

Влияние *SNP* гена *CAST* на морфологические особенности качества говядины**Ф.Г. Каюмов**✉, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**Р.Ф. Третьякова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 46000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

✉kserev_1976@mail.ru

Резюме. Научный опыт был проведен в Республике Калмыкия с целью изучения воздействия полиморфизма гена *CAST* на морфологические характеристики и качество мяса. После убоя были взяты образцы мышечной ткани у бычков калмыцкой породы, возраст которых составлял 16 мес. При изучении среднего диаметра мышечных волокон как в длиннейшей мышце спины, так и в двуглавой мышце бедра было выявлено, что животные желательного *CC-CAST*-генотипа преобладали над аналогами *CAST^{TT}* и *CAST^{CT}* – на 1,8 мкм и 0,5 мкм; 3,9 мкм и 2,2 мкм по этому показателю. Выявили различия в размерах ядер миосимпластов у бычков в зависимости от их генетического типа по гену *CAST*. В длиннейшей мышце спины животные с генотипом *CAST^{CC}* имели средний объем ядер миосимпластов, равный 127,62 мкм³. Этот показатель незначительно превышал объемы ядер у особей с генотипами *CAST^{TT}* на 7,4 мкм³ и *CAST^{CT}* на 3,2 мкм³. В двуглавой мышце бедра также наблюдали зависимость размеров ядер миосимпластов от генотипа. Бычки, обладающие *CAST^{TT}* генотипом, имели ядра миосимпластов на 6,1 мкм³ меньше, чем бычки с генотипом *CAST^{CC}*. В целом исследование продемонстрировало тенденцию к различиям в объемах ядер миосимпластов в зависимости от генотипа по гену *CAST*. Толщина эндомизия в мышцах бычков разных генотипов варьировалась в диапазоне 7...12 мкм, при этом более высокая величина наблюдалась у животных гомозиготного генотипа *CAST^{CC}* над сверстниками. Доля эндотелиоцитов составила примерно 80 % в структуре эндомезия. Животные I группы по содержанию жировой ткани в мышцах имели небольшое преимущество над сверстниками II и III групп. Высокое соотношение мышечной ткани к соединительной имели также особи *CC* генотипа гена *CAST*. Бычки с желательным *CAST^{CC}* генотипом могут быть использованы для улучшения показателей качества говядины.

Ключевые слова: бычки, калмыцкая порода, полиморфизм, ген, генотип, аллель.

Для цитирования: Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф. Влияние *SNP* гена *CAST* на морфологические особенности качества мяса // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №2 (70). С. 159-165. doi:10.18286/1816-4501-2025-2-159-165

The impact of cast gene snp on morphological features of beef quality**F.G. Kayumov, R.F. Tretyakova**

Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 46000, Orenburg, 9th January St., 29

✉kserev_1976@mail.ru

Abstract. The scientific experiment was conducted in the Republic of Kalmykia to study the impact of *CAST* gene polymorphism on morphological characteristics and quality of meat. After slaughter, muscle tissue samples were taken from 16-month-old Kalmyk bulls. When studying the average diameter of muscle fibers in both the longissimus dorsi and biceps femoris muscles, it was found that animals of the desired *CC-CAST* genotype prevailed over their *CAST^{TT}* and *CAST^{CT}* analogues by 1.8 μm and 0.5 μm; 3.9 μm and 2.2 μm in this parameter. Differences in the sizes of myosymplast nuclei of bulls were revealed depending on their genetic type for the *CAST* gene. In the longissimus dorsi muscle, animals with the *CAST^{CC}* genotype had an average volume of myosymplast nuclei equal to 127.62 μm³. This parameter slightly exceeded the volumes of nuclei of individuals with the *CAST^{TT}* genotypes by 7.4 μm³ and *CAST^{CT}* by 3.2 μm³. In the biceps femoris muscle, a dependence of the sizes of myosymplast nuclei on the genotype was also observed. Bulls with the *CAST^{TT}* genotype had myosymplast nuclei 6.1 μm³ smaller than bulls with the *CAST^{CC}* genotype. In general, the study demonstrated a tendency for differences in the volumes of myosymplast nuclei depending on the genotype of the *CAST* gene. The endomysium thickness in the muscles of bulls of different genotypes varied in the range of 7 ... 12 μm, with a higher value observed in animals with the homozygous genotype *CAST^{CC}* over their peers. The proportion of endothelial cells was approximately 80% in the endomesium structure. Animals of group I had a slight advantage in muscle fat content over their peers in groups II and III. Individuals with the *CC* genotype of the *CAST* gene also had a high ratio of muscle tissue to connective tissue. Bulls with the desirable *CAST^{CC}* genotype can be used to improve the quality parameters of beef.

Keywords: bulls, Kalmyk breed, polymorphism, gene, genotype, allele.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2025 год ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2021-0001)**Введение**

Современные условия развития экономической безопасности в сфере производства сельскохозяйственной продукции в нашей стране требуют системной структурной перестройки специализированного мясного скотоводства. В условиях глобальной конкуренции и растущих требований к качеству продукции необходимо адаптировать подходы к разведению скота и управлению животноводческими хозяйствами [1, 2, 3]. Одним из ключевых аспектов формирования скотоводства являются научные достижения, которые широко используются в разных странах мира. Значительное внимание уделяется внедрению современных технологий и методов, которые могут повысить продуктивность и устойчивость животных [4, 5, 6]. В частности, применение ДНК-маркеров в области молекулярной генетики. ДНК-маркеры позволяют более точно оценивать генетический потенциал животных, что способствует отбору особей с высокими производственными характеристиками [7, 8, 9]. В 1996 г. было изучено влияние полиморфизма гена CAST (кальпастин – ингибитор μ -кальпаина) на качественные показатели мяса. Поэтому в последние годы внимание ученых сосредоточено на изучении микроморфологических параметров мышечной ткани, таких как диаметр мышечных волокон, их распределение и наличие межмышечной жировой ткани, что связано с такими характеристиками, как качество, его вкусовые свойства и нежность мяса [10, 11, 12].

Анализ гистологических мышечных тканей бычков различных генотипов может дать важную информацию о потенциальной продуктивности животных. Важность этих исследований возрастает в контексте современных требований к мясной продукции, поэтому подталкивает к исследованию гистоструктурных характеристик мышечной ткани для улучшения качества мяса.

Цель работы заключается в исследовании микроструктуры длиннейшей мышцы спины и двуглавой мышцы бедра у бычков калмыцкой породы по гену CAST для определения нежности мяса у различных генотипов и выявления наиболее предпочтительных в плане качества мяса.

Материалы и методы

Работа была проведена на базе ООО «Агрофирма Уралан», расположенной в Республике Калмыкия. Объектом исследования стали 16-месячные бычки калмыцкой породы, которые содержались по технологии мясного скотоводства. В возрасте 8 месяцев у бычков ($n=49$) был проведен забор крови для генотипирования.

Генотипирование проводили с использованием метода ПЦР для выявления полиморфизма в гене CAST.

По результатам анализа были сформированы 3 группы бычков: I группа — с генотипом CC ($n=18$), II группа — CT ($n=10$) и III группа — TT ($n=15$).

Образец мышечной ткани у 16-месячных бычков ($n=3$) из каждой группы был взят при убое, который проводился на мясокомбинате «Аршан».

Исследование морфологии двуглавой мышцы бедра и длиннейшей мышцы спины осуществляли с применением светооптической микроскопии. Для начала полученные фрагменты мышц фиксировали в 12 %-ном водном растворе формалина в спиртовой формуле.

После фиксации образцы были обезвожены путем последовательного погружения в спирты возрастающей концентрации. Данная процедура необходима для удаления воды из тканей, что предотвращает образование кристаллов во время последующей заливки в парафин. С помощью ротационного микротомы были изготовлены срезы толщиной 5...7 мкм. Полученные срезы окрашивались гематоксилином Майера и эозином [15].

Морфометрию проводили на продольных и поперечных срезах. На поперечных срезах определялся диаметр мышечных волокон, рассчитывалась площадь, занимаемая мышечной и соединительной тканями, а также площадь, занимаемая кровеносными сосудами в соединительной ткани.

На продольных срезах осуществляли измерения линейных и объемных показателей ядер симпластов и миосателлитов.

Собранные данные были обработаны статистически с использованием программного пакета Microsoft Office, в частности программы Excel, а также с помощью Statistica 10.0 для анализа данных.

Результаты

В ходе гистологических исследований было установлено, что морфофункциональные характеристики мускулатуры бычков различных генотипов имеют ряд отличий.

Исследование мышечной ткани показало значительную структурную гетероморфность мышечных волокон, которая проявлялась в различии волокон, толщине эндомиофила, размерах и распределении ядер в симпластах.

Диаметр мышечных волокон у бычков в 16-месячном возрасте, в длиннейшей мышце спины колебался в диапазоне от 12 до 72 мкм, составляя в среднем $32,3 \pm 1,2$ мкм (табл.1). При этом свыше 70 % мышечных волокон имели диаметр от 20 до 40 мкм. В двуглавой мышце бедра он колебался в пределах 13...74 мкм, в среднем — $33,5 \pm 1,5$ мкм, у

большинства мышечных волокон (свыше 70 %) диаметр был от 20 до 40 мкм (табл.2).

При этом молодняк с генотипом CAST^{CC} в длиннейшей мышце спины обладал большим диаметром мышечных волокон по сравнению с аналогами CAST^{TT} и CAST^{CT} на 1,8 мкм (4,36 %) и 0,5 мкм (1,17 %).

В двуглавой мышце бедра также носители гомозиготного генотипа CAST^{CC} по данному параметру недостоверно превосходили над животными гомозиготного CAST^{TT} и гетерозиготного CAST^{CT} генотипов на 3,9 мкм (9,37 %) и 2,2 мкм (5,08 %).

Таблица 1. Морфометрические показатели длиннейшей мышцы спины у бычков разных генотипов, (X±Sx)

Генотип	Показатель		
	Диаметр мышечных волокон, мкм	Объём ядер миосимпластов, мкм ³	Толщина эндомизия, мкм
CC	33,1±2,1	127,6±2,1	9,1±0,1
CT	32,6±2,4	124,4±2,7	8,7±0,2
TT	31,3±2,7	120,2±3,4	8,4±0,3

Таблица 2. Морфометрические показатели двуглавой мышцы бедра у подопытных бычков разных генотипов, (X±Sx)

Генотип	Показатель		
	Диаметр мышечных волокон, мкм	Объём ядер миосимпластов, мкм ³	Толщина эндомизия, мкм
CC	35,5±1,3	131,3±6,2	9,3±0,3
CT	33,3±1,1	128,5±6,3	8,8±0,5
TT	31,6±2,3	125,2±6,5	8,2±0,7

Объём ядер миосимпластов в мышцах является важным морфологическим показателем, который дает ценную информацию о функциональном состоянии и адаптационных возможностях мышечной ткани. Изучение объема ядер миосимпластов в длиннейшей мышце бедра и двуглавой мышце бедра позволяет глубже понять механизмы, лежащие в основе мышечного роста, восстановления и адаптации к физическим нагрузкам.

В результате исследования было установлено, что объём ядер миосимпластов в мышечных волокнах длиннейшей мышцы спины у бычков с генотипом CAST^{CC} составлял 127,6±2,1 мкм. Они недостоверно превосходили своих сверстников с генотипом TT на 7,4 мкм и с генотипом CT на 3,2 мкм. В двуглавой мышце бедра также наблюдаются различия в объёме ядер миосимпластов в зависимости от генотипа. Носители T- аллеля гена CAST уступали по величине изучаемого параметра аналогам с генотипом CC на 6,1 мкм. Это свидетельствует о том, что генетическая предрасположенность может оказывать значительное влияние на морфологические характеристики мышечной ткани, что имеет важное значение

как для понимания биологических процессов, так и для практического применения в животноводстве.

Эндомизий — это рыхлая соединительная ткань, которая окружает каждое мышечное волокно (миофибриллу) в составе скелетной и сердечной мышечной ткани. Её толщина может оказывать влияние на механические свойства мышц, а также на процессы микроциркуляции, которые критически важны для обеспечения мышц кислородом и питательными веществами.

Наши исследования показали, что наибольшая толщина эндомизия в длиннейшей мышце спины была отмечена у бычков носителей C – аллеля гена CAST, которая составляла 9,1 мкм, наименьшая с генотипом CAST^{TT} – 8,4 мкм. В двуглавой мышце бедра максимальная толщина эндомизия наблюдалась у особей с генотипом CAST^{CC} – 9,3 мкм, в то время, как минимальная толщина также была у сверстников нежелательного TT- CAST- генотипа – 8,2 мкм.

Одним из ключевых элементов, формирующим клеточные структуры эндомизия, являются эндотелиоциты. В проведенном исследовании было определено, что их доля составляет примерно 80 % от общего количества клеток.

В исследовании клеточных структур различных тканей важное значение имел анализ содержания фибробластического дифферона, который представляет собой совокупность клеточных компонентов, отвечающих за поддержание структуры и функции тканей. В частности, содержание фибробластического дифферона в клетках варьировало в диапазоне от 15 до 21 % в то время, как доля остальных клеток оставалась относительно небольшой.

В длиннейшей мышце спины у бычков в возрасте 16 месяцев доля рыхлой соединительной ткани у бычков с генотипом CAST^{CC} составила в 16 мес. – 19,4±0,8 %, в двуглавой мышце бедра – 20,4±0,1 % соответственно. В процессе исследования было установлено, что количество жировых клеток в соединительной ткани являлось значительным.

У животных нежелательного TT- CAST- генотипа доля соединительной ткани была выше сверстников с CC - CAST генотипом на 3,9 % и 4,4 % как в длиннейшей мышце спины, так в двуглавой мышце бедра. У особей гетерозиготного генотипа CAST^{CT} этот показатель занимал промежуточное положение и был равен в длиннейшей мышце спины 21,3±0,6 % и в двуглавой мышце бедра 23,8±0,4 %.

Анализ содержания белка коллагена I типа в исследуемых мышцах животных дает информацию о состоянии соединительной ткани и её роли в формировании качественных характеристик мясной продукции. Результаты изучения показали, что доля грубой соединительной ткани являлась невысокой, этот факт свидетельствует о преобладании рыхлой соединительной ткани с высоким содержанием адипоцитов в прослойках между мышечными элементами. Наличие значительного количества

адипоцитов может указывать на хорошие качественные показатели мясной продукции.

В процессе исследования были выявлены небольшие различия по содержанию гликогена и

коллагена I типа в образцах мышц бычков разных генотипов.



Рис.1. Соотношение мышечной и соединительной тканей в длиннейшей мышце спины у бычков разных генотипов, %

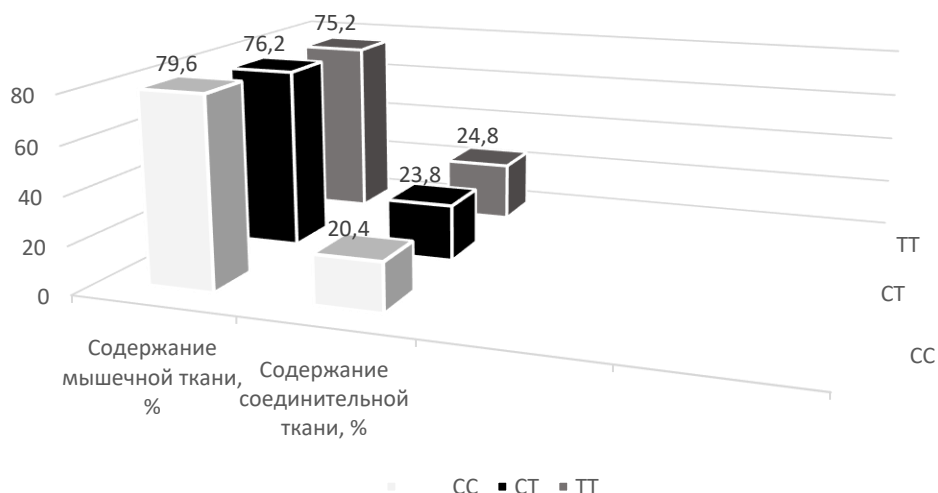


Рис. 2. Соотношение мышечной и соединительной тканей в двуглавой мышце бедра у бычков разных генотипов, %

Максимальная доля мышечной ткани в длиннейшей мышце спины была установлена у животных желательного CC - $CAST$ – генотипа - $80,6 \pm 1,2$ %, минимальная – у сверстников с генотипом $CAST^{TT}$ – $76,7 \pm 1,9$ %. Разница составила 3,9 % (рис.1).

Аналогичная ситуация наблюдается и в двуглавой мышце бедра, где наибольшая доля мышечной ткани была выявлена у молодняка с генотипом $CAST^{CC}$ – $79,6 \pm 1,2$ %, наименьшая - у аналогов нежелательного TT - $CAST$ – генотипа $75,2 \pm 1,3$ %. Преимущество в пользу бычков гомозиготного генотипа $CAST^{CC}$ – 4,4 % (рис.2).

Промежуточное положение по данному показателю как в длиннейшей мышце спины, так и

двуглавой мышце бедра занимали бычки гетерозиготного генотипа $CAST^{CT}$.

Наивысшее отношение мышечной ткани к соединительной в длиннейшей мышце спины было зафиксировано у животных желательного CC - $CAST$ – генотипа – 4,15:1. Аналогичный показатель у сверстников генотипов $CAST^{CT}$ и $CAST^{TT}$ составил 3,69 % и 3,29 %.

В двуглавой мышце бедра особи с генотипом $CAST^{CC}$ имели также наибольший показатель по данному параметру – 3,90:1. У бычков с нежелательными генотипами CT и TT был равен 3,20:1 и 3,03:1.

Обсуждение

В последнее время значительное внимание уделяется изучению морфофизиологических

различий животных мясных и молочных пород. Проведенные ранее учеными исследования предоставили ценные данные о различных аспектах роста и развития этих животных [7, 9, 10]. Однако, несмотря на значительный объем информации, в литературе до сих пор отсутствует единое мнение о росте мускулатуры в отдельных топографических группах у животных разных генотипов.

Одной из ключевых задач изучения мышечной ткани животных является выявление морфологических особенностей, которые могут существенно влиять на качество получаемого мяса. Эти особенности включают в себя структуру мышечных волокон, распределение жировой ткани, а также развитие соединительных тканей.

Селекция животных на основе морфологических характеристик мышечной ткани позволяет выделять породы и линии, обладающие наилучшими показателями нежности, сочности и вкусовых качеств мяса. Например, породы, которые демонстрируют высокую степень развития мускулатуры, как правило, имеют лучшие показатели по выходу мяса и его качеству.

Изучая микроструктуру соединительной мышечной ткани в мышцах животных молочного и мясного скота, учеными были определены не только особенности строения мышечной ткани, но и влияние их на качество мяса [10, 13, 14]. Исследуя диаметр поперечного среза мышечных волокон было установлено, что этот параметр находится в значительном диапазоне, что может быть связано с различиями в генетическом фоне, условиях содержания и кормления животных. Однако, несмотря на это разнообразие, мышечные волокна остаются однородными. В ряде работ выявлено, что абердин-ангусская порода бычков характеризуется наиболее крупным диаметром мышечных волокон [15, 16, 17]. Это особенно заметно в длиннейшей мышце спины и в двуглавой мышце бедра. Так в длиннейшей

мышце спины данный показатель составил $38,6 \pm 1,7$ мкм, в двуглавой мышце бедра – $39,6 \pm 1,3$ мкм.

В нашем исследовании в мышечной ткани у бычков калмыцкой породы большая часть волокон имела меньший диаметр. В длиннейшей мышце спины – $32,3 \pm 1,2$ мкм и в двуглавой мышце бедра – $33,5 \pm 1,5$ мкм. Бычки *СС* генотипа в длиннейшей мышце спины имели наибольший диаметр мышечных волокон, чем животные *ТТ* и *СТ* гена *CAST* на $1,8$ мкм ($4,36\%$) и $0,5$ мкм ($1,17\%$).

Носители *С*-аллеля гена *CAST* в двуглавой мышце бедра имели преимущество над сверстниками *ТТ* и *СТ* генотипов гена *CAST* на $3,9$ мкм ($9,37\%$) и $2,2$ мкм ($5,08\%$).

Вопрос о значимости толщины мышечных волокон для оценки качества мясной продукции остается дискуссионным. Одни исследования указывают на то, что уменьшенный диаметр мышечных волокон может быть связан с повышением качества мяса [15, 18, 19]. Это может быть объяснено тем, что более тонкие волокна, как правило, обладают лучшей текстурой и сочностью.

Другие отмечают, что более толстые мышечные волокна содержат более высокие уровни определенных питательных веществ, таких как омега-3 жирные кислоты и антиоксиданты, что делает его более полезным для здоровья [9, 20, 21].

Закключение

Результаты исследования подчеркивают значимость выбора генотипа при селекции животных для мясного производства. Животные с генотипом *CAST^{СС}* демонстрируют высокие показатели по содержанию тонких мышечных волокон по соотношению мышечной и соединительной тканей, что делает их более предпочтительными для разведения. Понимание этих генетических факторов может помочь в оптимизации программ селекции и улучшении качества мясной продукции.

Литература

1. Джуламанов К. М., Макаев Ш. А., Герасимов Н. П. Влияние генотипов быков по генам *CAPN1*, *CAST* и *TG5* на аминокислотный и жирнокислотный составы мяса у потомков казахской белоголовой породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 74-84. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-74
2. Каюмов Ф. Г., Третьякова Р. Ф., Третьякова Н. А. Качественные и количественные показатели мясной продуктивности бычков разных генотипов по генам *CAPN1* и *TG5* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2(88). С. 242-245.
3. Макаев Ш. А., Герасимов Н. П. Влияние генотипа быков-отцов казахской белоголовой породы по генам *CAPN1*, *CAST* и *TG5* на качественные показатели мяса у потомков // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 3. С. 102-113. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-102
4. Столповский Ю. А., Пискунов А. К., Свищева Г. Р. Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития // Генетика. 2020. Т. 56. № 9. С. 1006-1017. doi: 10.31857/S0016675820090143
5. Association of polymorphisms in lipid and energy metabolism-related genes with fattening performance in Simmental cattle / S. Ardici, D. Dincel, H. Samli, et al. // Anim Biotechnol. 2023. Vol. 34. P. 3428-3440.
6. Бейшова И. С. Фенотипические эффекты генов соматотропного каскада, ассоциированных с мясной продуктивностью у коров казахской белоголовой породы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 48-53.

7. Effect of the bovine TG5 gene polymorphism on milk- and meat-producing ability / I. Dolmatova, T. Sedykh, F. Valitov, et al. // *Veterinary World*. 2020. Vol. 13 (10). P. 2046-2052.
8. Dzhulamanov K. M., Makaev Sh. A., Gerasimov N. P. Evaluation of the gene pool by GH L127V and GHR F279Y polymorphisms in Kazakh White-Headed cattle // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022. Vol. 12(227). P. 35-41. doi: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-35-41
9. Смакуев Д. Р., Шевхужев А. Ф., Погодаев В. А. Особенности развития мускулатуры бычков абердин-ангусской породы в зависимости от типа телосложения // *Зоотехния*. 2021. № 5. С. 22-27.
10. Ложкин Э. Ф., Фириченков В. В., Фириченков И. В. О некоторых особенностях морфологии мышечной ткани пород крупного рогатого скота различного направления // *Труды Кубанского аграрного университета. Серия: «Ветеринарные науки»*. 2019. № 1. Ч. 2. С. 48-49.
11. Effect of IGF-1, C472T, GH C2141G, and GHR T914A polymorphisms on growth performance and feed efficiency in young Kazakh white-headed cattle / N. P. Gerasimov, K. M. Dzhulamanov, S. V. Lebedev, et al. // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16 (8). P. 1584-1592.
12. Kök S., Vapur G. Effects of leptin and thyroglobulin gene polymorphisms on beef quality in Holstein breed bulls in Turkey // *Turk J Vet Anim Sci*. 2021. Vol. 45(2). P. 238-247. doi: 10.3906/vet-2009-12
13. Polymorphism of genes and their impact on beef quality / P. Kostusiak, J. Ślósarz, M. Gołbiewski, et al. // *Curr Issues Mol Biol*. 2023. Vol. 45 (6). P. 4749-4762. doi: 10.3390/cimb45060302
14. The relationship of quantitative and qualitative indicators of meat productivity in Kazakh white-headed bulls / A. Lapshina, S. Makaev, S. Lebedev, et al. // *J Anim Sci*. 2021. Vol. 99(S3). P. 260-261. doi: 10.1093/jas/skab235.476
15. Kayumov F. G., Shevlyuk N. N., Tretyakova R. F. Comparative morphological and functional characteristics of the muscle tissue of gobies of cattle of three breeds // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International science and technology conference "Earth Science" 8-10 December 2020, Vladivostok, Russian Federation*. Bristol, England: IOP Publishing; 2021. Vol. 666. P. 052020. doi: 10.1088/1755-1315/666/5/052020
16. Makaev Sh. A., Dzhulamanov K. M., Gerasimov R. P. Formation of adipose tissue in Kazakh white-headed bull-calves from sires with a different genotype for the thyroglobulin gene // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 848. P. 012075. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012075
17. Influence of growth hormone gene polymorphism on the productive qualities and the level of toxic elements in the hair of Kalmyk breed calves / . S. A. Miroshnikov, A. V. Kharlamov, A. N. Frolov, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 624. P. 012024. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012024
18. Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality / T. A. Sedykh, R. S. Gizatullin, IYu. Dolmatova, et al. // *Russ Agricult Sci*. 2020. Vol. 46. P. 289 -294. doi: 10.3103/S1068367420030167
19. 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, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 341P. 012079. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012079
20. Effect of TG5 and LEP polymorphisms on the productivity, chemical composition, and fatty acid profile of meat from Simmental bulls / I Sycheva, E. Latynina, A. Mamedov, et al. // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16(8). P.1647-1654. doi: 10.14202/vetworld.2023.1647-1654
21. Zalewska M., Puppel K., Sakowski T. Associations between gene polymorphisms and selected meat traits in cattle — A review // *Anim Biosci*. 2021. Vol. 34(9). P. 1425-1438. doi: 10.5713/ab.20.0672

References

1. Dzhulamanov K. M., Makaev Sh. A., Gerasimov N. P. The influence of bull genotypes for the CAPN1, CAST and TG5 genes on the amino acid and fatty acid composition of meat in the descendants of the Kazakh White-headed breed // *Animal husbandry and feed production*. 2020. Vol. 103. № 4. P. 74-84. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-74
2. Kayumov F. G., Tretyakova R. F., Tretyakova N. A. Qualitative and quantitative parameters of meat productivity of bulls of different genotypes for the CAPN1 and TG5 genes // *Vestnik of Orenburg State Agrarian University*. 2021. № 2(88). P. 242-245.
3. Makaev Sh. A., Gerasimov N. P. Influence of the genotype of Kazakh White-headed bulls-fathers for the CAPN1, CAST and TG5 genes on the quality parameters of meat of the offspring // *Animal Husbandry and Feed Production*. 2020. Vol. 103. № 3. P. 102-113. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-102
4. Stolpovsky Yu. A., Piskunov A. K., Svishcheva G. R. Genomic selection. I. Recent trends and possible development paths // *Genetics*. 2020. Vol. 56. № 9. P. 1006-1017. doi: 10.31857/S0016675820090143
5. Association of polymorphisms in lipid and energy metabolism-related genes with fattening performance in Simmental cattle / S. Ardicli, D. Dincel, H. Samli, et al. // *Anim Biotechnol*. 2023. Vol. 34. P. 3428-3440.
6. Beyshova I. S. Phenotypic effects of somatotropin cascade genes associated with meat productivity of Kazakh White-headed cows // *Vestnik of Samara State Agricultural Academy*. 2020. № 1. P. 48-53.

7. Dolmatova I., Sedykh T., Valitov F., Gizatullin R., Khaziev D., Kharlamov A. Effect of the bovine TG5 gene polymorphism on milk- and meat-producing ability / I. Dolmatova, T. Sedykh, F. Valitov, et al. // *Veterinary World*. 2020. Vol. 13 (10). P. 2046-2052.
8. Dzhulamanov K. M., Makaev Sh. A., Gerasimov N. P. Evaluation of the gene pool by GH L127V and GHR F279Y polymorphisms in Kazakh White-Headed cattle // *Agrarian Vestnik of the Urals*. 2022. Vol. 12(227). P. 35-41. doi: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-35-41
9. Smakuev D. R., Shevkhuzhev A. F., Pogodaev V. A. Features of the development of the muscles of Aberdeen Angus bulls depending on the body type // *Zootechnics*. 2021. № 5. P. 22-27.
10. Lozhkin E. F., Firichenkov V. V., Firichenkov I. V. On some features of the morphology of muscle tissue of cattle breeds of various directions // *Proceedings of the Kuban Agrarian University. Series: "Veterinary Sciences"*. 2019. № 1. Part 2. P. 48-49.
11. Effect of IGF-1, C472T, GH C2141G, and GHR T914A polymorphisms on growth performance and feed efficiency in young Kazakh white-headed cattle / N. P. Gerasimov, K. M. Dzhulamanov, S. V. Lebedev, et al. // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16 (8). P. 1584-1592.
12. Kök S., Vapur G. Effects of leptin and thyroglobulin gene polymorphisms on beef quality in Holstein breed bulls in Turkey // *Turk J Vet Anim Sci*. 2021. Vol. 45(2). P. 238-247. doi: 10.3906/vet-2009-12
13. Polymorphism of genes and their impact on beef quality / P. Kostusiak, J. Ślósarz, M. Gołebiewski, et al. // *Curr Issues Mol Biol*. 2023. Vol. 45 (6). P. 4749-4762. doi: 10.3390/cimb45060302
14. The relationship of quantitative and qualitative indicators of meat productivity in Kazakh white-headed bulls / A. Lapshina, S. Makaev, S. Lebedev, et al. // *J Anim Sci*. 2021. Vol. 99(S3). P. 260-261. doi: 10.1093/jas/skab235.476
15. Kayumov F. G., Shevlyuk N. N., Tretyakova R. F. Comparative morphological and functional characteristics of the muscle tissue of gobies of cattle of three breeds // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International science and technology conference "Earth Science" 8-10 December 2020, Vladivostok, Russian Federation*. Bristol, England: IOP Publishing; 2021. Vol. 666. P. 052020. doi: 10.1088/1755-1315/666/5/052020
16. Makaev Sh. A., Dzhulamanov K. M., Gerasimov R. P. Formation of adipose tissue in Kazakh white-headed bull-calves from sires with a different genotype for the thyroglobulin gene // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 848. P. 012075. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012075
17. Influence of growth hormone gene polymorphism on the productive qualities and the level of toxic elements in the hair of Kalmyk breed calves / S. A. Miroshnikov, A. V. Kharlamov, A. N. Frolov, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 624. P. 012024. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012024
18. Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality / T. A. Sedykh, R. S. Gizatullin, IYu. Dolmatova, et al. // *Russ Agricult Sci*. 2020. Vol. 46. P. 289 -294. doi: 10.3103/S1068367420030167
19. 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, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 341 P. 012079. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012079
20. Effect of TG5 and LEP polymorphisms on the productivity, chemical al composition, and fatty acid profile of meat from Simmental bulls / I Sycheva, E. Latynina, A. Mamedov, et al. // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16(8). P.1647-1654. doi: 10.14202/vetworld.2023.1647-1654
21. Zalewska M., Puppel K., Sakowski T. Associations between gene polymorphisms and selected meat traits in cattle — A review // *Anim Biosci*. 2021. Vol. 34(9). P. 1425-1438. doi: 10.5713/ab.20.0672