

На правах рукописи

Плахтюкова Виктория Романовна

**ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ КАЛЬПАИНА И СОМАТОТРОПИНА У
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРО-
ДЫ И ЕГО СВЯЗЬ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОДУКТИВНОСТИ**

06.02.07 – Разведение, селекция и генетика с.-х. животных

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ставрополь– 2020

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте овцеводства и козоводства – филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» и Федеральном государственном бюджетном общеобразовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Селионова Марина Ивановна,**
доктор биологических наук, профессор РАН,
зав. кафедрой разведения, генетики и биотехнологии
животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Официальные оппоненты: **Тюлебаев Саясат Джаксылыкович,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем
и агротехнологий РАН», заведующий отделом разведения
скота мясных пород (г. Оренбург);

Ковалюк Наталья Викторовна,
доктор биологических наук,
ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и
ветеринарии», ведущий научный сотрудник с временными
обязанностями по руководству лабораторией биотехнологии
(г. Краснодар)

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное учрежде-
ние «Поволжский научно-исследовательский институт про-
изводства и переработки мясомолочной продукции»
(г. Волгоград)

Защита диссертации состоится «25» декабря 2020 г. в 13.00 часов на засе-
дании диссертационного совета Д 999.210.02 при ФГБНУ «Северо-Кавказский
ФНАЦ», ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ по адресу: 355017, г. Ставрополь,
пер. Зоотехнический, 12, тел. 8(8652) 28-61-10, факс: 28-61-10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Ставро-
польский ГАУ и на официальном сайте университета: <http://www.stgau.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г. и размещен на сайтах: ВАК
Министерства науки и высшего образования РФ <http://www.vak.minobrnauki.gov.ru> «__» октября 2020 г.; ФГБОУ ВО «Ставропольский гос-
ударственный аграрный университет» <https://www.stgau.ru> «__» октября 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



М. Е. Пономарева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На сегодняшний день увеличение производства качественной и конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции является одной из актуальных проблем (Амерханов Х.А. и соавт., 2019; Каюмов Ф.Г., 2020). Для обеспечения сбалансированного белкового питания населения нашей страны необходима регулировка процесса производства мяса, которая возможна только при развитии специализированного мясного скотоводства. Следует отметить, что разводимый на территории Российской Федерации скот мясного направления покрывает лишь 4,0% от общей потребности населения в мясной продукции. Вследствие чего в настоящее время в нашей стране уделяется большое внимание развитию мясного скотоводства как в традиционных, так и в новых регионах, где имеются обширные территории, не используемые для пастбищ, что позволяет в разы снизить зависимость от импорта за счет увеличения количества производимого мяса внутри страны (Горлов И.Ф., Левахин В.И. и соавт., 2015; Дунин И.М., Тяпугин С.Е., Мещеров Р.К. и соавт., 2020, Каюмов Ф.Г., 2020).

Наиболее востребованным и при этом доступным способом прогнозирования продуктивных качеств мясного скота в раннем возрасте является генотипирование по генам, ассоциированным с признаками продуктивности. Особенно актуальными являются исследования по выявлению генетического полиморфизма в генах, связанных с формированием количественно-качественных параметров мышечной и жировой ткани мясного скота (Горлов И.Ф. и соавт., 2015; Мирошников С.А. и соавт., 2017; Sedykh T.A. et al., 2017).

Одним из значимых для селекции скота мясного направления продуктивности является ген кальпаина (CAPN1), который контролирует функцию ослабления связей между пучками мышечных волокон, вследствие декомпозиции кальций-зависимой цистеин-протеазы, и создает условия для равномерного распределения внутримышечного жира между волокнами, что и обеспечивает «мраморность» мяса и, следовательно, его нежность и сочность (Лысенко Н.Г. и соавт., 2016; Cierloch A., 2017; Сонич Н.А. и соавт., 2019).

Соматотропный гормон, или ген гормона роста (GH), является одним из ключевых гипофизарных регуляторов соматического роста животных, а также играет важную роль в углеводно-жировом обменном процессе (Tasuda K et al., 2008; Katoh K. et al., 2008; Lee J.H. et al., 2013; Бейшова И.С. и соавт., 2018).

Исследование мышечной ткани на морфогистологическом уровне в комплексе с другими параметрами важно для объективной всесторонней оценки качественных характеристик мяса (Хвыля С.И. и соавт., 2012; Дмитрик И.И., Селионова М.И., 2016).

Изучение аллельного полиморфизма генов-маркеров хозяйственно ценных признаков крупного рогатого скота казахской белоголовой породы с применением методов молекулярной диагностики является современным и актуальным направлением в условиях юга России.

Степень разработанности темы. Высокий спрос на «мраморную» говядину, обладающую повышенной нежностью и сочностью, определил интенсивность поиска генетических маркёров, которые оказывают влияние на формирование данных признаков. Изучению влияния аллельного состояния генов кальпаина и гормона роста на формирование признаков продуктивности мясного скота отечественных пород с целью разработки программ селекции с использованием генетических маркеров посвящены работы Л.Г. Сурундаевой, Л.А. Маевской, 2015; К.М. Джуламанова и соавт., 2016; Н.Г. Лысенко и соавт., 2016; Л.Н. Чижовой и соавт., 2016; С.А. Мирошникова и соавт., 2017; Ковалюк Н.В. и соавт., 2018; И.С. Бейшовой, 2018; Ш.А. Макаева, 2019; Л.А. Танана, 2020.

Цель и задачи исследований. Целью настоящей работы явилось определить ассоциации полиморфизма генов CAPN1 и GH с показателями продуктивности крупного рогатого скота казахской белоголовой породы и выявить желательные генотипы для использования в селекции на повышение мясной продуктивности и качества говядины.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи:

- определить генетическую структуру популяции крупного рогатого скота казахской белоголовой породы разных половозрастных групп по генам CAPN1 и GH;
- исследовать воспроизводительные качества и молочность маточного поголовья разных генотипов;
- исследовать динамику живой массы и особенности роста и развития молодняка разных генотипов в разные возрастные периоды;
- дать обоснование гематологическим и биохимическим показателям жирнокислотного состава липидов плазмы крови бычков разных генотипов;
- изучить убойные качества, физико-химические показатели мяса и морфоструктуру мышечной ткани бычков разных генотипов;
- рассчитать экономическую эффективность разведения молодняка разных генотипов.

Научная новизна исследований. Впервые осуществлен комплексный системный подход к изучению генетических параметров, ассоциированных с гематологическими показателями, морфобиохимическим статусом и количественно-качественными продуктивными характеристиками отечественной популяции крупного рогатого скота казахской белоголовой породы, разводимой в условиях юга России.

Дана характеристика генетической структуры популяции казахской белоголовой породы и оценка ее селекционной перспективности по генам CAPN1 и GH. Изучена взаимосвязь полиморфизма изучаемых генов с производительными и качественными характеристиками мясной продуктивности. Выявлены генотипы селекционно значимых аллелей генов CAPN1 и GH для селекции мясного скота направленных на увеличение мясной продуктивности и повышения качества говядины.

Теоретическая и практическая значимость работы. Исследован полиморфизм генов CAPN1 и GH в казахской белоголовой породе; установлена

положительная связь генотипов СС и VV с приростом живой массы, интенсивностью липидного обмена, выходом туши и содержанием в ней мякоти, а также с количеством, диаметром мышечных волокон и коэффициентом «мраморности».

Практическая значимость полученных данных заключается в перспективности отбора носителей желательных аллелей генов CAPN1 и GN для целенаправленного подбора родительских пар и получения большего числа потомков с гомозиготным генотипом, что обеспечит больший удельный вес в стаде животных с лучшими количественно-качественными показателями мясной продуктивности.

Установленные закономерности и практические предложения могут быть использованы при подготовке специалистов зооветеринарного и биологического профиля. На основе проведенных экспериментальных исследований выявлены зоотехнические параметры, биохимические тест-системы, молекулярно-генетические факторы для оценки потомства желательного генотипа с высоким потенциалом продуктивности, для использования в практической работе селекционеров, а также в качестве лекционного материала в учебном процессе по предметам зоотехнии, ветеринарии, биотехнологии высших образовательных учреждений.

Связь темы с планом научных исследований. Настоящая работа проводилась в соответствии с государственным планом НИР 0725-2018-0031 «Разработать и усовершенствовать биотехнологические методы генетического контроля и управления селекционным процессом при создании новых селекционных форм сельскохозяйственных животных» ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

Полученные результаты исследований внедрены в производственную деятельность СПК колхоза-племзавода «Гигант» Благодарненского района Ставропольского края и подтверждены Актом о внедрении законченных научно-исследовательских разработок в сельскохозяйственное производство.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ проекта № 19-316-90061/19. Проект получил государственный регистрационный номер АААА-А19-119121690049-5 в ЕГИСУ НИОКР (ФГАНУ ЦИТиС), тем самым обеспечивая государственный учет результатов работы.

Методология и методы исследования. Методологической основой проведения исследования явился анализ экспериментальных работ зарубежных и российских ученых в области разведения и использования маркер-зависимой селекции в породах мясного скота. Были использованы стандартные молекулярно-генетические, биохимические, зоотехнические и биометрические методики исследований, а также определения экономической эффективности.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность основана на использовании достаточного количества опытных животных, применении современных методов, оборудования, биометрической обработки экспериментальных данных с оценкой степени достоверности различий между животными разных генотипов с использованием программного обеспечения (Microsoft Office, приложение Excel).

Основные положения работы доложены и одобрены на ежегодных отчетах лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, заседаниях ученого совета ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2018–2019 гг. (г. Ставрополь); на VII Международной научно-практической конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию АПК» (г. Ставрополь, 2019); Международной научной конференции «Современные достижения и проблемы генетики и биотехнологии в животноводстве», посвященной 90-летию академика Л.К. Эрнста (п. Дубровицы, 2019); Российской научно-практической конференции с международным участием «Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства» (г. Оренбург, 2019); XIV Выставке инновационных проектов молодых ученых Северного Кавказа, приуроченной ко Дню российской науки (г. Нальчик, 2020); Международной научно-практической конференции «Биотехнологии в агропромышленном комплексе и рациональное природопользование» (г. Великий Новгород, 2020).

Основные положения, выносимые на защиту:

- полиморфизм молекулярно-генетических маркёров хозяйственно ценных продуктивных признаков CAPN1 и GH в разных половозрастных группах стада казахской белоголовой породы;
- взаимосвязь аллельного профиля генов CAPN1 и GH с молочностью коров; ростом и развитием молодняка; особенностями жирнокислотного состава липидов плазмы крови; убойными качествами, физико-химическими показателями мяса, гистоструктурой мышечной ткани у бычков разных генотипов;
- экономическая оценка разведения молодняка направленной селекции, способствующая повышению эффективности использования генетических ресурсов скота казахской белоголовой породы.

Публикация результатов исследований. По материалам диссертационной работы опубликовано 7 научных статей, в том числе 2 – в рецензируемом издании, рекомендованном ВАК Министерства образования и науки РФ, 2 – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 141 странице компьютерного текста, содержит 27 таблиц, 9 рисунков и 5 приложений, включает введение, обзор литературы, материалы и методику исследований, результаты исследований, заключение, включающее выводы, практические предложения, перспективы дальнейшей разработки темы; список использованной литературы, насчитывающий 238 источников, в том числе 102 – на иностранных языках.

Личный вклад соискателя. Работа, под руководством научного руководителя, выполнена автором самостоятельно. Характеризуется внутренним единством, включает в себя традиционные разделы содержания, четко обозначенные цель и задачи исследований.

Автором представлены материалы и методика разделов исследований, полностью выполнен весь объем экспериментальной части научно-исследовательских работ, проведен анализ и обработка первичных данных,

сформированы выводы и практические предложения производству. Доля участия соискателя при выполнении диссертации составляет 85%. Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в зоотехническую науку в области мясного скотоводства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе проанализированы исследования литературных источников отечественных и зарубежных ученых в данной области изучения генов, непосредственно влияющих на мясную продуктивность крупного рогатого скота.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Условия проведения опыта. Научно-исследовательская работа проводилась в период 2017–2020 гг. в СПК колхоз «Гигант» (Благодарненский район Ставропольского края), имеющем статус племенного завода по разведению мясного скота казахской белоголовой породы. На 01.01.2019 в хозяйстве содержалось 2663 животных данной породы, в том числе 1200 коров.

Принятая технология предусматривает круглогодичное пастбищное содержание маточного поголовья с включением концентратов в экструдированном виде. Отъем телят – в 240 дней, откорм бычков – на площадке по рационам, рассчитанным на среднесуточный привес не менее 1000 г. Содержание – без привязи на несменяемой подстилке; в летнее время выход на выгульные дворы круглосуточно, зимнее – в течение дня. Кормление – из металлических кормушек, установленных вдоль периметра выгульного двора, поение – из групповых поилок.

Объектом исследования служили быки-производители ($n = 35$), коровы ($n = 160$), телочки ($n = 64$) и бычки ($n = 93$).

Общая схема исследований приведена на рисунке 1.

Методика генотипирования. Для получения образцов ДНК кровь отбирали из яремной вены с использованием вакуумной системы S-Monovette с антикоагулянтом ЭДТА.

Генотипирование проводили в лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Выделение ДНК осуществляли с использованием набора «DIAAtomtmDNAprep», согласно протоколу производителя («Изоген», Россия). Полиморфизм гена *GH* определяли ПЦР-ПДРФ с использованием наборов «GenePakPCRCore» («Изоген») в объеме 20 мкл, содержащем 5 мкл ДНК-пробы, 10 мкл ПЦР-растворителя и по 1,0 мкл праймеров: GH-F: 5'-gct-gct-cct-gag-cct-tcg-3' и GH-R: 5'-gcg-gcg-gca-ctt-cat-gac-cct-3'. Амплификаты расщепляли рестриктазой Alu I (Kato K. et al., 2008). Генотипирование по гену *CAPN1* проводили на АНК-32

(анализаторе нуклеиновых кислот) с использованием набора реагентов «CAPN1», включающего аллель-специфичные зонды: 5'-agc-agc-cca-cca-tca-gag-aaa-3' и 5'-tca-gct-ggt-tcg-gca-gat-3' («Синтол», Россия).

Частоту аллелей, генотипов, число эффективных аллелей, наблюдаемую (Ho) и ожидаемую (He) гетерозиготность рассчитывали с использованием программного обеспечения GenAlEx 6.5



Рисунок 1 – Схема исследования

Методики химических и биохимических исследований. Содержание жирных кислот (ЖК) в плазме крови определяли на базе ФГБОУ ВО Ставропольского государственного медицинского университета – кафедры биологии, методом газожидкостной хроматографии в виде метиловых эфиров на газовом хроматографе «Кристалл 200» с капиллярной колонкой HP-FFAP 50 m 0,32 mm 0,5 µm (США). Идентификацию ЖК осуществляли с использованием стандартов фирмы Sigma и Fluka. Количественное определение ЖК

проводилось с использованием программного обеспечения «Хроматэк Аналитик» (Людина А.Ю., Кочан Т.И., Бойко Е.Р., 2006).

Биохимические исследования крови (общий белок, его фракции, глюкоза, кальций, фосфор, магний) проводили на автоматических биохимических анализаторах и согласно методикам, указанным в «Методах ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник» (Кондрахин И.П., 2004) и Методических указаниях по применению унифицированных биохимических методов исследования крови, мочи в ветеринарных лабораториях (Самохин В.Т., 1981) в отделе ветеринарной медицины ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

Методика изучения отдельных признаков продуктивности. Молочность коров оценивалась по живой массе их потомства в возрасте 205 дней. Особенности экстерьера бычков и телочек (по 6 животных каждого генотипа в каждом гене) изучали с использованием мерной палки, ленты и циркуля (Борисенко Е.Я., 1972), на основе промеров тела рассчитывали индексы телосложения. Динамика живой массы изучалась у всех тестируемых бычков при рождении и отъеме ($n = 93$), а в 12-месячном возрасте – у 6 животных каждого генотипа в каждом гене ($n = 36$), у телочек – при рождении, отъеме, в 15 и 18 месяцев у всех тестируемых животных в соответствии с определенными генотипами ($n = 464$). Живая масса определялась путем индивидуального взвешивания на электронных весах с точностью до 0,1 кг. По разнице значений и периода учета определяли среднесуточный прирост.

Убой трех животных 12-месячного возраста каждого генотипа проводили по методикам ВИЖ, ВНИИМП (1977, 1984). Химический состав (количество влаги, белка, жира) образцов длиннейшей мышцы спины (*m. longissimus dorsi*) изучали согласно ГОСТ 9793 «Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги», ГОСТ 25011 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка», ГОСТ 23042 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира».

Калорийность определяли расчетным путем по формуле В.М. Александра: $K = [C - (Ж + 3)] \times 4,1 + (Ж \times 9,3)$, где K – калорийность, ккал; C , $Ж$ – соответственно количество сухого вещества, золы, жира в граммах.

Гистологический анализ с определением площади мышечного пучка, количества и диаметра мышечных волокон, соотношение мышечной и соединительной ткани проводили согласно ГОСТа 19496-2013 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования».

Полученный цифровой материал обрабатывали биометрически, используя статистические методы, программу Microsoft Excel. Достоверность различий сравниваемых показателей по группам оценивали по критерию Стьюдента со следующим уровнем значимости: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Экономическую эффективность выращивания молодняка различных генотипов устанавливали на основе учета всех затрат и по разнице в стоимости реализованной продукции.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Полиморфизм генов CAPN1 и GH у крупного рогатого скота казахской белоголовой породы разных половозрастных групп

Анализ результатов генотипирования животных родительского стада и их потомков позволил установить, что полиморфизм генов *CAPN1* и *GH* у крупного рогатого скота казахской белоголовой породы представлен двумя соответственно аллелями – *C*, *G* и *V*, *L* и тремя генотипами – *CC*, *CG*, *GG* и *VV*, *LV*, *LL*.

Наибольшее распространение в гене *CAPN1* во всех половозрастных группах получили аллель *G* и генотип *GG*, частота которых колебалась в пределах 0,83–0,89 и 0,72–0,81; в гене *GH* – аллель *L* и генотип *LL*, встречаемость которых соответственно была в пределах 0,60–0,81 и 0,51–0,66.

Число носителей *C*- и *V*-аллелей как в гомозиготном, так и гетерозиготном состоянии было незначительным: в гене *CAPN1* – 0,03–0,22, в гене *GH* – 0,03–0,31 (таблица 1).

Таблица 1 – Полиморфизм генов CAPN1 и GH у крупного рогатого скота казахской белоголовой породы разных половозрастных групп

Показатель	CAPN1			GH		
	генотип/аллель			генотип/аллель		
	CC/C	CG	GG/G	VV/V	LV	LL/L
Быки-производители						
Частота аллелей	0,11	–	0,89	0,19	–	0,81
Частота генотипов	0,03	0,17	0,80	0,03	0,31	0,66
Коровы						
Частота аллелей	0,14	–	0,86	0,30	–	0,70
Частота генотипов	0,04	0,19	0,77	0,16	0,28	0,56
Бычки						
Частота аллелей	0,13	–	0,87	0,40	–	0,60
Частота генотипов	0,06	0,13	0,81	0,31	0,18	0,51
Ремонтные телочки						
Частота аллелей	0,17	–	0,83	0,25	–	0,75
Частота генотипов	0,06	0,22	0,72	0,11	0,28	0,61

Наибольшее число носителей *CC* и *VV* генотипов было среди маточного поголовья и составило 1,87%. Далее следовали телочки и бычки, где таких животных было 1,56% и 1,07%. Среди быков-производителей таковых генотипов не выявлено. В то же время среди них в сравнении с другими группами было выявлено наибольшее количество гетерозигот (таблица 2).

Таблица 2 – Частота встречаемости комплексных гомо- и гетерозиготных генотипов *CAPN1* и *GH* в разных половозрастных группах, %

Половозрастная группа	Генотип		
	CAPN1CCGHVV	CAPN1CCGHVL / GHVVCAPN1CG	CAPN1CGGHVL
Быки-производители	–	–	11,43
Коровы	1,87	5,00	7,50
Бычки	1,07	4,30	4,30
Ремонтные телочки	1,56	7,81	6,25

Анализ теста гетерозиготности, рассчитанного на сопоставлении фактически наблюдаемой гетерозиготности к теоретически наблюдаемой, согласно закону Харди-Вайнберга, выявил, что в гене *CAPN1* во всех группах наблюдался недостаток гетерозигот. При этом у ремонтного молодняка он был выше (–0,128), чем у родительского стада (–0,061). В гене *GH* среди быков-производителей и бычков выявлен незначительный избыток гетерозигот (+0,008), тогда как среди коров и ремонтных телочек – недостаток (–0,209) (таблица 3).

Таблица 3 – Наблюдаемая и теоретически ожидаемая гетерозиготность по генам *CAPN1* и *GH* у крупного рогатого скота казахской белоголовой породы в разных половозрастных группах

Показатель	Быки-производители		Коровы		Бычки		Ремонтные телочки	
	CAPN1	GH	CAPN1	GH	CAPN1	GH	CAPN1	GH
Наблюдаемое и теоретически ожидаемое число гетерозигот, гол/%	6,00/ 6,85	11,00/ 10,77	30,00/ 38,53	45,00/ 67,20	12,00/ 21,04	17,00/ 10,71	14,00/ 18,60	18,00/ 24,00
Гетерозиготность, наблюдаемая (Ho)/ожидаемая (He)	0,207/ 0,243	0,458/ 0,444	0,231/ 0,317	0,391/ 0,724	0,148/ 0,292	0,224/ 0,221	0,280/ 0,393	0,391/ 0,600
Тест гетерозиготности, Ho–He	–0,036	+0,014	–0,086	–0,333	–0,144	+0,003	–0,113	–0,209

Таким образом, генотипирование стада казахской белоголовой породы ПЗ «Гигант» позволило выявить полиморфизм в генах *CAPN1* и *GH*, представленный двумя аллелями. Установлена достоверно меньшая частота встречаемости аллелей *C* и *V* соответственно в генах *CAPN1* и *GH*, которые во многих исследованиях показаны как желательные для селекции.

3.2. Воспроизводительные качества и молочность коров казахской белоголовой породы разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*

Из 160 коров исследуемого поголовья отелилось 159 (99,3%), было получено 160 телят. До отъема выращено 157 телят (93 бычка и 64 телочки), отход

по производственным причинам составил 3 головы (1,9%). Значимых различий в показателях воспроизводства коров разных генотипов не установлено.

Сопоставление молочности коров казахской белоголовой породы разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH* выявило преимущество матерей-носителей желательных *G*- и *L*-аллелей. Потомки матерей с генотипами *CC* и *CG* в гене *CAPN1* в 205 дней весили в среднем 199,9 кг, тогда как потомки от коров с генотипом *GG* – 189,4 кг, или на 5,4% меньше. При этом достоверная разница по молочности выявлена между матерями, у которых желательный аллель присутствовал в гомозиготном состоянии, и матерями, у которых он отсутствовал. Разница между *CC*- и *GG*-генотипами составила 12,7 кг, или 6,8% ($P<0,05$). Отмеченная тенденция сохранилась и к моменту отъема: превосходство было на 15,6 кг, или 7,4% ($P<0,05$) (таблица 4).

Таблица 4 – Молочность коров казахской белоголовой породы разных генотипов, $n = 157$

Гено-тип	Живая масса матерей, кг	Средняя живая масса потомства, кг				ОПМ, л/100 кг живой массы
		при рождении	205 дней	при отъеме в 240 дней	среднесуточный прирост, г	
CAPN1						
CC	522,6±2,60*	28,1±0,21	202,1±3,5*	226,0±4,6	824,6±1,92*	19,1±0,45
CG	519,7±1,09	27,9±0,18	197,7±5,4	217,0±6,5	787,6±0,72	20,1±0,46
GG	516,4±1,19	27,6±0,16	189,4±5,2	210,4±5,2	761,8±0,85	21,1±0,51*
GH						
VV	521,5±2,77*	28,3±0,11	201,3±6,5*	228,0±7,5*	832,1±1,65*	19,2±0,24
LV	519,2±2,12	27,9±0,18	196,9±5,3	216,2±4,5	784,6±0,92	19,9±0,15
LL	518,1±1,97	27,6±0,12	191,0±4,5	209,2±6,1	756,7±0,71	20,3±0,39*

Примечание. * $P<0,05$, ** $P<0,01$ при сравнении *CAPN1* – *CC-GG*; *GH* – *VV-LL*.

Аналогичные закономерности выявлены и при сопоставлении молочности коров – носителей желательной аллели в разном состоянии в гене *GH*. Потомки коров *VV*- и *LV*-генотипов имели в 205 дней среднюю живую массу 199,1 кг, тогда как потомки коров *LL*-генотипа – 191,0 кг, или на 4,1% меньше. При этом между потомками матерей *VV*- и *LL*-генотипов отмечена достоверная разница, которая составила 10,3 кг, или 5,4% ($P<0,05$).

3.3. Рост и развитие молодняка разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*

3.3.1. Динамика живой массы

В 8- и 12-месячном возрасте преимущество по живой массе было за носителями аллелей *C-CAPN1* и *V-GH*. При этом достоверные различия установлены между животными, у которых указанные аллели были в гомозиготном состоянии, и животными, в генотипе которых они отсутствовали.

Так, бычки *CC-CAPN1* превосходили своих сверстников *GG-CAPN1* в указанные периоды на 29,7 кг, или 13,8% ($P<0,01$), и на 24,3 кг, или 6,9% ($P<0,05$)

соответственно, телочки – на 16,2 кг, или 8,3% ($P<0,05$), 22,8 кг, или 7,9% ($P<0,05$) соответственно (таблицы 5 и 6).

Таблица 5 – Динамика живой массы бычков разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*

Показатели	CAPN1			GH		
	CC	CG	GG	VV	LV	LL
Живая масса, кг: при рождении	28,1 $\pm 0,21^*$	27,9 $\pm 0,18$	27,6 $\pm 0,16$	28,3 $\pm 0,11^*$	27,9 $\pm 0,18$	27,6 $\pm 0,12$
в 8 месяцев	245,5 $\pm 4,6^{**}$	240,6 $\pm 6,5$	215,8 $\pm 5,2$	248,9 $\pm 7,5^{**}$	238,5 $\pm 4,5^*$	214,4 $\pm 6,1$
в 12 месяцев ¹	374,2 $\pm 5,1^*$	368,9 $\pm 3,6$	349,9 $\pm 4,1$	382,7 $\pm 4,7^{**}$	373,8 $\pm 4,2$	357,9 $\pm 5,2$
Среднесуточный прирост ¹ , г	948,4 $\pm 92,4^*$	934,2 $\pm 72,6$	883,2 $\pm 85,4$	969,5 $\pm 65,4^*$	948,1 $\pm 92,7$	905,4 $\pm 71,3$

Примечания: ¹ количество бычков при рождении и в 8 месяцев – 93; в 12 месяцев – 36;

* $P<0,05$, ** $P<0,01$ при сравнении CAPN1 – CC-GG; GH – VV-LL.

Разница в пользу носителей желательных генотипов в гене *GH* по сравнению с генотипами, в которых такие аллели не выявлены (VV-GH – LL-GH), в 8 и 12 месяцев у бычков составила 34,5 кг (14,6%; $P<0,01$), 24,8 кг (6,9%; $P<0,01$), у телочек – 10,2 кг (5,2%; $P<0,05$), 18,1 кг (6,3%; $P<0,05$) соответственно.

У телочек выявленная в возрасте 12 месяцев тенденция прослеживалась и по достижении ими 18 месяцев. Превосходство CC-CAPN1 и VV-GH генотипов над GG-CAPN1 и LL-GH генотипами составило 21,8 кг, или 6,5% ($P<0,01$), 11,8 кг, или 3,4% ($P<0,05$) соответственно.

Таблица 6 – Динамика живой массы телочек разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*, $n = 64$

Показатели	CAPN1			GH		
	CC	CG	GG	VV	LV	LL
Живая масса, кг: при рождении	27,9 $\pm 0,57$	26,1 $\pm 0,37$	25,6 $\pm 0,65$	26,9 $\pm 0,68$	27,1 $\pm 0,43$	27,6 $\pm 0,34$
в 8 месяцев	209,9* $\pm 2,6$	200,8 $\pm 1,7$	193,7 $\pm 1,4$	206,7* $\pm 2,7$	201,2 $\pm 1,9$	196,5 $\pm 1,8$
в 12 месяцев	308,5* $\pm 4,8$	299,9 $\pm 4,2$	285,7 $\pm 3,8$	305,7* $\pm 6,4$	300,8 $\pm 3,4$	287,6 $\pm 3,2$
в 18 месяцев	357,5** $\pm 4,8$	339,9,7 $\pm 4,2$	335,7 $\pm 3,8$	356,7* $\pm 6,4$	341,8 $\pm 3,4$	344,9 $\pm 3,2$
Среднесуточный прирост, г	610,3* $\pm 51,7$	581,1 $\pm 42,2$	574,2 $\pm 38,1$	610,7* $\pm 42,4$	582,8 $\pm 38,3$	587,9 $\pm 41,1$

Примечание. * $P<0,05$, ** $P<0,01$ при сравнении CAPN1 – CC-GG; GH – VV-LL.

Таким образом, присутствие желательных аллелей способствовало большей энергии роста бычков и телочек в изученные периоды онтогенеза, что выразилось в их преимуществе по живой массе.

3.3.2. Промеры и индексы телосложения

Достоверных различий в промерах тела как у бычков, так и у телочек разных генотипов не выявлено. В то же время носители генотипов *CC* и *VV* в генах *CAPN1* и *GH* по отношению к животным *GG*- и *LL*-генотипов были более высокорослыми и растянутыми, о чем свидетельствуют несколько бóльшие величины высоты в холке и косой длины туловища. Кроме того, они имели бóльшую глубину, ширину, обхват груди и ширину крестца в маклоках: у бычков разница составила в среднем 5,8%, у телочек – 5,0%. Некоторое преимущество по высотным и широтным промерам тела обеспечили *CC*- и *VV*-генотипам превосходство по индексам растянутости, массивности и мясности на 1,8–2,0%.

3.4. Морфологические и биохимические показатели крови у бычков разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*

Биохимические параметры крови у исследуемых животных находились в пределах физиологической нормы, при этом по некоторым показателям выявлены различия между бычками разных генотипов.

Так, у носителей желательных генотипов *CC* и *VV* генов *CAPN1* и *GH* количество эритроцитов в крови составляло $6,42$ и $7,2 \times 10^{12}/л$, и они имели превосходство над бычками *GG*- и *LL*-генотипов на 0,8% и 6,7% ($P > 0,05$) соответственно. Более высокое содержание эритроцитов в крови бычков сопровождалось бóльшим уровнем гемоглобина. Уровень лейкоцитов и глюкозы в крови достоверно превалировал у бычков *CC-CAPN1* и *VV-GH* генотипов над *GG-CAPN1* и *LL-GH* генотипами на $1,8$ и $1,0 \times 10^9/л$ и 3,6 и 3,5 мг/% соответственно ($P < 0,05$). Достоверное превосходство на 7,9–8,6% ($P < 0,05$) отмечено по уровню общего белка. При сопоставлении содержания кальция, фосфора и магния значимых различий между животными разных генотипов не выявлено.

Сравнительный анализ жирнокислотного состава крови бычков разных генотипов свидетельствует как о его схожести, так и различии. Качественный состав был идентичен, однако что касается количества, то больший процент от общей суммы жирных кислот у исследуемого поголовья составили такие кислоты, как пальмитиновая, стеариновая, олеиновая и линолевая (таблица 7).

Таблица 7 – Жирнокислотный состав липидов плазмы крови бычков казахской белоголовой породы разных генотипов, %, $n = 36$

Название и код кислот	CAPN1			GH		
	CC	CG	GG	VV	LV	LL
Насыщенные ЖК						
Миристиновая $C_{14:0}$	0,67	0,58	0,84	0,93	0,67	0,84
Пентадекановая $C_{15:0}$	0,78	0,65	0,60	0,42	0,31	0,68
Пальмитиновая $C_{16:0}$	22,12	22,81	23,02	24,21	21,67	22,99
Гептадекановая $C_{17:0}$	2,69	2,49	1,91	1,83	1,40	2,15
Стеариновая $C_{18:0}$	21,81	24,11	24,51	22,51	25,82	26,33

Продолжение таблицы 7

Мононенасыщенные ЖК						
Олеиновая C _{18:1}	26,44	25,01	25,72	22,52	23,48	22,48
Гептадеценовая C _{17:1}	1,84	1,69	1,32	2,49	1,74	1,68
Полиненасыщенные ЖК						
Линолевая C _{18:2}	17,35	16,97	16,01	19,25	18,23	17,01
Линоленовая C _{18:3}	2,65	1,95	2,47	3,31	2,71	2,30
Арахидоновая C _{20:4}	3,63	3,48	3,30	2,25	3,90	2,98

У бычков гомозиготных *CC*- и *VV*-генотипов генов *CAPN1* и *GH* сумма ненасыщенных жирных кислот в плазме крови была выше, чем у гомозиготных *GG*- и *LL*-вариантов соответственно на 6,3% и 7,1%. Превалирование уровня ненасыщенных жирных кислот над насыщенными определило и меньшие значения индекса направленности липидного обмена (ИНЛ) у *CC*- и *VV*-генотипов – 0,92 и 1,00 против 1,04 и 1,13 у *GG*- и *LL*-генотипов. Сравнительный анализ содержания общих липидов, холестерина и глюкозы в крови выявил, что у *CC*-, *VV*-гомозигот и *CG*-, *LV*-гетерозигот общее количество липидов, глюкозы в крови было ниже в среднем на 11,2 %, при более высоком уровне холестерина в среднем на 12,8 %, чем у *GG*- и *LL*-гомозигот (таблица 8).

Таблица 8 – Уровень метаболитов энергетического обмена в плазме крови бычков казахской белоголовой породы разных генотипов, n = 36

Ген	Гено-тип	Показатели						
		Липиды, г/л	Холес-терин, ммоль/л	Глюкоза, ммоль/л	Сумма кислот, %			ИНЛ
					насы-щенных	мононена-сыщенных	полинена-сыщенных	
CAPN1	CC	3,96 ±0,21*	4,78 ±0,33	3,37 ±0,31	48,07	28,28	23,63	0,92
	CG	4,02 ±0,23	4,41 ±0,22*	3,68 ±0,22	50,64	26,70	22,40	0,96
	GG	4,42 ±0,17	3,92 ±0,17	4,02 ±0,19	50,88	27,04	21,78	1,04
GH	VV	4,08 ±0,28*	5,03 ±0,24*	3,74 ±0,37	49,88	25,01	24,81	1,00
	LV	4,65 ±0,33	4,87 ±0,18	3,91 ±0,18*	49,87	25,22	24,84	0,99
	LL	4,82 ±0,17	4,33 ±0,31	4,26 ±0,22	52,90	24,16	22,29	1,13

Примечание. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ при сравнении *CAPN1* – *CC*-*GG*; *GH* – *VV*-*LL*.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что интенсивность липидного обмена у молодняка казахской белоголовой породы зависела от генотипа по генам *CAPN1* и *GH*. Можно предположить, что животные – носители желательных *C*- и *V*-аллелей в гомо- и гетерозиготном состоянии с большей интенсивностью использовали энергетические компоненты крови при реализации биосинтетических процессов.

3.5. Мясная продуктивность бычков разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*

3.5.1. Убойные показатели

Сравнительный анализ убойных показателей бычков разных генотипов выявил, что наибольшая предубойная, убойная масса и масса туши были у гомозиготных *CC*- и *VV*-животных. Их превосходство над *GG*- и *LL*-генотипами составило соответственно 19,3; 16,2 и 16,4 кг и 19,8; 19,1 и 16,1 кг ($P<0,05$, $P<0,001$). Большие масса мякоти на 9,0 и 9,1% ($P<0,05$) и убойный выход на 1,4 и 2,0% обеспечили данным генотипам превосходство по коэффициенту мясности на 4,1 и 2,0% (таблица 9).

Таблица 9 – Убойные показатели бычков казахской белоголовой породы разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*, 12 мес., $n = 18$

Показатели	Ген/генотип					
	CAPN1			GH		
	CC	CG	GG	VV	LV	LL
Предубойная живая масса, кг	379,2 ±2,53**	367,9 ±1,95	359,9 ±1,82	382,7 ±2,20**	371,8 ±1,97	362,9 ±2,33
Убойная масса, кг	221,1 ±2,58**	210,3 ±2,15	204,9 ±2,33	228,0 ±1,45**	219,0 ±1,76	208,9 ±1,20
Масса туши, кг	210,8 ±2,07**	200,7 ±1,88	194,4 ±1,85	214,9 ±1,86**	207,1 ±1,62	198,8 ±0,58
Масса мякоти, кг	164,6 ±1,87*	156,7 ±1,53	150,9 ±1,45	170,1 ±2,18**	162,9 ±1,86	155,9 ±0,54
Масса костей, кг	40,3 ±0,32	39,1 ±0,18	38,5 ±0,19	41,6 ±0,18	40,2 ±0,12	38,9 ±0,18
Масса внутреннего жира, кг	10,3* ±0,23	9,6 ±0,32	10,5 ±0,12	13,1** ±0,31	11,9 ±0,22	10,1 ±0,39
Масса хрящей и сухожилий, кг	5,9* ±0,18	4,9 ±0,19	5,0 ±0,17	3,2** ±0,22	4,0 ±0,19	4,0 ±0,18
Убойный выход, %	58,3	57,1	56,9	59,6	58,9	57,6
Выход мякоти, %	78,1	78,0	77,6	79,1	78,7	78,4
Выход костей, %	19,1	19,4	19,8	19,5	19,4	19,6
Коэффициент мясности	4,08	4,01	3,92	4,09	4,05	4,01

Примечание. * $P<0,05$, ** $P<0,01$ при сравнении *CAPN1* – *CC*-*GG*; *GH* – *VV*-*LL*.

Полученные результаты свидетельствуют о достоверном влиянии генов кальпаина и гормона роста на убойные показатели бычков казахской белоголовой породы. Присутствие в них *C*- и *V*-аллелей ассоциировано с выходом туши, содержанием в ней мякоти, коэффициентом мясности.

3.5.2. Химический анализ мяса

Мышечная ткань животных *CC*- и *VV*-генотипов в генах *CAPN1* и *GH* характеризовалась большим содержанием белка, жира и более высокой энергетической ценностью по сравнению с *GG*- и *LL*-генотипами на 0,28–2,13% и на 8,7% соответственно ($P<0,05$, $P<0,001$) (таблица 10).

Таблица 10 – Химический анализ длиннейшей мышцы спины бычков казахской белоголовой породы разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*, $n = 18$

Показатель	Генотип					
	CAPN1			GH		
	CC	CG	GG	VV	LV	LL
Влага, %	73,47 ±0,27*	74,90 ±0,29	75,02 ±0,18	74,37 ±0,21	73,61 ±0,17	74,84 ±0,24
Сухое вещество, %	26,53 ±0,16*	25,10 ±0,12*	24,98 ±0,15	25,63 ±0,17	26,39 ±0,09*	25,16 ±0,17
Белок, %	22,45 ±0,11**	21,49 ±0,17	21,12 ±0,14	23,12 ±0,14**	21,99 ±0,17*	20,99 ±0,12
Жир, %	2,89* ±0,04	2,47 ±0,03	2,38 ±0,03	2,98 ±0,04**	2,79 ±0,04	2,60 ±0,02
Калорийность, ккал	1189,1 ±7,9**	1111,4 ±2,5*	1099,2 ±2,5	1225,3 ±5,0*	1179,6 ±3,6	1121,4 ±9,2

Примечание. * $P<0,05$, ** $P<0,01$ при сравнении *CAPN1* – *CC*-*GG*; *GH* – *VV*-*LL*.

3.5.3. Микроструктурный гистологический анализ мяса

Для более полной характеристики качества мяса бычков разных генотипов были проведены гистологические исследования длиннейшего мускула спины. Сопоставление полученных данных позволило установить, что наибольшее количество мышечных волокон наблюдалось у бычков *CC*- и *VV*-генотипов генов *CAPN1* и *GH*. Они превосходили своих сверстников, в генотипе которых *C*- и *V*-аллели не выявлены, на 36,82 шт/мм² (19,7%, $P<0,01$) в гене *CAPN1* и на 55,7 шт/мм² (31,4%, $P<0,001$) – в гене *GH*. Диаметр мышечных волокон у первых был меньше на 4,23 мкм, или 11,9%, и на 6,82 мкм, или 16,8 %, чем у вторых, при высокой достоверности ($P<0,001$). Желательные генотипы выгодно отличались и по величине коэффициента «мраморности», разница в их пользу в гене *CAPN1* составила 12,6%, в гене *GH* – 15,1%. В то время как у животных-носителей нежелательных аллелей *G* и *L* в гомозиготном состоянии содержание соединительной ткани было больше на 2,13 и 3,34 % (таблица 11).

Таблица 11 – Микроструктурный анализ мяса длиннейшей мышцы спины бычков казахской белоголовой породы разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH*, n = 18

Ген	Генотип	Показатели				
		Кол-во мышечных волокон на мм ² , шт.	Диаметр мышечного волокна, мкм	Общая оценка «мраморности», балл	Содержание соединительной ткани, %	Мясность (площадь мышечного глазка), см ²
CAPN1	CC	224,07 ±8,31*	33,57 ±0,43**	31,27 ±0,82**	10,60 ±0,31	57,93 ±3,65
	CG	219,85 ±1,96	36,25 ±0,59*	28,77 ±0,76**	11,53 ±0,44	49,04 ±1,79
	GG	187,25 ±3,60	37,80 ±1,93	27,75 ±0,14	12,73 ±0,37**	42,64 ±3,03
GH	VV	233,18 ±5,72*	33,78 ±0,17**	29,28 ±0,41**	10,93 ±0,35	68,77** ±0,61
	LV	199,25 ±5,41	35,89 ±0,47	27,94 ±0,99*	12,73 ±0,59	59,92 ±0,67
	LL	177,48 ±1,89	40,60 ±1,41	25,43 ±0,60	14,27 ±0,87**	51,92 ±1,51

Примечание. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ при сравнении *CAPN1* – CC-GG; *GH* – VV-LL.

Вышеизложенное наглядно демонстрирует рисунок 2.

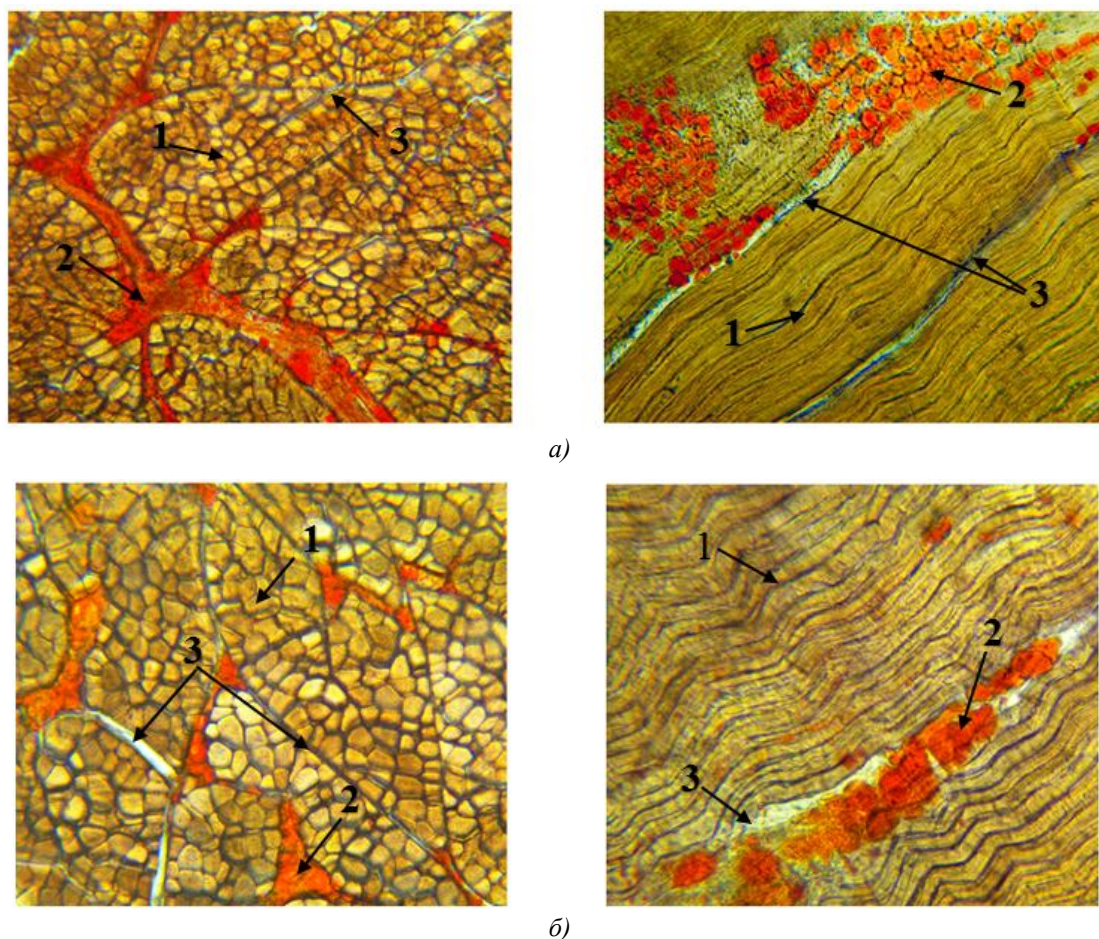


Рисунок 2 – Гистологические срезы (слева – поперечные, справа – продольные) *L. Dorsi* бычков казахской белоголовой породы разных генотипов: а – *CAPN1*-CC; б – *CAPN1*-GG; 1 – мышечные волокна; 2 – жировая ткань; 3 – соединительная ткань (окраска: гематоксилин Каррарчи и судан III, увел. 10×40)

3.6. Экономическая эффективность выращивания животных направленной селекции

Производственные затраты на выращивание опытных животных были одинаковыми для всех генотипов, поскольку животные находились в одних условиях кормления и содержания и определялись по сумме затрат на корма, заработную плату, ветеринарное обслуживание и общехозяйственные расходы. Согласно бухгалтерскому учету хозяйства затраты в 2019 году составили 48700,0 рублей на одно животное. Средняя рыночная цена реализации говядины по Ставропольскому краю в 2019 году за 1 кг говядины составляла 270 рублей.

От бычков-гомозигот *CC* и *VV* были получены более тяжеловесные на 16,42 кг и 16,10 кг туши, чем от сверстников нежелательных генотипов. Это преимущество обеспечило получение большей прибыли на 4428,0 и 4347,0 рублей и соответственно уровня рентабельности – на 9,1 и 8,9 %. (таблица 12).

Таблица 12 – Экономическая эффективность выращивания бычков разных генотипов на мясо (в ценах 2019 г.), n = 18

Показатели	Ген/генотип					
	CAPN1			GH		
	CC	CG	GG	VV	LV	LL
Масса туши, кг	210,8	200,7	194,4	214,9	207,1	198,8
Производственные затраты, руб.	48700,0	48700,0	48700,0	48700,0	48700,0	48700,0
Реализационная цена 1 кг мяса, руб.	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0	270,0
Выручка от реализации продукции, руб.	56916,0	54189,0	52488,0	58023,0	55917,0	53676,0
Прибыль, руб.	8216,0	5489,0	3788,0	9323,0	7217,0	4976,0
Уровень рентабельности, %	16,9	11,3	7,8	19,1	14,8	10,2

Следует отметить, что самый высокий уровень рентабельности был получен от реализации продукции от бычков *GH-VV* генотипа и составил 19,1%.

Таким образом, наибольший экономический эффект достигается при направленной селекции получения молодняка гомозиготных генотипов *CC* и *VV* генов *CAPN1* и *GH*. В количественном отношении, для выхода мясной продукции, предпочтителен *GH-VV* генотип, в качественном, для получения более «нежной» и «мраморной» говядины, – *CAPN1-CC* генотип. Наиболее ценными для племенного отбора и дальнейшего тиражирования являются животные, в генотипе которых присутствуют желательные аллели в обоих генах, и особенно те особи, где они находятся в гомозиготном состоянии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены новые знания по биоразнообразию, генетической структуре и формах ассоциаций полиморфизма генов кальпаина и соматотропина с хозяйственно ценными продуктивными признаками в популяции крупного рогатого скота отечественной казахской белоголовой породы в условиях юга России.

На основании проведенных исследований и обобщения, полученных в ходе работы данных, были сделаны следующие выводы:

1. Полиморфизм генов *CAPN1* и *GH* крупного рогатого скота казахской белоголовой породы представлен двумя аллелями: *C*, *G*; *V*, *L*; тремя генотипами: *CC*, *CG*, *GG* и *VV*, *LV*, *LL*, соответственно с разной частотой встречаемости: чаще в пределах 0,83–0,89; 72,0–81,0 % аллеля *G*, генотипа *GG* гена *CAPN1* и 0,60–0,81; 51,0–66,0 % аллеля *L*, генотипа *LL* гена *GH*, но реже – аллелей *C*, *V* генотипов *CC*, *VV* генов *CAPN1* и *GH* – 0,11–0,17; 3,0–6,0 % и 0,19–0,40; 3,0–31,0 %, составивших, в среднем, во всех половозрастных группах соответственно.

2. Частота встречаемости селекционно значимых аллелей *CAPN1-C* и *GH-V* в стаде коров в среднем составила – 1,87; ремонтных телочек – 7,81; бычков – 4,30; быков-производителей – 11,43 %.

3. Преимущество молочности матерей-носителей *CAPN1-CC* и *GH-VV* генотипов обеспечило более высокие показатели живой массы их потомков в возрасте 205 дней на 6,8; 5,4 %, ($P < 0,05$).

4. Живая масса молодняка носителей *CAPN1-CC* и *GH-VV* генотипов в 8- и 12-месячном возрасте была выше у бычков на 13,8 и 14,6 %; 6,9 и 6,9 %; у телочек – на 8,3 и 5,2%; 7,9 и 6,3 %, соответственно по сравнению с *CAPN1-GG* и *GH-LL* генотипами ($P < 0,05$; $P < 0,01$; $P < 0,001$).

5. Интенсивность липидного обмена была выше у носителей *CAPN1-CC* и *GH-VV* генотипов, чем у аналогов *CAPN1-GG* и *GH-LL*. Сумма ненасыщенных жирных кислот липидов плазмы крови была выше у *CAPN1-CC* и *GH-VV* генотипов на 6,3 и 7,1 %; величина индекса насыщенности липидов (ИНЛ) составляла: 1,04 и 1,13 против 0,92 и 1,00 *CAPN1-GG* и *GH-LL* генотипов соответственно ($P < 0,05$).

6. Присутствие в генотипе *CAPN1-C* и *GH-V* аллелей сопровождалось большей величиной предубойной, убойной массы животных, а также массы туши, процента мякоти в ней, убойного выхода и коэффициента мясности на 19,3; 16,2; 16,4 и 19,8; 19,1; 16,1 кг и 9,0; 1,4; 4,1 и 9,1; 2,0; 2,0 % соответственно ($P < 0,05$; $P < 0,001$).

7. Содержание жира и белка в мышечной ткани, ее калорийность у *CAPN1-CC* и *GH-VV* генотипов выше, чем у *CAPN1-GG* и *GH-LL* аналогов, на

0,19–2,13% и 3,9–9,3% ($P<0,01$; $P<0,05$).

8. Большее количество волокон длиннейшей мышцы спины на единицу площади было у бычков *CAPN1-CC* и *GH-VV* по сравнению с *CAPN1-GG* и *GH-LL* генотипами на 19,7 и 31,4 %, но с меньшим их диаметром на 11,9 и 16,8 % соответственно. Величина коэффициента «мраморности» *CAPN1-CC* и *GH-VV* генотипов составила 31,27 и 29,28 единиц при балльной оценке против *CAPN1-GG* и *GH-LL* на 12,6 и 15,1 % ($P<0,01$; $P<0,001$).

9. Рентабельность выращивания бычков – носителей *CAPN1-CC* и *GH-VV* генотипов составила 16,9 и 19,1 %, а у *CAPN1-GG* и *GH-LL* – 7,8 и 10,2 % с разницей в пользу первых на 9,1 и 8,9 %.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

В программы селекционно-племенной работы со стадами казахской белоголовой породы включать генотипирование по генам кальпаина и соматотропина.

В селекционные группы отбирать носителей аллелей *C* и *V* соответственно в генах кальпаина и соматотропина, при этом учитывать, что наиболее ценными для селекции являются животные, в генотипе которых желательные аллели присутствуют в обоих генах в гомозиготном состоянии.

С целью разработки стратегии крупномасштабной селекции с разными породами мясного скота желательно сформировать единую базу данных о генотипах животных по генам, связь которых с продуктивными показателями определена, а также по новым генам-кандидатам.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В дальнейших исследованиях целесообразно продолжить поиск новых генов-маркёров, ассоциированных с хозяйственно ценными признаками мясного скота.

Перспективно направление по разработке регламентов и методик по контролю качественных показателей мясной продуктивности мясного скота на основе гистологических исследований.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

Минобразования и науки РФ

1. Селионова, М.И. Мясная продуктивность бычков казахской белоголовой породы разных генотипов по генам *CAPN1* и *GH* / М.И. Селионова, **В.Р. Плахтюкова** // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 7. – С. 7–12.

2. Селионова, М.И. Анализ полиморфизма генов *CAPN1* и *GH* у скота казахской белоголовой породы в связи с особенностями мясной продуктивности /

М.И. Селионова, **В.Р. Плахтюкова**, И.И. Дмитрик, Г.В. Завгородняя, М.И. Павлова // Главный зоотехник. – 2020. – № 6(203). – С. 27–34.

Публикации в зарубежных журналах, входящих в базы Scopus и Web of Science

3. Selionova, M.I. Fatty acid composition of blood lipids of young beef cattle of different genotypes of CAPN1, GH, TG5, LEP genes / M.I. Selionova, M.P. Dubovskova, L.N. Chizhova, E.S. Surzhikova, **V.R. Plakhtyukova** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 341(1). – 2019. – 012079.

4. Selionova, M.I. Polymorphism of the CAPN1 and GH genes and its relationship with the productivity of cattle of the Kazakh white-headed breed / M.I. Selionova, **V.R. Plakhtyukova** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 132(2). – 2020. – P. No. – 010132.

Публикации в других рецензируемых научных журналах и изданиях

5. Селионова, М.И. Оценка селекционной перспективности молодняка казахской белоголовой породы на основе генетических маркеров и биохимических тест-систем / М.И. Селионова, Л.Н. Чиждова, Е.С. Суржикова, Г.Н. Шарко, **В.Р. Плахтюкова** // Современные достижения и проблемы генетики и биотехнологии в животноводстве: материалы Междунар. науч. конф., посвященной 90-летию академика Л.К. Эрнста (ВИЖ). – Дубровицы. – 2019. – С. 176–181.

6. Селионова, М.И. Полиморфизм генов мясной продуктивности у крупного рогатого скота, их связь с продуктивными показателями и методы контроля качества мясной продукции / М.И. Селионова, **В.Р. Плахтюкова** // Новости науки в АПК. – 2019. – № 3 (12). – С. 130–136.

7. Selionova, M.I. Biochemical and histological indicators of blood and *m. longissimus dorsi* of young bulls of Kazakh white-headed breed of different genotypes by the CAPN1 and GH genes / M.I. Selionova, **V.R. Plakhtyukova** // Theory and practice of meat processing. – 2020. – Т. 5. – №2. – С. 20–25.

Подписано в печать «__» _____ 2020. Бумага офсетная.

Формат 60х84 1/16 Гарнитура «Таймс».

Заказ № _____ Усл. изд. лист 1,0 Тираж 100 экз.

Цех оперативной полиграфии ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 15.