияния полиморфизма на биохимию и морфологию крови отражать лишь физиологический статус коров, который, может быть, не связан с

конкретным генотипом, тем не менее подобные исследования являются общепринятой методологическим подходом для дальнейшего более глубокого анализа влияния и участия структурных и функциональных генов в формировании признаков интерьера.

Анализируя результаты исследования влияния генов на стрессоустойчивость животных, следует отметить различия по уровню гормонов (АКТГ, кортизол), значения которых использовали в распределении коров по типам стрессоустойчивости, в группах разных генотипов, а также по частоте встречаемости разных типов в пределах одного полиморфизма.

В целом уровень кортизола и АКТГ у симменталов с генотипом $CSN3^{AA}$ был выше, чем с генотипами $CSN3^{BB}$ и $CSN3^{AB}$ ($p < 0,001$). Статистически достоверных различий между животными разных генотипов по генам BLG и $PIT-1$ у этой породы по содержанию гормонов не установлено.

У красной степной породы, в отличие от симменталов, уровень кортизола и АКТГ был выше у животных с генотипом $CSN3^{BB}$ ($p < 0,001$). По другим генам статистически значимых различий также не выявлено.

Распределение животных по типам стрессоустойчивости, в основе классификации которых была концентрация кортизола в крови животных, выявило разное соотношение долей типов стрессоустойчивости не только в породах, но и с учетом генотипической принадлежности. Так, у симменталов по генам $CSN3$ и BLG низкая стрессоустойчивость была у 20 % животных, остальные отнесены к среднему и высокому типу. У красной степной породы доля животных с низкой стрессоустойчивостью выше (около 32 %) чем у симменталов ($p < 0,05$). По гену $PIT-1$ симменталы в 2 раза превосходят по доле среднего типа стрессоустойчивости красную степную породу ($p < 0,001$). При этом доля животных с низкой и высокой стрессоустойчивостью была гораздо ниже у симменталов ($p < 0,05$).

Распределение по типам стрессоустойчивости животных с разными аллельными вариантами генов показало, что в группе симменталов с генотипом $CSN3^{AB}$ больше животных со средним и высоким типом стрессоустойчивости, чем с низким ($p < 0,05$). Гетерозиготных коров со средним типом достоверно больше, чем у генотипа $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ ($p < 0,05$).

У симменталов с генотипом BLG^{AA} превышает доля среднего типа (10,7 %) над низким (6,8 %) при $p < 0,01$, с генотипом BLG^{AB} – доля высокого типа (26,7 %) над средним (12,1 %) и низким (11,2 %) при $p < 0,001$. Различия между долями низкого типа у симменталов с генотипом BLG^{AB} и гомозиготами BLG^{AA} достоверны при $p < 0,01$, среднего и высокого – между гетерозиготами и BLG^{BB} ($p < 0,01$). У симменталов с любым генотипом $PIT-1$ доля среднего типа достоверно превышает процент с низким и высоким типом стрессоустойчивости ($p < 0,05$).

У коров красной степной породы соотношение долей меняется. У гомозигот по гену $CSN3$ встречается больше среднего типа, чем низкого и высокого ($p < 0,05$). У гетерозигот был выше процент с низким типом стрессоустойчивости чем у гомозигот ($p < 0,05$). Средний тип встречается чаще у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ чем у $CSN3^{BB}$ ($p < 0,05$). Животных с высоким типом стрессоустойчивости было больше в группе с гетерозиготным генотипом, чем с генотипом $CSN3^{BB}$ ($p < 0,05$).

Коровы красной степной породы с разными генотипами по гену BLG относительно одинаково распределены по типам стрессоустойчивости: с генотипом BLG^{AA} – на уровне 3–6 %, BLG^{AB} – 12–19 % и BLG^{BB} – 10–15 %. При этом различия между долями низкого типа у гомозигот BLG^{AA} и гетерозигот достоверны при $p < 0,05$, высокого типа – у гетерозигот и BLG^{BB} ($p < 0,001$).

У животных красной степной породы с генотипом $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{BB}$ превалирует высокий и низкий тип стрессоустойчивости. Различия между

долями высокого и среднего типов в пределах генотипа *PIT-1^{BB}* достоверны при $p < 0,05$. Различия долей низкого и высокого типов стрессоустойчивости между генотипами *PIT-1^{AB}* и *PIT-1^{AA}*, а также *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* статистически достоверны ($p < 0,001$).

Таким образом, можно сделать заключение о том, что полиморфизм изученных локусов ассоциирован с уровнем гормонов стресса и влияет на стрессоустойчивость животных.

В целом, изучение полиморфизма генов в породах, разводимых на территории северного Казахстана, его связи с молочной продуктивностью, морфологическими и биохимическими параметрами крови и стрессоустойчивостью животных позволило получить дополнительную информацию о предлагаемых генетических маркерах крупного рогатого скота, в том числе для оценки функциональной изменчивости признаков.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Маркер-ассоциированная селекция является перспективной и нуждается в продолжение исследований генетического разнообразия разных пород по SNP-маркерам и влияния генов на продуктивные, воспроизводительные и адаптивные признаки животных. Необходимо дальнейшее изучение участия полиморфных вариантов генов в формирование интерьерных показателей, отражающих биохимический, гематологический и иммунологический статус животных, с учетом специфических породных, технологических, природно-климатических и других факторов, определяющих продуктивный и адаптивный потенциал. Необходимо расширить список потенциальных SNP-маркеров, ассоциированных с количественными и качественными показателями продуктивности, воспроизводства и адаптации, для оптимизации использования генетических ресурсов в племенной работе и программах геномной селекции.

ВЫВОДЫ

1. Генетическая структура симментальской и красной степной пород по локусам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* характеризуется высокой частотой гетерозигот (43,3–50 %). Доля гомозигот в породах варьирует. У симменталов частота $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ составляет 27,2 и 24,3 % соответственно, у красной степной – 34,2 и 16,7 %. Частоты гомозигот по гену *BLG* у двух пород распределены относительно одинаково – на уровне 12 % (BLG^{AA}) и 37 % (BLG^{BB}). Межпородных различий по частотам одинаковых генотипов по *CSN3*, *BLG* не установлено. В отличие от равного соотношения аллельных вариантов гена *CSN3*, частота аллеля BLG^B в 1,8 раза выше альтернативного аллеля ($p < 0,01$).

2. Установлены межпородные различия по частоте генотипов $PIT-1^{AA}$ и $PIT-1^{BB}$ ($p < 0,05$). У симменталов частота гомозигот составляет 23,7 % ($PIT-1^{AA}$) и 30,5 % ($PIT-1^{BB}$), а у красной степной породы – соответственно 9,2 и 47,5 %. Частотное распределение аллелей у симменталов было относительно равным, у красной степной породы превалирует $PIT-1^B$ (70 против 30 %).

3. По всем локусам соотношение генотипов соответствует состоянию генного равновесия Харди-Вайнберга. У красной степной породы незначительное превышение средней наблюдаемой гетерозиготности (47,6 %) над ожидаемой (45,3 %) и отрицательное значение индекса фиксации (-0,051) указывает на отсутствие инбредности и наличие адаптивного и продуктивного потенциала животных.

4. У коров симментальской породы установлено положительное влияние генотипа $CSN3^{BB}$ и сочетания $CSN^{BB}BLG^{BB}$ на удой, выход молочного белка и жира ($p < 0,05$). У красной степной породы отмечено превосходство животных с генотипом $PIT-1^{BB}$ по жирности, выходу молочного жира и белка ($p < 0,05$) и с комбинацией $CSN^{AA}BLG^{BB}$ по удою, количеству молочного белка и жира ($p < 0,05$). Статистически достоверных различий между коровами красной степной породы разных генотипов по *CSN3* не установлено. Животные двух пород с разными

генотипами по гену *BLG* не отличались по показателям молочной продуктивности.

5. Выявлены ассоциации генов с биохимическими показателями крови. Различия между группами симменталов разных генотипов по *CSN3* установлены по макроэлементам (Ca, P, Mg) с превосходством значений у *CSN3^{BB}* ($p < 0,05$). У высокопродуктивных коров с генотипом *BLG^{AA}* концентрация гамма-глутамилтранспептидазы была выше остальных генотипов ($p < 0,001$). Различия между *PIT^{AA}* и *PIT-1^{AB}* установлены у симменталов по креатинину и у красной степной породы по гамма-глутамилтранспептидазе и лактатдегидрогеназе ($p < 0,05$). Схожие ранжированные ряды значений крови в породах были по гену *CSN3* по аспаратаминотрансферазе, мочеvine и общему белку; по *BLG* – по мочеvine, креатинину и общему белку.

6. Морфологический состав крови животных разных генотипов отличался. У симменталов по гену *CSN3* установлены различия по процентному содержанию гранулоцитов, ширине распределения эритроцитов и проценту гематокрита ($p < 0,05$), по *BLG* – по проценту лимфоцитов, показателю гематокрита ($p < 0,05$), по *PIT-1* – по концентрации гемоглобина ($p < 0,05$). У красной степной породы различия по гену *CSN3* были по гранулоцитам, гематокриту и гемоглобину ($p < 0,05$), по *BLG* – по среднему объему эритроцитов и однородности размера тромбоцитов ($p < 0,05$), по *PIT-1* – по однородности размера тромбоцитов ($p < 0,05$). Схожие ранжированные ряды значений в породах позволяют рекомендовать показатели для дальнейшего изучения ассоциаций генетического полиморфизма.

7. Животные симментальской породы с генотипом *CSN3^{BB}* имели более низкие уровни кортизола и адренкортикотропного гормона по сравнению с другими генотипами ($p < 0,001$), что отражает их повышенную стрессоустойчивость. У красной степной породы, напротив, уровень гормонов был выше у животных с генотипом *CSN3^{BB}* ($p < 0,001$). По генам *BLG* и *PIT-1* статистически значимых различий не выявлено.

8. Установлено влияние полиморфизма генов на стрессоустойчивость животных. Статистически значимые различия обнаружены по распределению типов стрессоустойчивости у животных разных генотипов. У симменталов доля животных с высоким типом стрессоустойчивости преобладает у генотипа BLG^{AB} , со средним – у $CSN3^{AB}$, BLG^{BB} и $PIT-1^{AB}$. Коровы красной степной породы со средним и высоким типом стрессоустойчивости имели те же генотипы, с добавлением $CSN3^{AA}$ и $PIT-1^{BB}$.

9. Установлены степень и направление связи между показателями молочной продуктивности, гематологическими и биохимическими показателями крови у животных симментальской и красной степной пород с учетом их генотипической принадлежности, которые можно использовать в оценке функциональной изменчивости признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева, Н. М. Биохимические показатели крови молодняка герефордской породы в условиях Якутии / Н. М. Алексеева, Романова, П. П. Борисова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 7. – С. 37–43.
2. Алиев, А. А. Обмен веществ у жвачных животных / А. А. Алиев. – Москва : НИЦ «Инженер». – 1997. – 420 с.
3. Алипанах, М. Влияние полиморфизма гена каппа-казеина на признаки продуктивности коров красно-пестрой породы / М. Алипанах, Г. В. Родионов, Л. А. Калашникова [и др.] // Материалы международной научно-практической конференции. – Минск, 2005. – С. 68–69.
4. Амерханов, Х. А. Сохранение генетического разнообразия крупного рогатого скота – основа успешного развития животноводства / Х. А. Амерханов, Г. С. Шеховцев, Е. М. Колдаева [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2023. – № (1) 3. – С. 37–43.
5. Анисимова, Е. И. Молочная продуктивность голштинизированных черно-пестрых коров разных генотипов / Е. И. Анисимова, Л. В. Данилова, Д. Д. Горошко [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 9. – С. 52–54.
6. Артемьев, А. М. Влияние генотипа каппа-казеина на технологические свойства молока коров черно-пестрой породы Московской области : матер. межд. науч. конф. / Артемьев А. М., Родионов Г. В., Калашникова Л. А. // Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных – Дубровицы, 2006. – С. 24–26.
7. Афанасьев М. П. Экспрессия генов белка молока у разных видов сельскохозяйственных животных / Афанасьев М. П., Хаертдинов Р. А. // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 2. – С. 43–46.
8. Афанасьева, А. И. Аллельный полиморфизм гена каппа-казеина (CSN3) / Афанасьева А. И., Сарычев В. А. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 9 (203). – С. 44–49.

9. Ахметов, Т. М. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина в стадах крупного рогатого скота / Т. М. Ахметов, С. В. Тюлькин, О. Г. Зарипов // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2010. – № 202. – С. 36–41.
10. Багаль, И. Е. Мониторинг высшей селекционной группы коров холмогорской породы / И. Е. Багаль, В. Л. Ялуга, И. Ю. Павлова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2014. – № 5. – С. 57–59.
11. Багаль, И. Е. Молочная продуктивностью корова холмогорской породы с разными генотипами молочных белков / И. Е. Багаль., Я. А. Хабибрахманова, Л. А. Калашникова // Молоч. и мясн. скотоводство. – 2015. – № 7. – С. 6–9.
12. Бадагуева, Ю. Н. Исследование полиморфизма гена каппа-казеина у крупного рогатого скота и родственных видов / Ю. Н. Бадагуева, Г. Е. Сулимова, И. Г. Удина // Молекулярно-генетические маркеры животных : Тез. Докл. II международной конф. – Киев. – 1996. – С. 5.
13. Баршинова А. В. Полиморфизм гена каппа-казеина и его связь с хозяйственно полезными признаками скота красно-пестрой породы: автореф. дис. канд. биол. наук: 06.02.01 / Баршинова Анна Вячеславовна. – Лесные Поляны Московской области, 2005. – 19 с.
14. Басонов, О. А. Влияние продуктивного потенциала женских предков, способов содержания и технологий доения на показатели молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы / О. А. Басонов, Абдулхаликов Р. З., Тарчоков Т. Т. [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. – 2023. – № 1 (39). – С. 92–100.
15. Бейшова, И. С. Влияние аллелей полиморфных генов bPIT-1, bGH и bGHR на показатели роста у крупного рогатого скота аулиекольской породы / И. С. Бейшова // Успехи современной науки. – 2017. – № 4. – С. 160–165.
16. Бейшова, И. С. Оценка ассоциации парных сочетаний полиморфных вариантов генов соматотропинового каскада bPIT-1, bGH, bGHR и bIGF с мясной продуктивностью крупного рогатого скота аулиекольской породы казахстанской

- селекции / И. С. Бейшова, Е. В. Белая, В. П. Терлецкий // Известия ОГАУ. – 2018. – № 1 (69). – С. 160–164.
17. Бексеитов, Т. К. Молочная продуктивность коров симментальской породы с различными генотипами по гену каппа-казеина / Т. К. Бексеитов, Г. Г. Джаксыбаева, Б. Атейхан [и др.] // Вестник государственного университета им. Шакарима. – 2016. – № 2 (74). – С. 209–212.
18. Белая, Е. В. Оценка индивидуального фенотипического эффекта полиморфных вариантов генов гипофизарного фактора роста-1 (bPIT-1) и инсулиноподобного фактора роста-1 (bIGF-1) на признаки молочной продуктивности у черно-пестрого голштинизированного крупного рогатого скота / Е. В. Белая, М. Е. Михайлова, Н. В. Батин // Молекулярная и прикладная генетика. – 2012. – Т. 13. – С. 30–35.
19. Бигаева, А. В. Сыропригодность молока коров с разными генотипами каппа-казеина / А. В. Бигаева, Х. Х. Гильманов, С. В. Тюлькин [и др.] // Сыроварение и маслоделие. – 2019. – № 56 (6). С. 26–27.
20. Валитов, Ф. Р. Качественный состав молока коров с разными генотипами по гену каппа-казеина / Ф. Р. Валитов, И. Ю. Долматова, И. Н. Ганиева [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2014. – Т. 219. – № 3. – С. 70–73.
21. Валитов, Ф. Р. Ассоциация комплексных генотипов по генам альфа-лактальбумина и бета-лактоглобулина с молочной продуктивностью и технологическими свойствами молока / Ф. Р. Валитов, И. Ю. Долматова, Ю. А. Соловьёва // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2014. – № 3. – С. 73–80.
22. Васильева, С. В. Клиническая биохимия крупного рогатого скота / С. В. Васильева, Ю. В. Конопатов – СПб. : «Лань», 2017. – 188 с.
23. Витушкина, М. А. Сыропригодность молока при производстве сыров / М. А. Витушкина, М. А. Дулепова // Вестник науки : международный научный журнал – 2020. – Т. 5. – № 8 (29). – С. 59–63.

24. Волохов, И. М. Качество молока и молочных продуктов животных создаваемого Поволжского типа красно-пестрого скота разных генотипов по каппа-казеину / И. М. Волохов, О. В. Пашенко, Д. А. Скачков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3 (27). – С. 1–5.
25. Гайнутдинова, Э. Р. Идентификация полиморфизма гена РГТ-1 в Татарстанской популяции крупного рогатого скота голштинской породы / Э. Р. Гайнутдинова, Н. Ю. Сафина, Ш. К. Шакиров // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2019. – Т. 237 (I). – С. 40–43.
26. Галлямова, А. Р. Полиморфизм каппа-казеина в связи с продуктивностью крупного рогатого скота бестужевской и черно-пестрой пород: автореф. дис. канд. биол. наук: 06.02.01 / Галлямова Альбина Рифовна. – Уфа, 2008 – 19 с.
27. Галлямова, А. Р. Каппа-казеин – важнейший селекционный критерий в молочном скотоводстве / А. Р. Галлямова, С. Исламова // Молочное и мясное скотоводство. – 2008. – № 2. – С. 17–18.
28. Ганиева, Е. С. Сравнительный анализ биологической и пищевой ценности молока разных сельскохозяйственных животных / Е. С. Ганиева, Канарейкина С. Г., Хабирова Ф. А. [и др.] // Вестник БГАУ. – 2021. № 1. С. 49–55.
29. Гареева, И. Т. Взаимосвязь полиморфных вариантов генов пролактина и в-лактоглобулина с молочной продуктивностью коров: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.02.07 / Гареева Инзира Талгатовна. – Санкт-Петербург, 2012. – 20 с.
30. Гатилова, Е. В. Встречаемость генотипов каппа-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров разных пород / Е. В. Гатилова, Л. В. Ефимова, О. В. Иванова // Вестник АПК Ставрополя. – 2020. – № 4 (40). – С. 42–47.
31. Гетманцева, Л. В. Полиморфизм гена ROU1F1 у коров красной степной породы / Л. А. Гетманцева, М. А. Леонова, А. Ю. Колосова [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 12 (130). – С. 23–25.

32. Гладырь, Е. А. Характеристика аллелофонда якутского скота по микросателлитам / Е. А. Гладырь // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 6. – С. 65–69.
33. Глазко, В. И. Полиморфизм каппа-казеина у пород крупного рогатого скота / В. И. Глазко, Е. В. Журавель // Вестник аграрной науки. – 1997. – № 5. – С. 78.
34. Глазко, В. И. ДНК-технологии: проблемы и перспективы / В. И. Глазко // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 1. – С. 9–20.
35. Глазко, В. И. ДНК маркеры и "Микросателлитный код" / В. И. Глазко // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – Т. 58, № 2. – С. 223–248.
36. Глотова Г.Н. Молочная продуктивность и качество молока холмогорской породы разных генотипов по каппа-казеину и бета-лактоглобулину: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Рязань, 2007. – 24 с.
37. Гончаренко Г.М. Генетическая структура популяций сельскохозяйственных животных Западной Сибири и использование маркёров в селекции: автореф. дисс. ... докт. биол. наук: 06.02.01 / Гончаренко Галина Моисеевна. – Новосибирск, 2009. – 37 с.
38. Гончаренко, Г. М. Использование генетических маркеров в селекции свиней / Г. М. Гончаренко, Е. Г. Акулич, Н. Б. Гришина, Т. С. Горячева. – Новосибирск : СибНИПТИЖ – 2011. – С. 6–12.
39. Гончаренко, Г. М. Полиморфизм гена k-казеина и технологические свойства молока у корова симментальской породы в Республике Алтай / Гончаренко Г. М., Горячева Т. С., Медведева Н. С. // С.-х. биология. – 2013. – № 6. – С. 123–126.
40. Гончаренко, Г. М. Влияние голштинизации симментальской породы на изменение полиморфизма генов CSN3 и BLG и их связь с продуктивностью и сыропригодность / Г. М. Гончаренко, Н. Б. Гришина, О. В. Плахина [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 44–53.
41. Гончаренко, Г. М. Полиморфизм гена CSN3 симментальской породы скота разных эколого-географических зон и связь генотипов с продуктивностью / Г. М.

- Гончаренко, Н. Б. Гришина, О. В. Плахина [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 6 (263). – С. 47–53.
42. Гончаренко, Г.М. Полиморфизм гена к-казеина и сыродельческие признаки молока коров симментальской / Г. М. Гончаренко, Т. С. Горячева, Н. С. Медведева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 10. – С. 45–47.
43. Горелик, О. В. Влияние генотипа по каппа-казеину на молочную продуктивность и выбраковку коров / О. В. Горелик, Д. А. Афонина, А. А. Белооков [и др.] // Аграрная наука. – 2022. – № 7–8. – С. 110–113.
44. Горина, Т. А. Сычужные ферменты компании «Христиан Хансен» – традиции и качество / Т. А. Горина // Сыроделие и маслоделие. – 2009. – № 4. – С. 36–37.
45. Гостева, Е.Р. Полиморфизм гена каппа-казеина симментальских коров немецкой и отечественной селекции в Поволжье / Е. Р. Гостева, И. В. Виноградова, Е. А. Гладырь [и др.] // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – №7 (1). С. 1–4.
46. Джаксыбаева, Г. Г. Биохимические и гематологические характеристики крови коров красной степной породы, разводимой в Павлодарской области Казахстана / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев // Ветеринария, зоотехния и биотехнология – 2024. – № 3 – С. 52–63.
47. Джаксыбаева, Г. Г. Видовое генотипирование по полиморфизму сателлитной ДНК / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев // Научный форум: Инновационная наука: сб. ст. по материалам LXVI междунар. науч.-практ. конф. – 2023 – № 11 (66) – С. 10–16.
48. Джаксыбаева, Г. Г. Генотипирование по полиморфизму митохондриальной ДНК крупного рогатого скота / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев // Сборник статей по материалам ХСІ международной научно-практической конференции «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке» – 2023 – № 7 (83). – С. 29–38.
49. Джаксыбаева, Г. Г. Генотипирование по полиморфизму сателлитной ДНК химерных животных / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев // Материалы

международной научно-практической конференции Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии». – 2023 – С. 99–104.

50. Джаксыбаева, Г. Г. Анализ генофонда случайно амплифицированной полиморфной ДНК / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев, Н. Н. Кайниденов // Сборник статей по материалам LIV международной научно-практической конференции «Advances in Science and Technology». – 2023 – С. 6–8.
51. Джаксыбаева, Г. Г. Полиморфные варианты генов CSN3, BLG крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Казахстанской селекции / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев, Н. Н. Кайниденов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология – 2024. – № 2 – С. 123–142.
52. Джаксыбаева, Г. Г. Полиморфные варианты гена P1T-1 крупного рогатого скота симментальской, красной степной пород республики Казахстан / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев, Н. Н. Кайниденов // Вестник НГАУ – 2023 – № 3 (68) – С. 167–175.
53. Джаксыбаева, Г. Г. Биохимические показатели у коров красной степной породы Павлодарской области Казахстана / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев, О. И. Себежко // Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы. Сборник статей по материалам II Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию академика В.Г. Рядчикова – 2024 – С. 381–387.
54. Джаксыбаева, Г. Г. Идентификация генов, ассоциированных с молочной продуктивностью коров симментальской и красной степной пород Казахстана / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев // Вестник НГАУ. – 2025. – № 1. – С. 142- 150 .
55. Долматова, И. Ю. Оценка генетического потенциала крупного рогатого скота по маркерным генам / И. Ю. Долматова, Ф. Р. Валитов // Вестник Башкирского университета. – 2015. – Т. 20. – № 3. – С. 850–853.

56. Донник, И. М. Подходы к редактированию генома сельскохозяйственных животных / И. М. Донник, В. А. Макутина, А. С. Кривоногова [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53. – № 9. – С. 101–110.
57. Донник, И. М. Генетические технологии для сохранения биоресурсного потенциала сельскохозяйственных животных / И. М. Донник, В. А. Макутина, А. Г. Исаева [и др.] // Ветеринария Кубани. – 2023. – № 4. – С. 1–6.
58. Донник, И. М. Молочная продуктивность и стрессоустойчивость чёрно-пестрых коров разного генотипа / И. М. Донник, Чеченихина, О. Г. Лоретц // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – № 4. – С. 35–40.
59. Дроздов, Е. В. Анализ полиморфизма генов каппа-казеина, β -лактоглобулина, пролактина, ген релизинг-фактора и соматотропина по AluI и MspI маркерам у коров айрширской породы / Е. В. Дроздов, В. В. Заякин, И. Я. Нам // Вестник Брянского гос. ун-та. – 2009. – С. 119–125.
60. Дроздов, Е. В. Аллельный полиморфизм гена P1T-1 в стадах крупного рогатого скота Брянской области и его связь с молочной продуктивностью / Е. В. Дроздов, В. В. Заякин, И. Я. Нам // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 5 (3). – С. 235–239.
61. Дунин, И. М. Основные направления селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве России / И. М. Дунин // Сб. докл. сиб. науч-практ. конф. – Красноярск. – 2006. – С. 3–8.
62. Егорашина, Е. В. Молочная продуктивность коров разных пород во взаимосвязи с генотипами по каппа-казеину и бета-лактоглобулину / Е. В. Егорашина, Р. В. Тамарова // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2019. – № 2 (27). – С. 79–85.
63. Ельчанинов, В. В. Номенклатура и биохимические свойства основных сывороточных белков. Беталактоглобулин / В. В. Ельчанинов // Сыроделие и маслоделие. – 2009. – № 2. – С. 38–39.
64. Ельчанинов, В. В. Номенклатура и биохимические свойства казеинов коровьего молока. Каппа-казеины / В. В. Ельчанинов, А. В. Кригер // Сыроделие и маслоделие. – 2008. – № 5. – С. 53–56.

65. Епишко, О. А. Влияние генов бета-лактоглобулина и пролактина на показатели молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы / О. А. Епишко, В. В. Пешко // сб. науч. тр. под редакцией В.К. Пестиса. – Гродно, 2017. – С. 52–59.
66. Епишко, О. А. Генетическая структура крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы по генам CSN2 и CSN3 / О. А. Епишко, В. В. Пешко, Л. А. Танана [и др.] // Вклад науки и практики в обеспечение продовольственной безопасности страны при техногенном ее развитии : Сборник научных трудов международной научно-практической конференции – 2021 – С. 114–117.
67. Епишко, О. А. Использование генов LGB, PRL и GH в качестве маркеров молочной продуктивности в селекции крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы / О. А. Епишко, В. В. Пешко, Н. Н. Пешко // Уч. зап. учреждения образования Витебская ордена «Знак почета» гос. академия ветеринарной медицины. – 2018. – Т. 54. – № 2 – С. 84–88.
68. Заикина, Е. В. Особенности морфологического и биохимического составов крови бычков разных эколого-генетических групп / Е. В. Заикина, Н. П. Герасимов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 1 (33). – С. 238 – 240.
69. Зиновьева, Н. А. Применение ДНК-диагностики для анализа генов-кандидатов локусов количественных признаков сельскохозяйственных животных / Н. А. Зиновьева, Е. А. Гладырь, Д. А. Фролкин // Животноводство XXI век: научные труды ВИЖа. – Дубровицы, Московская обл., 2001. – Вып. 61. – С. 218–224.
70. Зиновьева, Н. А. Методические рекомендации по использованию метода полимеразной цепной реакции в животноводстве / Н. А. Зиновьева, А. П. Попов, Л. К. Эрнст [и др.] – Дубровицы : ВИЖ, 1998. – 47 с.
71. Зиновьева, Н. А. Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных. Аналитический обзор / Н. А. Зиновьева, В. А. Багиров, Е. А. Гладырь [и др.] // С.-х. биология. – 2016. – Т. 51. – № 2. – С. 264–268.

72. Зиновьева, Н. А. Генетические ресурсы животных: развитие исследований аллелофонда Российских пород крупного рогатого скота / Н. А. Зиновьева, А. А. Сермягин, А. В. Доцев [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 4. – С. 631–641.
73. Зырянова, А. А. Генетическая структура симментальского скота по гену каппа-казеина и ее влияние на молочную продуктивность / А. А. Зырянова, М. Ю. Севостьянов, О. А. Шевкунов // Вестник Курганской ГСХА.– 2022.– № 1 (41). – С. 26–31.
74. Иванов, В. А. Генотипы пород крупного рогатого скота и качество молока / В. А. Иванов, Н. С. Марзанов, Л. И. Елисеева // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2017. – № 3. – С. 48–65.
75. Ильина, А. В. Аллельный полиморфизм крупного рогатого скота Ярославской породы по генам молочной продуктивности / А. В. Ильина, М. В. Абрамова, С. В. Зырянова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2018. – № 24 (53). – С. 55–62.
76. Ильина, А. В. Генетические аспекты в работе с ярославской породой крупного рогатого скота / А. В. Ильина, А. В. Коновалов, М. В. Абрамова // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2017. – № 3 (51). С. 109–114.
77. Инге-Вечтомов С. Г. Генетика с основами селекции: Учеб. для биол. спец. ун-тов / С. Г. Инге-Вечтомов. – М. : Высш. шк., 1989. – 591 с.
78. Иолчиев, Б. С. Влияние локуса каппа-казеина на продуктивность коров / Б. С. Иолчиев, Г. Левина, Т. Миносян [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2003. – № 5. – С. 34–35.
79. Исламова, С. Применение ДНК-технологии в селекции / С. Исламова, Ф. Исламов, И. Долматова [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2007. – № 5. – С. 2–4.

80. Исхаков, Р. С. Гематологические показатели чистопородного и помесного молодняка / Р. С. Исхаков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3. – С. 45 – 48.
81. Калашникова, Л. А. ДНК-технологии оценивают сельскохозяйственных животных / Л. А. Калашникова. – Московская область, Лесные поляны: ВНИИплем, 1999. – 148 с.
82. Калашникова, Л. А. Перспективы улучшения технологических свойств молока коров черно-пестрой породы с использованием ДНК маркеров по гену каппа-казеина / Л. А. Калашникова // Материалы международной научной конференции. – Дубровицы, 2004. – 104 с.
83. Калашникова, Л. А. Влияние генотипа каппа-казеина на молочную продуктивность и технологические свойства молока коров холмогорской породы / Л. А. Калашникова, В. Г. Труфанов // Доклады РАСХН. – 2006. – № 4. – С. 43–44.
84. Калашникова, Л. А. Полиморфизм локуса гена каппа-казеина у красно-пестрой породы крупного рогатого скота / Л. А. Калашникова, Н. А. Стрелкова, Е. П. Голубина // В сб.: «Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных». – ВИЖ. Дубровицы, 2002. – С. 137–138.
85. Калашникова, Л. А. Исследование полиморфизма генов молочных белков у крупного рогатого скота черно-пёстрой породы самарского типа / Л. А. Калашникова, В. А. Грашин, А. А. Грашин // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2015. – № 4. – С. 18–28.
86. Камалдинов, Е. В. Биометрические методы обработки экспериментальных данных и моделирования в сельском хозяйстве и биологии: учебное пособие / Е. В. Камалдинов, С. Г. Куликова, М. Л. Кочнева [и др.]. – Новосибирск : НГАУ, 2024. – 165 с.
87. Карпов, П. А. Характеристика бестужевской породы по каппа-казеину и устойчивости животных к маститу: сб. науч. тр. «Природа Сибирского Поволжья» / П. А. Карпов, А. А. Толманов. – Ульяновск. – 2005. – Вып. 6. – С. 208–211.

88. Кириленко, С.Д. Идентификация генотипов по каппа-казеину и BLAD мутации с использованием полимеразной цепной реакции у крупного рогатого скота / С. Д. Кириленко, В. И. Глазко // Цитология и генетика. – 1995. – № 6. – С. 60–62.
89. Коновалова, Е. Н. Полиморфизм гена каппа-казеина и его влияние на признаки продуктивности коров симментальской породы / Е. Н. Коновалова, В. И. Сельцов, Н. А. Зиновьева // В сб.: «Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных». – ВИЖ. Дубровицы, 2004. – С. 49–54.
90. Коновалова, Е. Н. Гены белков молока и микросателлитные профили в популяциях симментальского скота различного происхождения / Е. Н. Коновалова, О. А. Львина, В. И. Сельцов, Н. А. Зиновьева // Сельскохозяйственная биология. – 2007. – № 6. – С. 35–40.
91. Корнелаева, М. В. Технологические свойства и качественный состав молока и молочной сыворотки коров в зависимости от влияния генотипов каппа- и бета-казеина / М. В. Корнелаева, Г. Г. Карликова, А. А. Сермягин // Ветеринария, Зоотехника и Биотехнология – 2023. – № 7 (116). – С. 109–121.
92. Косилов, В. И. Морфологические и биохимические показатели крови тёлочек чёрно-пёстрой породы и её помесей / В. И. Косилов, А. Г. Джалов, Е. А. Никонова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 5 (61). – С. 77–80.
93. Косилов, В. И. Биохимический состав сыворотки крови бычков разных генотипов / В. И. Косилов, Н. К. Комарова, А. Я. Сенько // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5 (85). – С. 189 – 192.
94. Костомахин, Н. М. Признаки продуктивности у скота голштинской породы, их наследуемость, генетические и фенотипические корреляции // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии: сб. докл. XXIII Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2020. – С. 238–244.
95. Костомахин, Н. М. Динамика молочной продуктивности коров холмогорской породы по лактациям / Н. М. Костомахин, М. А. Габедава, О. А. Воронкова //

Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса: сб. статей по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф., посв. 125-летию со дня рождения Терентия Семеновича Мальцева. – 2020. – С. 487–491.

96. Костюнина, О. В. Молекулярная диагностика генетического полиморфизма основных белков молока и их связь с признаками молочной продуктивности / Костюнина О. В. // Автореф. дис. канд. биол. наук / Дубровицы. – 2005. – С. 24.
97. Кочнев, Н. Н. Влияние полиморфизма – 824 A/G гена фактора некроза опухоли на молочную продуктивность коров / Н. Н. Кочнев, Т.И. Крыцина, Айтназаров Р.Б. [и др.] // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2014. – № 4. – С. 68–73.
98. Кочнев, Н. Н. Проблема генетической безопасности популяций сельскохозяйственных животных / Н. Н. Кочнев // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – Т. 38. – № 4. – С. 21–25.
99. Кочнев, Н. Н. Молекулярно-биологические исследования в селекции животных и сохранении генетического разнообразия пород / Н. Н. Кочнев, М. Л. Кочнева, Г. М. Гончаренко [и др.] // В сборнике: Развитие биотехнологии: новая реальность. Сборник Международной научно-практической конференции, приуроченной к 100-летию юбилею Почётного ректора НГАУ, профессора, доктора сельскохозяйственных наук И.И. Гудилина. – Новосибирск, 2022. – С. 125–131.
100. Криворучко, С. В. Оценка по гену каппа-казеина молочного скота, разводимого в хозяйствах Ставропольского края / С. В. Криворучко // Российский ветеринарный журнал. – 2012. – № 4. – С. 20–21.
101. Крупин, Е. О. Влияние аллелей генов CSN3, LGB, PRL, GH, TG5 на молочную продуктивность и энергетическую ценность коровьего молока / Е. О. Крупин, Ш. К. Шакиров // Карпатский журнал пищевых наук и технологий. – 2019. – № 11(4). – С. 104–115.
102. Крупин, Е. О. Молочная продуктивность и качество молока коров в зависимости от генотипа / Е. О. Крупин, Ш. К. Шакиров, М. Ш. Тагиров // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 4 (44). – С. 120–125.

103. Кузнецов, В. М. Основы научных исследований в животноводстве / В. М. Кузнецов. – Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. – 506 с.
104. Ладыка, В. Анализ комплексных генотипов бета- и каппа-казеина быков молочных пород / В. Ладыка, Ю. Складенко, Ю. Павленко // Разведение и генетика животных. – 2020. – № 60. – С. 99–109.
105. Ламонов, С. А. Особенности адаптивной селекции крупного рогатого скота на стрессоустойчивость / С. А. Ламонов, Ю. П. Загороднев. – Мичуринск : БИС, 2019. – 86 с.
106. Лемякин, А. Д. Реализация генетического потенциала черно-пестрых коров разных генотипов по гену каппа-казеина / А. Д. Лемякин, Л. С. Баданина, К. Д. Сабетова [и др.] // Сельскохозяйственная наука Евро-Северо-Восток. – 2023. – № 24 (6). – С. 1021–1028.
107. Логвинова, Т. И. Молекулярно-генетический анализ свиней с помощью AFLP маркеров / Т. И. Логвинова, Н. А. Зиновьева, Е. А. Гладырь // Животноводство и молочное дело – 2011. – С. 1–2.
108. Лоретц, О. Г. Влияние генотипа каппа-казеина на технологические свойства молока / О. Г. Лоретц, Е. В. Матушкина // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 3 (121). – С. 23– 26.
109. Лоретц, О. Г. Молочная продуктивность и технологические свойства молока различных генотипов по каппа-казеину / О. Г. Лоретц // Ветеринария Кубани. – 2014. – № 2. – С. 6–8.
110. Максимчук, М. Г. Молочная продуктивность и репродуктивная функция коров черно-пестрой голландской породы разных генотипов / М. Г. Максимчук, Г. Н. Левина // Аграрная наука. – 2023. – №1 (8). – С. 53–57.
111. Марзанов, Н. С. Характеристика пород крупного рогатого скота, разводимых в предгорной зоне Северного Кавказа, по различным типам генетических маркеров / Марзанов Н. С., М. Х. Тохов, З. Л. Дохова [и др.] // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2014. – № 2. – С. 79–94.

112. Марзанов, Н. С. Генетические особенности коров бурой швицкой породы и их влияние на технологические свойства молока / Н. С. Марзанов, М. Х. Тохов, З. Л. Дохова [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 1. – С. 28–30.
113. Марченко, Г. Использование симментальского скота и проблема сохранения его генофонда / Г. Марченко, К. Барышникова // Молочное и мясное скотоводство. – 2002. – № 6. – С. 4–6.
114. Матушкина Е. В. Характеристика каппа-казеина как фракции молочного белка / Е. В. Матушкина // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 9 (127). – С. 38–40.
115. Матюков, В. С. Внутрипопуляционная дифференциация чистопородного холмогорского скота по генным частотам локуса каппа-казеина / В. С. Матюков // Цитология и генетика. – 2004. – Т. 38. – № 2. – С. 46–50.
116. Машуров, А. М. Генетические маркеры в селекции животных / А. М. Машуров. – М. : Наука, 1980. – 315 с.
117. Меркурьева, Е. К. Основы биометрии / Е. К. Меркурьева. – М. : МГУ, 1963. – 238 с.
118. Меркурьева, Е. К. Генетика с основами биометрии / Е. К. Меркурьева, Г. Н. Шангин-Березовский. – М. : Колос, 1983. – 400 с.
119. Миннахметов, А. Х. Молочная продуктивность коров татарстанского типа с разными генотипами по каппа-казеину и пролактину / А. Х. Миннахметов, Р. А. Хаертдинов, Ш. К. Шакиров [и др.] // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2013. – Т. 215. – С. 237–240.
120. Митюков, А. С. Генетическая обусловленность внутривидовых количественных вариаций полиморфных систем белков молока: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.15 / Митюков Алексей Савельевич. – Л., 1974. – 20 с.
121. Михайлова, М. Е. Влияние *HinFI*-полиморфизма гена гипофизарного фактора роста *bPIT-1* на признаки молочной продуктивности крупного рогатого скота голштинской и белорусской черно-пестрой пород / М. Е. Михайлова, Е. В. Белая // Молекулярная и прикладная генетика: сб. науч. тр. – 2010. – Т. 11. – С. 120–126.

122. Михайлова, М. Е. Генотипирование полиморфных вариантов генов гормона роста (GH) и рилизинг фактора (RIT-1), ассоциированных с молочной продуктивностью крупного рогатого скота / М. Е. Михайлова, Е. В. Белая, Н. М. Волчок [и др.] // Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных: роль нанотехнологий в реализации приоритетных задач биотехнологии. – Дубровицы : ВИЖ. – 2008. – С. 185–189.
123. Муллахметов, Р. Р. Полиморфизм гена каппа-казеина у быков-производителей / Р. Р. Муллахметов, Т. М. Ахметов, С. В. Тюлькин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2010. – Т. 202. – С. 145–151.
124. Некрасов, А. А. Влияние полиморфизма генов молочных белков и гормонов на энергию роста телок черно-пёстрой голштинской породы / А. А. Некрасов, А. Н. Попов, Н. А. Попов [и др.] // Таврический научный обозреватель. – 2016. – № 5(10). – С. 91–95.
125. Немцов, А. А. Полиморфизм по гену каппа-казеина быков различных пород на головном племпредприятии Башкортостана / А. А. Немцов, И. Ф. Юмагузин, Е. Н. Коновалова, Н. А. Зиновьева // Сельскохозяйственная биология. – 2006. – № 4. – С. 65–67.
126. Никонова, Е. А. Белковый состав, активность аминотрансфераз сыворотки крови и показатели естественной резистентности тёлочек разных генотипов / Е. А. Никонова, И. В. Миронова, Т. Н. Коков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (95). – С. 307–311.
127. Отаров, А. И. Морфологические и биохимические показатели крови бычков разных генотипов в условиях высокогорной зоны Кабардино-Балкарской Республики / А. И. Отаров, Ф. Г. Каюмов, Р. Ф. Третьякова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (96). С. 277–281.

128. Паронян, И. А. Сохранение и использование отечественного генофонда животных – важнейшая задача животноводства России / И. А. Паронян, О. П. Юрченко, С. А. Шабанова // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 4. – С. 70–71.
129. Павлова, Н. И. Оценка аллельного и генотипического разнообразия крупного рогатого скота Якутии по генам молочности / Н. И. Павлова // Наука и образование. – 2016. – № 3. – С. 122–127.
130. Павлова, Н. И. Полиморфизм генов CSN3, LGB И PRL у крупного рогатого скота, разводимого в республике Саха (Якутия) / Н. И. Павлова, Н. П. Филиппова, А. В. Чугунов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 11. – С. 103–106.
131. Парыгина, Е. В. Связь аллельных вариантов а и в гена бета-лактоглобулина с молочной продуктивностью крупного рогатого скота / Е. В. Парыгина, И. С. Кожевникова // Генетика. – 2023. – Т. 59. – № 2. – С. 127–134.
132. Перчун, А. В. Оценка костромской породы крупного рогатого скота по ДНК-маркерам хозяйственно полезных признаков: автореф. дис. канд. биол. наук. – Лесные Поляны, 2015. – 23 с.
133. Перчун, А. В. Полиморфизм генов CSN3, bPRL и bGH у коров костромской породы в связи с показателями молочной продуктивности / А. В. Перчун, И. В. Лазебная, С. Г. Белокуров [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11 (2). – С. 304–308.
134. Петухов, В. Л. Генетические основы селекции животных / В. Л. Петухов, Л. К. Эрнст, И. И. Гудилин [и др.]. – Москва: Росагропромиздат, 1989. – 448 с.
135. Петухов, В. Л. Методические указания по биометрии / В. Л. Петухов. – Новосибирск, 1980. – 85 с.
136. Погорельский, И. А. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина (BLG) в стаде крупного рогатого скота черно-пестрой породы и взаимосвязь его генотипов с показателями молочной продуктивности / И. А. Погорельский, М. В. Позовникова // Генетика и разведение животных. – 2014. – № 1. – С. 45–47.

137. Позовникова, М. В. Связь полиморфизма гена РГТ-1 с продуктивными признаками голштинизированного черно-пестрого скота / М. В. Позовникова, Г. Н. Сердюк // Генетика и разведение животных. – 2017. – №. 4. – С. 37–41.
138. Покусай, О. Е. Влияние полиморфизма генов молочных белков на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы / О. Е. Покусай // Научный журнал. – 2011. – № 10 (15). – С. 66–69.
139. Польских, С. С. Гематологические показатели симментальских бычков мясного типа / С. С. Польских, М. Д. Кадышева, С. Д. Тюлебаев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. – № 1 (51). С. 157–159.
140. Ражина, Е. В. Влияние генетических модификаций каппа-казеина и линейной принадлежности на молочную продуктивность коров / Е. В. Ражина, О. Г. Лоретц // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 69. – С. 377–380.
141. Рачкова, Е.Н. Наследуемость молочной продуктивности в зависимости от полиморфизма гена бета-лактоглобулина / Е. Н. Рачкова // Уч. зап. Казанской гос. академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2016. – Т. 226. – № 2. – С. 209–213.
142. Саморуков, Ю. В. Селекционно-генетические основы повышения белкомолочности коров / Ю. В. Саморуков, Г. С. Марзанов. – М. : Быково, 2004. – 50 с.
143. Саморуков, Ю. В. Сохранение и рациональное использование генофонда молочного скота Российской Федерации / Ю. В. Саморуков, Н. С. Марзанов. – М. : Быково, 2002. – 49 с.
144. Самусенко, Л. Генотип коров – основа качества молока / Л. Самусенко, С. Химичева // Молоко и молочные продукты. Производство и реализация. – 2012. – № 2. – С. 17–19
145. Сафина, Н. Ю. Молочная продуктивность голштинского скота с разными генотипами гена каппа-казеина (CSN3) / Н. Ю. Сафина, Э. Р. Гайнутдинова, С. Шакиров // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 10. – С. 93–97.

146. Сафина, Н. Ю. Влияние полиморфизма комплекса генов CSN3 и LGB на молочную продуктивность голштинского скота / Н. Ю. Сафина, Э. Р. Гайнутдинова, Ф. Ф. Зиннатова // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 5. – С. 64–67.
147. Сафина, Н. Ю. Полиморфизм гена β -лактоглобулина (LGB) и его взаимосвязь с экономически важными признаками голштинского скота / Н. Ю. Сафина, Ф. Ф. Зиннатова, Ю. Р. Юльметьева [и др.] // Зоотехния и ветеринария. – 2018. – Т. 32. – № 9. – С. 78–80.
148. Семенюк, О. В. Молекулярно-генетические аспекты оценки и прогнозирования молочной продуктивности крупного рогатого скота: Дис.... канд. биол. наук: 03.00.23 Ставрополь, 2006. 147 с.
149. Сибагатуллин, Ф. С. Сравнительная характеристика быков-производителей с разными ДНК-маркерами по молочной продуктивности женских предков / Ф. С. Сибагатуллин, Р. Р. Шайдуллин, Г. С. Шарафутдинов [и др.] // Ветеринарный врач. – 2017. – № (1). – С. 52–59.
150. Сивков, А. И. Гематологические и биохимические показатели крови коров различных генотипов / А. И. Сивков // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 2. – С. 72–74
151. Скоркина, И. А. Значение типов стрессоустойчивости коров в адаптивной селекции / И. А. Скоркина, С. А. Ламонов, Е. Н. Третьякова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (58). – С. 92–95.
152. Солошенко, В. А. Повышение белкомолочности крупного рогатого скота с использованием молекулярно-генетических маркеров / В. А. Солошенко, Г. М. Гончаренко, Е. Г. Акулич [и др.] – Новосибирск : СибНИПТИЖ – 2011. – С. 10–12.
153. Сулимова, Г. Е. ДНК-маркеры в генетических исследованиях: типы маркеров, их свойства и области применения / Г. Е. Сулимова // Успехи современной биологии. – 2004. – № 3. – С. 260–271.

154. Сулимова Г. Е. Молекулярно-генетический анализ генома животных и человека с использованием ДНК-маркеров // автореф. дисс. докт. биол. наук. – Москва, 1998. – 50 с.
155. Тамарова, Р. В. Влияние разных генотипов каппа-казеина и бета-лактоглобулина на продуктивность коров айрширской, голштинской и ярославской пород / Р. В. Тамарова, Е. В. Егорашина // Главный зоотехник. – 2021. – № 12. – С. 9–27.
156. Тельнов, Н.О. Влияние генотипа каппа-казеина на молочную продуктивность и технологические свойства молока коров красной степной породы в Республике Мордовия / Н. О. Тельнов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2 (34). – С. 160–163.
157. Тельнов Н.О. Генотипирование красно-пёстрого скота по генам каппа-казеина и бета-лактоглобулина методами ДНК-анализа: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.02.07 / Тельнов Никита Олегович. - Саранск, 2017. – 23 с.
158. Терлецкий, В. П. Молекулярно-генетический анализ популяционной структуры генофондных пород крупного рогатого скота / В. П. Терлецкий, В. И. Тыщенко // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 6. – С. 5–7.
159. Терлецкий, В. П. Молекулярно-генетические методы анализа генетической изменчивости в популяциях животных / В. П. Терлецкий // Международный Аграрный Журнал. – 1998. – № 4. – С. 38–40.
160. Терлецкий, В. П. Скрининг на носительство мутаций, детерминирующих развитие наследственных заболеваний у племенного крупного рогатого скота / В. П. Терлецкий // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2016. – № 3 (31). – С. 1–5.
161. Тинаев, А. Хозяйственно-полезные признаки черно-пестрого скота с разными генотипами каппа-казеина /А. Тинаев// Молочное и мясное скотоводство. – 2005. – № 5. – С. 30–32.
162. Ткаченко, И. В. Полиморфизм генов каппа-казеина, бета-лактоглобулина и соматотропина у высокопродуктивных коров Уральского типа / И. В. Ткаченко,

- М. Ю. Севостьянов, А. А. Грин // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2020. – № 1. – С. 328–331.
163. Третьякова, Р. Ф. Гематологические показатели крови у бычков разных генотипов / Р. Ф. Третьякова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 3 (83). – С. 321–324.
164. Третьякова, Р.Ф. Сезонные изменения в морфологическом и биохимическом составе крови у бычков калмыцкой породы разных генотипов / Р. Ф. Третьякова, Х. А. Амерханов, Е. Д. Куш // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101. – С. 15–21.
165. Тюлькин, С. В. Технологические свойства молока коров с разными генотипами каппа-казеина и бета-лактоглобулина в условиях республики Татарстан / С. В. Тюлькин, Т. М. Ахметов, М. Г. Нургалиев // Продукты питания и сырье. – 2018 – № 6 (1). С. 154–162.
166. Тюлькин, С. В. Влияние генотипа коров на их продуктивность и качество молока / С. В. Тюлькин // Пищевые системы. – 2018. – Т. 1. – № 3. – С. 38–43
167. Тюлькин, С. В. Полиморфизм гена каппа-казеина в стадах крупного рогатого скота Республики Татарстан / С. В. Тюлькин, Т. М. Ахметов, Л. Р. Загидуллин [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2016. – Т. 225. – № 1. – С. 148–151.
168. Федотова, Н. В. Полиморфизм бета-лактоглобулина и оценку молочную продуктивности черно-пестрых коров разных генотипов / Н. В. Федотова, Г. С. Лозовая // Вестн. Алтайского гос. ун-та. – 2011. – № 6 (80). – С. 57–60.
169. Хабибрахманова, А. Я. Полиморфизм генов молочных белков и гормонов крупного рогатого скота: автореф. дисс. .канд. биол. наук: 06.02.01 / Хабибрахманова Язиля Аминовна. – ВНИИплем. Лесные Поляны. Московской обл., 2009. – 19 с.
170. Хаертдинов, Р. А. Содержание белков в молоке коров бестужевской породы с различными генотипами по альфа-, бета-, каппа-казеинам и бета-лактоглобулину / Р. А. Хаертдинов // Сельскохозяйственная биология. – 1988. – № 5. – С. 71–75.

171. Хаертдинов, Р. А. Селекция на повышение белковомолочности и улучшение технологических свойств молока / Р. А. Хаертдинов. – Казань : Матбугатйорты, 2000. – 123 с.
172. Хаертдинов, Р. А. Белки молока / Р. А. Хаертдинов, М. П. Афанасьев, Р. Р. Хаертдинов. – Казань : Издательство «Идеал-Пресс», 2009. – 256 с.
173. Харисова, К. Молочная продуктивность коров дочери быков разных линии и генотипа каппа-казеина / К. Харисова, Т. Ахметов, Р. Шайдуллин // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. – 2022. – № 1(4). – С. 56–59.
174. Харитонов, С. Н. Состояние всемирных генетических ресурсов животных в сфере продовольствия и сельского хозяйства / С. Н. Харитонов, Т. Т. Глазко, В. Н. Виноградов [и др.]. – М. : ГНУ ВИЖ Россельхозакадемии, 2010. – 512 с.
175. Харламов, А. В. Влияние воздействия генов CSN3 И LGB на показатели молочной продуктивности коров / А. В. Харламов, В. А. Панин, В. И. Косилов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 5 (79). – С. 223–225.
176. Харченко, П. Н. ДНК-технологии в развитии агробιологии / П. Н. Харченко, В. И. Глазко. – М. : «Воскресенье», 2006. – 480 с.
177. Хорошилова, Т. С. Полиморфизм CSN3, BLG, PRL генов и их связь с молочной продуктивностью коров и качеством молочных продуктов маркерам : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.02.07 Новосибирск, 2021 – 21 с.
178. Худякова, Н. А. Частота встречаемости генотипов k-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров холмогорской породы / Н. А. Худякова, И. С. Кожевникова, Е. Н. Щипакова [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – № 25 (1). – С. 75–81.
179. Худякова, Н. А. Характеристика аллелотипа по локусу каппа-казеина у молочных коров разных пород / Н. А. Худякова, И. В. Селькова, А. А. Первухина [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2022. – № 5. – С. 24–29.
180. Чаицкий, А. А. Оценка уровня реализации биологического потенциала у крупного рогатого скота костромской породы с различными аллельными вариантами гена

- каппа-казеина / А. А. Чаицкий, Н. С. Баранова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 4 (56). С. 33–37.
181. Чаицкий, А. А. Влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров / А. А. Чаицкий, А. Д. Лемякин, А. Н. Тяжченко [и др.] // Вестник АПК Верхневолжья. – 2022. – № 2 (58). – С. 33–43.
182. Чеченихина, О. С. Стрессоустойчивость и молочная продуктивность крупного рогатого скота Урала в зависимости от технологии доения / О. С. Чеченихина, Е. С. Смирнова, Ю. А. Степанова // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 07 (222). – С. 68–78.
183. Чиждва, Л. Н. Результаты генотипирования молочного скота по гену каппа-казеина / Л. Н. Чиждва // Сельскохозяйственный журнал. – 2013. – С. 1–6.
184. Чиждва, Л. Н. Оценка генетического потенциала молодняка молочного скота по маркерным генам CSN3, GH, PIT-1, PRL / Л. Н. Чиждва, Е. С. Суржикова, Т. Н. Михайленко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1. – С. 40–46.
185. Чиждва, Л.Н. Междородная дифференциация аллельного полиморфизма генов CSN3, PIT1, PRL, GH, LEP молочного скота / Л. Н. Чиждва, Е. С. Суржикова, А. И. Чудновец [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2020. – 1 (37). – С. 34–38.
186. Шайдуллин, Р. Р. Комплексное влияние полиморфизма генов CSN3 И DGAT1 на молочную продуктивность черно-пестрого скота / Р. Р. Шайдуллин, А. С. Ганиев // «Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии» – 2017. – № 2 (38). – С. 156–159.
187. Шайдуллин, Р. Р. Оценка полиморфизма гена каппа казеина у животных черно-пестрой породы / Р. Р. Шайдуллин, А. С. Ганиев // Животноводство и молочное дело. – 2015. – С. 104–109.
188. Шайдуллин, Р. Р. Прирост живой массы тёлоч с разными генотипами по генам каппа-казеина и диацилглицерол о-ацилтрансферазы / Р. Р. Шайдуллин // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2018. – Т. 233. – № 2. – С.165–168.

189. Шайдуллин, Р. Р. Сыропригодность молока черно-пестрых коров с разными генотипами каппа-казеина и диацилглицерол о-ацилтрансферазы / Р. Р. Шайдуллин, Г. С. Шарафутдинов, А. Б. Москвичёва // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2. – С. 59–63.
190. Шайдуллин, Р. Р. Межлинейный полиморфизм гена каппа-казеина и его влияние на молочную продуктивность коров / Р. Р. Шайдуллин, Г. С. Шарафутдинов, А. Б. Москвичёва [и др.] // Достижения науки техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 5. – С. 51–54.
191. Шапканова, Е. В. Молочная продуктивность чёрно-пёстрого скота с разными генотипами бета-лактоглобулина / Е. В. Шапканова // Зоотехния. – 2010. – № 12. – С. 2–3.
192. Шевхужев, А. Ф. Продуктивность и гематологические показатели крови коров симментальской породы австрийской селекции различных внутрипородных типов / А. Ф. Шевхужев // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (3). – С. 602–605.
193. Щеголев, П. О. Полиморфизм гена каппа-казеина в популяциях молочного скота Костромской области и его влияние на молочную продуктивность коров / П. О. Щеголев, А. Д. Лемякин // Аграрная наука. – 2022. – № 10. – С. 77-85.
194. Щипакова, Е. Н. Характеристика молочного белка каппа-казеина крупного рогатого скота / Е. Н. Щипакова, И. С. Кожевникова // Молочное и мясное скотоводство. – 2023. – № 6. – С. 20–24.
195. Эйдигович, Е. В. Интерьер сельскохозяйственных животных / Е. В. Эйдигович, В. В. Раевская. – М. : Колос, 1978. – 255 с.
196. Эрнст, Л. К. Генетические основы селекции сельскохозяйственных животных / Л. К. Эрнст. – М. : ВНИИЖ, 2009 – 736 с.
197. Эрнст, Л. К. Биологические проблемы животноводства в XXI веке / Л. К. Эрнст, Н. А. Зиновьева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л.К. Эрнста (Подольск), 2008 – 508 с.

198. Юдин, Н. С. Молекулярно-генетические маркеры экономически важных признаков у молочного скота / Н. С. Юдин, М. И. Воевода // Генетика. – 2015. – № 51 (5). – С. 600–612.
199. Юхманова, Н. Влияние каппа-казеина на качество молока и его сыропригодность / Н. Юхманова, Л. А. Калашникова // Молочное и мясное скотоводство. – 2004. – № 8. – С. 24–25.
200. Ялуга, В. Л. Полиморфизм генов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP холмогорских коров / В. Л. Ялуга, В. П. Прожерин, Я. А. Хабибрахманова [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2018. – № 4. – С. 5–8.
201. Ярлыков, Н. Г. Влияние генотипа каппа-казеина на сыропригодность молока коров ярославской породы и михайловского типа [Текст] : монография / Н. Г. Ярлыков, Р. В. Тамарова. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2012. – 124 с.
202. Anderson, B. PIT-1 determines cell types during development of the anterior pituitary gland / B. Anderson, M. G. Rosenfeld J. // Biol. Chem. – 1994. – V. 269. – P. 29335-29338.
203. Anggraeni, A. Genetic variants of k-casein and κ -lactoglobulin genes and their associations with protein and milk components of Holstein Friesian cows at small farmers in Lembang west Java / A. Anggraeni, X. S. Nouri, E. Andreas [et al] // in 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Food Security: A Comprehensive Approach, KnE Life Sciences. – 2017. – P. 86–94.
204. Anggraeni, A. Genetic polymorphism of GHR|Ssp and Pit1|Stu1 loci of twin and multiple births in local peranakan Ongole cattle / A. Anggraeni, S. A. Asmarasari, F. Saputra // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020 – Vol. 788. – P. 1–8.
205. Antonopoulos, D. Identification of Polymorphisms of the CSN2 Gene Encoding β -Casein in Greek Local Breeds of Cattle / D. Antonopoulos, D. Vougiouklaki 1, G. P. Laliotis [et al] // Veterinary science. – 2021. – № 8 (11). – С. 257.

206. Ardicli, S. Evaluation of candidate gene effects and environmental factors on reproductive performance of Holstein cows / S. Ardicli, H. Samli, B. Soyudal [et al] // South African J. Animal Sci. – 2019. – Vol. 49. – № 2. – P. 380–394.
207. Asmaa, W. Z. Association of β -lactoglobulin gene polymorphism with milk yield, fat and protein in holstein-friesian cattle / W. Z. Asmaa, A. Ashraf, Iman E. [et al] // World's Veterinary J. – 2016. – Vol. 6. – № 3. – P. 117–122.
208. Asmarasari, S. Kappa casein (CSN3) gene polymorphism and its effect on cumulative milk yields of Holstein Friesian dairy cattle / S. Asmarasari, C. Sumantri, A. Gunawan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021 – Vol. 902 (1). – P. 1–9.
209. Barbosa, S. B. P. Genetic association of variations in the kappa-casein and β -lactoglobulin genes with milk traits in girolando cattle / S. B. P. Barbosa, Í. I. M. de Araújo, M. F. Martins [et al] // Revista Brasileira de Saude e Producao Animal. – 2019. – Vol. 20. – № 0312019. – P. 1–12.
210. Bartonova, P. Association between CSN3 and BCO2 gene polymorphisms and milk performance traits in the Czech Fleckvieh cattle breed. / P. Bartonova, I. Vrtkova // Genet Mol Res. – 2012. – № 1. – P. 1058.
211. Bayraktar, M. Molecular characterization of Kappa-casein and β -lactoglobulin genes in Anatolian Black cattle and Holstein breeds / M. Bayraktar // Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. – 2022. – Vol. 74. – № 1. – P. 133–140.
212. Beishova, I. Evaluation of Polymorphic Variants of the Genes bPIT-1, bGH, bGHR as Genetic Markers of Meat Productivity in Cows of Auliekol Breed / I. Beishova, A. Belaya, A. Nametov [et al] // Research Journal of Medical Sciences. – 2021. – Vol. 15. – P. 6–14.
213. Bielecka, M. Antioxidant, antimicrobial and anticarcinogenic activities of bovine milk proteins and their hydrolysates – A review / M. Bielecka, G. Cichosz, H. Czczot // Intern. Dairy J. – 2022. – Vol. 127. – P. 1–13.

214. Bohlouli, M. Genome-wide associations for heat stress response suggest potential candidate genes underlying milk fatty acid composition in dairy cattle / M. Bohlouli, K. Halli, T. Yin [et al] // J. Dairy Sci. – 2022. – Vol. 105. – № 4. – P. 3323 – 3340.
215. Bologa, M. Peculiarities of extraction of β -lactoglobuline in protein mineral concentrates at electroactivation of whey / M. Bologa, E. Vrabie, I. Paladii [et al] // One Health & Risk Management. – 2021. – Vol. 1. – № 1. – P. 52–68.
216. Bosman, G. P. Limited lactosylation of beta-lactoglobulin from cow's milk exerts strong influence on antigenicity and degranulation of mast cells / G. P. Bosman, S. Oliveira, P. J. Simons [et al] // Nutrients. – 2021. – Vol. 13. – № 2041. – P. 1–13.
217. Cendron F. Effects of β - and κ -casein, and β -lactoglobulin single and composite genotypes on milk composition and milk coagulation properties of Italian Holsteins assessed by FT-MIR / F. Cendron, M. Franzoi, M. Penasa [et al] // Italian J. Animal Sci. – 2021. – Vol. 20. – № 1. – P. 2243–2253.
218. Chess, S. Analysis of candidate SNPs affecting milk and functional traits in the dual-purpose Italian Simmental cattle / S. Chessa, E. L. Nicolazzi, L. Nicoloso [et al] // Livestock Sci. – 2015. – Vol. 173. – P. 1–8.
219. Cichosz G. The anticarcinogenic potential of milk fat / G. Cichosz, H. Czeczot, M. Bielecka // Annals Agricultural and Environmental Med. – 2020. – Vol. 27. – № 4. – P. 512–518.
220. Citek, J. Comparison of growth hormone and kappa-casein gene polymorphism in Polish Red and German Red cattle breeds / J. Citek, A. Filistowicz, V. Rehout, V. Neubauerova // Appl. Genet. – 2000. – Vol. 41. – № 3. – P. 181– 185.
221. Cítek, J. Gene polymorphisms influencing yield, composition and technological properties of milk from Czech Simmental and Holstein cows / J. Cítek, M. Brzáková, L. Hasonová // Animal Bioscience. – 2021. – Vol. 34. – № 1 – P. 2–11.
222. Czerniawska-Piątkowska, E. Relationship between Milk Protein Polymorphism and Selected Cows' Reproductive Indices / E. Czerniawska-Piątkowska, B. Cioch-Szklarz, A. Kowalczyk // Animals. – 2023. – № 13(11). – P. 1–10.

223. Daetwyler, H. D. A genome scan to detect quantitative trait loci for economically important traits in holstein cattle using two methods and a dense single nucleotide polymorphism map. / H. D. Daetwyler, F. S. Schenkel [et al] // J. Dairy Sci. – 2008. – № 91. – P. 3225–3236.
224. Djedović, R. Relationship between genetic polymorphism of κ -casein and quantitative milk yield traits in cattle breeds and crossbreds in Serbia / R. Djedović, V. Bogdanović, P. Perišić [et al] // Genetika. – 2015. – № 47 (1). – P. 23–32.
225. Dokso, A. Utjecaj genetskih varijanti β -laktoglobulina, κ -kazeina i α s1-kazei na nakoličinu i kvalitetu mlijeka holstein, simentalске ismeđe pasmine goveda u Hrvatskoj / A. Dokso, A. Ivanković, M. Brka [et al] // Mljekarstvo. – 2014. – Vol. 64. – № 1. – P. 49–56.
226. Dybus, A. Associations between polymorphism of growth hormone releasing hormone (GHRH) and pituitary transcription factor 1 (PIT1) genes and production traits of Limousine cattle / A. Dybus, M. Kmiec, Z. Sobek [et al] // Arch. Tierz., Dummerstorf. – 2003. – Vol. 46. – P. 527–534.
227. Dybus, A. Zych PIT1-HinfI gene polymorphism and its associations with milk production traits in polish Blackand-White cattle / A. Dybus, E. Szatkowska, W. Czerniawska-Piatkowska [et al] // Arch. Tierz. – 2004. – 47 (6). – P. 557–563.
228. Ebrahimi Hoseinzadeh, Z. Association of PIT1 Gene with Milk Fat Percentage in Holstein Cattle / Z. Ebrahimi Hoseinzadeh, M. R. Mohammadabadi, A. Esmailizadeh [et al] // Iranian Journal of Applied Animal Science. – 2015. – № 5 (3). – P. 575–582.
229. Falaki, M. Relationships of growth hormone gene and milk protein polymorphisms to milk production traits in Simmental cattle / M. Falaki, A. Prandi, C. Corradini [et al] // J. Dairy Res. – 1997. – № 64 (1). – P. 47–56.
230. Fan, X. Polymorphisms of the kappa casein (CSN3) gene and inference of its variants in water buffalo (*Bubalus bubalis*) / X. Fan, Z. Zhang, L. Qiu [et al] // Archives Animal Breeding. – 2019. № 62(2). – P. 585–596.
231. Ferreira, J. B. Polymorphisms of leptin, β -lactoglobulin and pituitary transcription factor have no effect on milk characteristics in crossbred cows / J. B. Ferreira, M. M.

- Guilhermino, J. H. Leite [et al] // Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinariae Zootecnia. – 2019. – Vol. 71. – № 2. – P. 715–719.
232. Ferretti, L. Long range restriction analysis of the bovine casein genes / L. Ferretti, P. Leone, V. Sgaramella // Nucleic Acids Research. – 1990 – Vol. 18(23) – P. 6829–6833.
233. Fox, P. F. Milk: An overview / P. F. Fox. – Burlington : Elsevier Inc, 2009. – P. 1–54.
234. Gengler, N. Capitalizing on fine milk composition for breeding and management of dairy cows / N. Gengler, H. Soyeurt, F. Dehareng [et al] // Journal of Dairy Science. – 2015. – № 99 (5). – P. 4071–4079.
235. Hamza, A. Kappa Casein Gene Polymorphism in Holstein Chinese Cattle / A. Hamza, X. Wang, Z. Yang [et al] // Pakistan Veterinary Journal – 2010. – № 30. – P. 203–206.
236. Pinder, S. J. Analysis of polymorphism in the bovine casein genes by use of the polymerase chain reaction / S. J. Pinder, B. N. Perry, C. J. Skidmore [et al] // Animal Genetics – 1991. – № 22. – P. 11–20.
237. Heidari, M. Effect of polymorphic variants of GH, PIT-1, and BLG genes on milk production of Holstein cows / M. Heidari, M. A. Azari, S. Hasani [et al] // Rus. J. Genet. – 2012. – Vol. 48. – № 4. – P. 417–421.
238. Huang, W. Association between milk protein gene variants and protein composition traits in dairy cattle / W. Huang, F. Penagaricano, K. R. Ahmad [et al] // J. Dairy Sci. – 2012. – Vol. 95. – № 1. – P. 440–449.
239. Isidore, H. Genetic diversity and relationships among indigenous Borgou and White Fulani cattle breeds based on milk protein loci: Implications for breed improvement and conservation in Benin / H. Isidore, C. Salifou, A. Missihoun // Livestock Research for Rural Development. – 2020. – № 32 (1). C. 1–6.
240. Iung, L. H., Genome-wide association study for milk production traits in a Brazilian Holstein population / L. H. Iung, J. Petrini, G. B. Mourão // Journal of Dairy Science. – 2019. – № 102 – P. 5305–5314.
241. Kamiński, S. Long-term changes in the frequency of beta-casein, kappa-casein and beta-lactoglobulin alleles in Polish Holstein-Friesian dairy cattle / S. Kamiński, T. Zabole-

- wicz, K. Oleński // *Journal of Animal and Feed Sciences*. – 2023. – Vol. 32 (2) – P. 205–210.
242. Kelly, D. Associations between milk protein polymorphisms and milk production in Holstein-Friesian cows / D. Kelly, F. Dunne, R. Evans // *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*. – 2022. – P. 2863–2866.
243. Khaizakan, Z. A. Analysis of selected milk traits in Palestinian Holstein-Friesian cattle in relation to genetic polymorphism / Z. A. Khaizakan, F. J. Al-Razem // *Cell Anim. Biol.* – 2014. – 8 (5). – P. 74–85.
244. Kharina, L. V. Selection and Breeding of Dairy Cattle in Western Siberia / L. V. Kharina, I. A. Korsheva, N. V. Markina [et al] // *KnE Life Sciences*. – 2021. – P. 232–239.
245. Khastayeva, A. Zh. Influence of the kappa casein genotype on the technological properties of cow milk of Simmental and Alatau breeds / A. Zh. Khastayeva, L. A. Mamayeva, A. T. Abylgazinova // *Functional & Integrative Genomics*. – 2021. – Vol. 21. – P. 231–238.
246. Klauzinska, M. L. Comparison of selected gene polymorphisms in Polish red and Polish black-and-white cattle / M. L. Klauzinska, L. Zwierzchowski, E. Siadkowska [et al] // *Animal Science Papers and Reports*. – 2000. – Vol. 18. – P. 107–116.
247. Klauzinska, M. L. Polymorphism of molecular-genetic systems in the Polish red cattle / M. L. Klauzinska, E. Siadkowska, R. Grochowska [et al] // *Citology and Genetics*. – 2001. – Vol. 1. – P. 58–60.
248. Kochnev, N. Genotyping of selection-significant polymorphisms of cattle of the Western Siberia / N. Kochnev, G. Goncharenko, S. Mager [et al] // *Intern. Sci. and Pract. Conf. «Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad»*. – 2020. – Vol. 222. – № 03019. – P. 1–8.
249. Kolenda, M. The polymorphism in various milk protein genes in Polish holstein-friesian dairy cattle / M. Kolenda, B. Sitkowska // *Animals*. – 2021. – № 11 (2). – P. 1–8.

250. Konzak, J. D. Functional isoforms of PIT-1 generated by alternative messenger RNA splicing / J. D. Konzak, D. Moore // *Mol. Endocrinol.* – 1992. – Vol. 6. – P. 241–247.
251. Kumar, S. Analysis of beta-casein gene (CSN2) polymorphism in Tharparkar and Frieswal cattle / S. Kumar, R. V. Singh, A. Kumar // *Indian Journal of Animal Research.* – 2020. – T. 54. – № 1. – C. 1–5.
252. Kyselová, J. Physiochemical characteristics and fermentation ability of milk from Czech Fleckvieh cows are related to genetic polymorphisms of β -casein, κ -casein, and β -lactoglobulin / J. Kyselová, K. Ječmínková, J. Matějčková [et al] // *Asian-Australas J Anim Sci.* – 2019. – Vol. 32. – № 1 – P. 14–22.
253. Ladyka, V. Evaluation of cow genotypes by kappa-casein of dairy breeds / V. Ladyka, T. Drevytska, J. Pavlenko // *Animal breeding and genetics.* – 2022. – № 25(1). – P. 1–6.
254. Li, S. Dwarf locus mutants lacking three pituitary cell types result from mutations in the POU-domain gene PIT-1 / S. Li, E. B. Creshaw, E. J. Rawson [et al] // *Nature.* – 1990. – Vol. 347. – P. 528–534.
255. Markus, C. R. Whey Protein Rich in Alpha-Lactalbumin Increases the Ratio of Plasma Tryptophan to the Sum of the Other Large Neutral Amino Acid and Improves Cognitive Performance in Stress-Vulnerable Subjects / C. R. Markus, B. Olivier, H. F. de Haan // *American Journal of Clinical Nutrition.* – 2002. – № 75. – P. 1051–1056.
256. Matejcek, A. The association between candidate gene LGB and milk production parameters in Czech Fleckvieh / A. Matejcek // *Series for Animal Sciences.* – 2005. – V.2 (22). – P. 155–158.
257. Mattos, K. K. Association of bGH and PIT-1 gene variants with milk production traits in dairy Gyr bulls / K. K. Mattos, S. N. Lama, M. L. Martinez [et al] // *Pesq. agropec. bras. Brasilia.* – 2004. – Vol. 39 (2). – P. 147–150.
258. Miluchová, M. Association of HindIII-polymorphism in kappa-casein gene with milk, fat and protein yield in holstein cattle / M. Miluchová, M. Gábor, J. Candrák [et al] // *Acta biochimica Polonica.* – 2018. – № 65 (3). – C. 403–407.

259. Miluchova, M. Analysis of genetic structure in Slovak Pinzgau cattle using five candidate genes related to milk production traits / M. Miluchova, M. Gabor, A. Trakovicka // *Genetika*. – 2014. – № 46 (3). C. 865–875.
260. Molee, A. Effect of casein genes – beta-LGB, DGAT1, GH, and LHR – on milk production and milk composition traits in crossbred Holsteins / A. Molee, C. Poompramun, P. Mernkrathoke // *Genet. Mol. Res.* – 2015. – Vol. 14. – № 1. – P. 2561–2571.
261. Moody, D. E. Restriction fragment length polymorphism in amplification products of the bovine PIT-1 gene and assignment of PIT-1 to bovine chromosome 1/ D. E. Moody, D. Pomp, W. Barensse // *Anim. Gen.* – 1995. – Vol. 26. – P. 45-47.
262. Morkûnienė, K. Genetic diversity of milk protein beta-lactoglobulin and association with production traits genomic values among Holstein cattle // K. Morkûnienė, I. Miceikienė, S. Kerzienė [et al] / *Indian J. Animal Sci.* – 2018. – Vol. 88. – № 11. – P. 1289–1293.
263. McSweeney, P. *Advanced Dairy Chemistry* / P. L. H. McSweeney, P. F. Fox. – Springer Science & Business Media, 2013. – 548 p.
264. Mukesh, M. Analysis of bovine pituitary specific transcription factor-Hinf I gene polymorphism in Indian zebuine cattle / M. Mukesh, M. Sodhi, B. Prakash [et al] // *Livestock Science*. – 2008. – Vol. 113. – P. 81–86.
265. Neamt, R. I. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle / R. I. Neamt, S. Saplacan, S. Acatincai [et al] // *Acta Biochim Pol.* – 2017. – № 64 (3). – P. 493–497.
266. Nikšić, D. The influence of genetic β -lactoglobulin polymorphism on the quantity and quality of milk of the simmental breed in Serbia / D. Nikšić, V. Pantelić, D. O. Andrić [et al] // *Genetika*. 2021. – Vol. 53. – № 1. P. 263–270.
267. Otaviano, A. Kappa casein gene study with molecular marker in female buffalos / A. Otaviano, H. Tonhati, J. A. D. Sena [et al] // *Gene and Mol.Biol.* – 2005. – № 28(2). – P. 237–241.

268. Ozdemir, O. Relationships between milk protein polymorphisms and production traits in cattle: a systematic review and meta-analysis / O. Ozdemir, S. Kopuzlu, M. Topal [et al] // Arch Anim Breed. – 2018. – № 61. – P. 197–206.
269. Pagnacco, G. Effects of casein and β -lactoglobulin on renneting properties of milks / G. Pagnacco // Journal of Dairy Research. – 1987. – Vol. 54. – P. 479–485.
270. Patel, R. K. Allelic frequency of kappa-casein and beta-lactoglobulin in Indian crossbred (Bos Taurus x Bos indicus) dairy bulls / R. K. Patel // Turk. J. Vet. Anim. Sci. – 2007. – № 31 (6). – P. 399–402.
271. Petrovska, S. The influence of kappa-casein and beta-lactoglobulin genotypes on milk coagulation properties in Latvia dairy breed / S. Petrovska, D. Jonkus, J. Zagorska [et al] // Research for Rural Development. – 2017. – № 2. – P. 74–80.
272. Pinder, S. J. Analysis of polymorphism in the bovine casein genes by use of the polymerase chain reaction / S. J. Pinder, B. N. Perry, C. J. Skidmore [et al] // Animal Genetics. – 1991. – Vol. 22. – P. 11–20.
273. Prastowo, S. Variasi Genotipe dan Alel Gen PIT1/HinfI pada Sapi Perah Friesian Holstein Lokal di Boyolali Jawa Tengah / S. Prastowo, S. Sarah, G. Pambuko [et al] // Journal of Tropical Animal and Veterinary Science. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 36–44.
274. Renaville, R. PIT-1 gene polymorphism, milk yield, and conformation traits for Italian Holstein-Friesian bulls / R. Renaville, N. Gendler, E. Vrech // J. Dairy Sci. – 1997. – Vol. 80. – P. 3431–3438.
275. Sabour, M. P. Association between milk protein genetic variants and genetic values of Canadian Holstein bulls for milk yield traits / M. P. Sabour, C. Y. Lin, A. J. Lee [et al] // J Dairy Sci. – 1996. – Vol. 79. – № 6. – P. 1050–1056.
276. Sadeghi, M. Genetic Variation in Hypothalamic-Pituitary Axis Candidate Genes and Their Effects on Milk Production Traits in Iranian Holstein Cattle / M. Sadeghi, M. Mokhber, M. Shahrabak // Russian Journal of Genetics. – 2022. – Vol. 58. – № 11. – P. 1393–1400.

277. Şahin Semerci, E. The effects of κ -casein, β -lactoglobulin, prolactin and DGAT1 polymorphisms on milkyields in Turkish Holstein cows / E. Şahin Semerci, M. S. Balcioğlu // Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences. – 2022. – Vol. 46, № 1. – P. 9–17.
278. Shaidullin, R. Milk productivity of black-and-white and Kholmogory cows with different genotypes of kappa-casein / R. Shaidullin, L. Zagidullin, A. Moskvicheva [et al] // BIO Web of Conferences – 2021. – № 37. – P. 1–6.
279. Smiltina, D. Molecular genetic analysis of milk protein gene polymorphism of dairy cows and breeding bulls in Latvia / D. Smiltina, Z. Grislis // Agronomy Res. – 2018. – Vol. 16. – № 3. – P. 900–909.
280. Soyudal, B. Association of polymorphisms in the CSN2, CSN3, LGB and LALBA genes with milk production traits in Holstein cows raised in Turkey / B. Soyudal, S. Ardicli, H. Samli [et al] // J. Hellenic Veterinary Med. Soc. – 2018. – Vol. 69. – № 8. – P. 1271–1282.
281. Steinberg, R. S. Polymorphisms in genes coding milk proteins and protein hormones involved in milk production traits in Brazilian Guzerá cattle / R. S. Steinberg, M.R.S. Carvalho, I. C. Rosse [et al] // Genetics and Molecular Research. – 2022. – № 21 (3) – P. 1–15.
282. Sulimova, G. Ê casein gene (CSN3) allelic polymorphism in Russian cattle breeds and its information value as a genetic marker / G. Sulimova, M. A. Azari, J Rostamzadeh [et al] // Russian Journal of Genetics. – 2007. – № 43 – P. 1–15.
283. Thuy, N. Polymorphism of PIT-1 and Prolactin Genes and Their Effects on Milk Yield in Holstein Frisian Dairy Cows Bred in Vietnam / N. Thuy, N. Thu, N. Cuong // Russian Journal of Genetics. – 2018. – Vol. 54. – № 3. – P. 346–352.
284. Trakovicka, A. Genetic polymorphism of PIT-1 gene associated with milk production traits in Holstein cattle / A. Trakovicka, N. Moravčilkova, M. Gabor, [et al] // Acta Agr. Kapos. – 2014. – № 18 (1). – P. 146–151.

285. Ünal, H. The relationships between κ -casein (CSN3) gene polymorphism and some performance traits in Simmental cattle / H. Ünal, S. Kopuzlu // Archives animal breeding. – 2022. – № 65 (1). P. 129–134.
286. Woollard, J. Rapid Communication: HinfI polymorphism at the bovine PIT1 locus / J. Woollard, C. B. Schmitz, A. E. Freeman [et al] // J. Anim. Sci. – 1994. – Vol. 72. – P. 3267.
287. Zabeel, A. K. Study the association of PIT1 gene polymorphism with milk yield and body weight traits of local breed Iraqi Cattle in Kerbala Province / A. K. Zabeel, W. J. Albazi, H. Ali // Biochemical and Cellular Archives. – 2018. – № 18 (2). – P. 1867–1871.
288. Zakizadeh, S. Polymorphism of the bovine POU1F1 gene: allele frequencies and effects on milk production in three Iranian native breeds and Holstein cattle of Iran / S. Zakizadeh, M. Reissmann, G. Rahimi [et al] // J. Biol. Sci. – 2007. – Vol 10. – № 15. – P. 2575–2578.
289. Zambrano, G. Kappa casein genotypes and curd yield in Holstein cows / G. Zambrano, Y. Eraso, C. Solarte [et al] // Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias – 2010. – № 23. – 422–428.
290. Zemlyanukhina, T. N. Milk productivity and reproductive qualities of cows depending on their stress resistance / T. N. Zemlyanukhina // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – №. 5 (199). – P. 62–66.
291. Zepeda-Batista, J. L. Potential influence of κ -casein and β -lactoglobulin genes in genetic association studies of milk quality traits / J. L. Zepeda-Batista, L. A. Saavedra-Jiménez, A. Ruíz-Flores [et al] // Asian-Australasian J. Animal Sci. – 2017. – Vol. 30. – № 12. – P. 1684–1688.
292. Zhao, Q. Associations of polymorphisms in the PIT-1 gene with growth and carcass traits in Angus beef cattle / Q. Zhao, M. E. Davis // J. Anim. Sci. – 2004. – Vol. 82. – P. 2229–2233.

293. Zhou L. Genomic predictions based on a joint reference population for the Nordic Red cattle breeds / L. Zhou, B. Heringstad, G. Su [et al] // J. Dairy Sci. – 2014. – № 97(7). – P. 4485–4496.
294. Zinnatov, F.F. Studying the association of polymorphic variants of LEP, TG5, CSN3, LGB genes with signs of dairy productivity of cattle / F. F. Zinnatov, A. H. Volkov, F. F. Zinnatova [et al] // Intern. J. Res. Pharmaceutical Sci. – 2020. – Vol. 11. – № 2. – P. 1428–1432.
295. Złotkowska, D. Differences in regulatory mechanisms induced by β -lactoglobulin and κ -casein in cow's milk allergy mouse model—in vivo and ex vivo studies / D. Złotkowska, E. Stachurska, E. Fuc [et al] // Nutrients. – 2021. – Vol. 13. – № 349. – P. 1–16.
296. Zwierzchowski, L. Effect of polymorphisms of growth hormone (GH), PIT-1, and leptin (LEP) genes, cow's age, lactation stage and somatic cell count on milk yield and composition of Polish Black-and-White cows / L. Zwierzchowski, J. Krzyzewski, N. Strzalkowska [et al.] // Anim. Sci. Pap. Rep. – 2002. – Vol. 20. – P. 213–227.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1 – Ранжирование значений биохимии крови симментальской породы

Показатель	<i>CSN3</i>	<i>BLG</i>	<i>PIT-1</i>
Щелочная фосфатаза, ед/л	BB>AA>AB	AB>AA>BB	BB>AA>AB
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	AA>BB>AB	AB>AA>BB	AA>BB>AB
Аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л	AA>AB>BB	AA>AB>BB	AB>AA>BB
Мочевина, ммоль/л	BB>AA≥AB	AA>BB>AB	AB>BB>AA
Кальций, ммоль/л	BB>AA>AB	AA>AB>BB	BB>AB>AA
Креатинин, мкмоль/л	BB>AA>AB	BB>AA>AB	AB>BB>AA
Магний, ммоль/л	BB>AB>AA	AA>AB>BB	AB>BB>AA
Фосфор, ммоль/л	BB>AA>AB	AA>BB>AB	AA>BB>AA
Общий белок, г/л	BB>AA>AB	AA>AB>BB	BB>AB>AA

Таблица 2 – Ранжирование значений биохимии крови красной степной породы

Показатель	<i>CSN3</i>	<i>BLG</i>	<i>PIT-1</i>
Щелочная фосфатаза, ед/л	AA>BB>AB	AB>BB>AA	AA>BB>AB
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л	BB>AB>AA	AB>BB>AA	BB>AB>AA
Аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л	AA>AB>BB	AB>AA>BB	BB>AB>AA
Мочевина, ммоль/л	BB>AA>AB	AA>AB>BB	BB>AB>AA
Кальций, ммоль/л	AB>AA>BB	BB>AB>AA	AA>BB>AB
Креатинин, мкмоль/л	BB>AB>AA	BB>AA>AB	AA>AB>BB
Магний, ммоль/л	BB>AA>AB	AB≥AA>BB	BB>AA>AB
Фосфор, ммоль/л	AA>BB>AB	BB≥AB>AA	BB>AB>AA
Общий белок, г/л	BB>AA>AB	AA>BB>AB	AA>BB>AB
Мочевая кислота, мкмоль/л	AA>BB>AB	BB>AB>AA	BB>AB>AA
Общий билирубин, мкмоль/л	AB>BB>AA	BB>AB>AA	BB>AB>AA
Глюкоза, ммоль/л	AA>AB>BB	AB>BB>AA	BB>AB>AA
Общий холестерин, ммоль/л	AA>AB>BB	BB>AB>AA	BB>AB>AA
Желчная кислота, мкмоль/л	AA>AB>BB	AB>BB>AA	AB>BB>AA
Лактатдегидрогеназа, ед/л	BB>AA>AB	AA>AB>BB	BB>AB>AA
Креатинкиназа, мкмоль/л	AB>AA>BB	BB>AA>AB	BB>AA>AB
Амилаза, ед/л	AA>BB>AB	AB>BB>AA	BB>AB>AA
Гамма-глутамилтранспептидаза, ед/л	BB>AA>AB	AA> AB>BB	AA>AB>BB
Триглицериды, ммоль/л	BB>AB>AA	AA>AB>BB	AB>AA>BB
Липаза, ед/л	AA>BB>AB	AA>AB>BB	AB>AA≥BB

Таблица 3 – Ранжирование значений морфологии крови симментальской породы

Показатель	<i>CSN3</i>	<i>BLG</i>	<i>PIT-1</i>
Число лейкоцитов (WBC), $10^9/\text{л}$	AB>BB>AA	AB>BB>AA	AB>AA>BB
Число лимфоцитов (LYM), $10^9/\text{л}$	AB>BB>AA	AB>AA>BB	AB>BB>AA
Содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), $10^9/\text{л}$	BB>AA>AB	BB>AB>AA	BB>AB>AA
Число гранулоцитов (GRA), $10^9/\text{л}$	AA>BB>AB	BB>AA>AB	AA>AB>BB
Процент лимфоцитов (LYM), %	AB>BB>AA	AB>AA>BB	AB>BB>AA
Процент смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), %	AB>BB>AA	BB>AA>AB	AA>AB>BB
Процент гранулоцитов (GRA), %	AA>AB>BB	BB>AA>AB	AA>BB>AB
Число эритроцитов (RBC), $10^{12}/\text{л}$	AA>BB>AB	AA>BB>AB	BB>AB>AA
Концентрация гемоглобина (HGB), г/л	BB>AB>AA	BB>AA>AB	AB>AA>BB
Средний объём эритроцитов (MCV), фл	BB>AA>AB	BB>AA>AB	AA>AB>BB
Степень отклонения размера эритроцитов от нормального RDW-CV, %	AA>AB>BB	BB>AB>AA	BB>AB>AA
Ширина распределения эритроцитов (RDW-SD), фл	BB>AB>AA	AA>AB>BB	BB>AB>AA
Гематокрит (HCT), %	BB>AB>AA	AA>BB>AB	AA>BB>AB
Число тромбоцитов (PLT), $10^9/\text{л}$	BB>AB>AA	AB>BB>AA	AA>AB>BB
Средний объём тромбоцитов (MPV), фл	BB>AA>AB	BB>AA>AB	AA>BB>AB
Однородность размера тромбоцитов (PDW, фл)	BB>AA>AB	AB>BB>AA	AA>BB>AB
Относительный объём тромбоцитов (PCT), %	BB>AB>AA	AB>BB>AA	BB>AA>AB

Таблица 4 – Ранжирование значений морфологии крови красной степной породы

Показатель	CSN3	BLG	PIT-1
Число лейкоцитов (WBC), $10^9/\text{л}$	AB>AA>BB	AA>AB>BB	BB>AB>AA
Число лимфоцитов (LYM), $10^9/\text{л}$	AB>BB>AA	AA>AB>BB	BB>AA>AB
Содержание смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), $10^9/\text{л}$	BB>AB>AA	AA>AB>BB	BB>AB>AA
Число гранулоцитов (GRA), $10^9/\text{л}$	BB>AB>AA	AB>AA>BB	AB>AA>BB
Процент лимфоцитов (LYM), %	AB>BB>AA	AB>BB>AA	BB>AB>AA
Процент смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID), %	AA>AB>BB	BB>AA>AB	AB>BB>AA
Процент гранулоцитов (GRA), %	BB>AA>AB	AB>BB>AA	AB>BB>AA
Число эритроцитов (RBC), $10^{12}/\text{л}$	AA>BB>AB	AA>AB>BB	AB>BB>AA
Концентрация гемоглобина (HGB), г/л	AA>AB>BB	AA>BB>AB	AB>BB>AA
Средний объём эритроцитов (MCV), фл	AB>AA>BB	AA>AB>BB	BB>AB>AA
Степень отклонения размера эритроцитов от нормального RDW-CV, %	AB>BB>AA	AA>AB>BB	AB>BB>AA
Ширина распределения эритроцитов (RDW-SD), фл	AA>AB>BB	AA>BB>AB	AA>BB>AB
Гематокрит (HCT), %	AA>AB>BB	AA>AB>BB	AA>BB>AB
Число тромбоцитов (PLT), $10^9/\text{л}$	AA>BB>AB	BB>AA>AB	AB>BB>AA
Средний объём тромбоцитов (MPV), фл	BB>AA>AB	AA>AB>BB	AA>AB>BB
Однородность размера тромбоцитов (PDW, фл)	AA>AB>BB	AA>AB>BB	AA>BB>AB
Относительный объём тромбоцитов (PCT), %	AA>BB>AB	BB>AA>AB	AB>BB>AA

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

АКТ о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

и.о. Председателя Правления-
ректора, д.б.н., профессор

_____ Н. Ержанов

«_____» _____ 20__ г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс

Учебно-методический совет факультета сельскохозяйственных наук в составе председателя д.с/х.н., профессора Бексеитова Т.К. и членов зав. кафедрой «Зоотехнология и ветеринария», к.с/х.н., профессора Бурамбаевой Н.Б., зав. кафедрой «Биотехнология», к.т.н., асс. профессора Исаевой К.С., к.б.н., асс. профессора кафедры «Агротехнология» Камкина В.А. составили настоящий акт о том, что в 2023-2024 учебном году на кафедре «Биотехнология» факультета сельскохозяйственных наук внедрены материалы и результаты диссертационной работы, выполненной Джаксыбаевой Г.Г., в учебный процесс.

Форма внедрения (наименование раздела лекций, лаб./практ. работы)	Объем внедрения (лекц. лаб./практ. час)	Наименование внедрения (краткое содержание внедренной работы)
Раздел лекции «Химический синтез нуклеотидной последовательности и амплификация ДНК» по дисциплине Основы генетической инженерии образовательной программы 6B05102	2 ч	Применение синтезированных олигонуклеотидов (праймеров) PstI, Hae III, HinfI.

«Биотехнология»		
Практическая работа по дисциплине Основы генетической инженерии образовательной программы 6B05102 «Биотехнология»	6 ч	1 Выделение ДНК из крови коров 2 Полимеразная цепная реакция с использованием праймеров BOSAS A/B; BLG P3/P4, Pit1-F/R. 3 Электрофорез ДНК в агарозном геле.
Раздел лекции по дисциплине Основы генетической инженерии образовательной программе 6B05102 «Биотехнология»	2 ч.	Рестрицирующие эндонуклеазы PstI, Hae III, HinfI, сайты узнавания
Раздел лекции «Системы ДНК-диагностики. Методы биотехнологии, используемые в сельском хозяйстве» по дисциплине Основы биотехнологии образовательной программы 6B05102 «Биотехнология»	2 ч.	Полиморфизм длины рестрикционных фрагментов генов κ-CN, β-LG, Pit-1.
Практическая работа по дисциплине Основы биотехнологии по образовательной программе 6B05102 «Биотехнология»	2 ч.	ПЦР-ПДРФ с использованием рестриктаз PstI, Hae III, HinfI.

Раздел лекции «Гибридная технология: получение моноклональных антител. Молекулярная диагностика» по дисциплине Клеточная биотехнология образовательной программы 6B05102 «Биотехнология»	2 ч.	Ферментный иммуносорбентный анализ гормонов
Практическая работа по дисциплинам Клеточная биотехнология, Биохимия образовательных программ 6B05102 «Биотехнология», 6B05101 Биология, 6B05103 Прикладная биология и моделирование в медицине, 6B07203 Технология продовольственных продуктов, 6B08201 Технология производства продуктов животноводства	4 ч.	Иммуноферментный анализ кортизола, АКТГ.
Раздел лекции «Белки. Ферменты» по дисциплине Биохимия образовательных программ 6B05102 «Биотехнология», 6B05101 Биология, 6B05103 Прикладная биология и моделирование в медицине, 6B07203 Технология продовольственных продуктов, 6B08201 Технология производства продуктов животноводства	2 ч.	Биохимический состав крови крупного рогатого скота. Основные показатели.
Практическая работа по дисциплине Биохимия образовательных программ 6B05102 «Биотехнология», 6B05101 Биология,	4 ч.	Биохимический анализ сыворотки крови коров на биохимическом анализаторе.

6B05103 Прикладная биология и моделирование в медицине, 6B07203 Технология продовольственных продуктов, 6B08201 Технология производства продуктов животноводства		
Раздел лекции «Белки пищевого сырья» по дисциплине Пищевая химия образовательной программы 6B07203 Технология продовольственных продуктов	2 ч.	Белки молока коров каппа-казеин, бета-лактоглобулин.
Практическая работа по дисциплине Пищевая биохимия образовательной программы 6B07203 Технология продовольственных продуктов	2 ч.	Определение белков, жиров, соматических клеток в молоке коров на анализаторе качества молока «Лактан 1-4 М».

К акту приложены:
 - решение кафедры;
 - методические указания по выполнению практических работ. Материалы к настоящему акту рассмотрены на заседании УМС факультета (протокол № ____ от ____ 20__ года).

Председатель
комиссии

(подпись) Бексеитов Т.К.

Члены комиссии

(подпись) Бурамбаева Н. Б.

(подпись) Исаева К.С.

(подпись) Камкин В. А

Декан факультета _____ Бексеитов Т.К.
(подпись)

« ____ » _____ 20__ г.

Директор НИ НУВ
Директор ДАД

М. Крыкбаева
А. Касенов

Примечание: акты внедрения в 3-х экземплярах