

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ GDF5 И CAPN1 КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ С ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРИЗНАКАМИ

¹В.С. Убушиева

¹К.Е. Бадмаева, кандидат биологических наук

¹А.В. Убушиева

¹Н.В. Чимидова, кандидат биологических наук

²И.Ф. Горлов, доктор сельскохозяйственных наук

¹Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, Элиста, Россия

²Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

E-mail: vicki_93g@mail.ru

Ключевые слова: калмыцкий скот, полиморфизм генов, CAPN1, GDF5, генотип.

Реферат. В статье представлены результаты полиморфизма генов GDF5 и CAPN1 у крупного рогатого скота калмыцкой породы, принадлежащего СПК «Плодовитое» Малодербетовского района Республики Калмыкия, в количестве 60 голов. Выделение образцов ДНК проводили из цельной крови, взятой из яремной вены автоматическим методом экстракции. Проведение полимеразной цепной реакции в режиме реального времени осуществлялось для определения полиморфизма T586C гена GDF5 и C316G гена CAPN1. В изучаемом стаде крупного рогатого скота преобладают животные с генотипом TT – 68,3 % поголовья, число животных с генотипами TC и CC составляют 21,7 и 10 %. При изучении полиморфизма гена CAPN1 выявлено, что 23,3 % бычков исследуемого поголовья калмыцкого скота имеют желательный генотип CC, при этом гетерозиготный генотип присутствует у 16,7 %, рецессивный генотип GG имеют 60 % животных. Частота встречаемости аллеля T гена GDF5 составляет 0,792, что превышает показатель аллеля C (0,208) на 58,2%, наблюдаемая частота генотипов TT и CC превышает показатель ожидаемой на 5,6 и 5,7 % соответственно, при этом показатель генотипа TC ниже ожидаемой частоты на 11,2 %. Частота встречаемости аллеля G (0,683) выше, чем у аллеля C (0,317) гена CAPN1 на 36,6 %. Отмечается, что с наибольшей частотой встречается генотип GG с показателем 0,600, тогда как генотип CG имеет частоту 0,167 (меньше на 43,3 %), генотип CC – 0,233 (меньше на 36,7 %). Показатели наблюдаемой частоты генотипов CC и GG выше ожидаемой на 13,3 %, у гетерозиготного генотипа отмечается превышение ожидаемой частоты на 26,6 %. Бычки с генотипом TT гена GDF5 превосходили своих сверстников с генотипами TC и CC по всем промерам. При изучении живой массы крупного рогатого скота калмыцкой породы в возрасте 15 мес. выявлено положительное влияние генотипа CC гена CAPN1. Так, группа животных с данным генотипом имела наибольшую живую массу и превосходила своих сверстников с генотипами CG (на 9,9 %) и GG (на 11,1 %).

RELATIONSHIP BETWEEN POLYMORPHISM OF GDF5 AND CAPN1 GENES IN KALMYK BREED CATTLE WITH ECONOMIC AND BIOLOGICAL TRAITS

¹V.S. Ubushieva

¹K.E. Badmaeva, PhD in Biological Sciences

¹A.V. Ubushieva

¹N.V. Chimidova, PhD in Biological Sciences

²I.F. Gorlov, Doctor in Agricultural Sciences

¹Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Elista, Russia

²Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

E-mail: vicki_93g@mail.ru

Keywords: Kalmyk breed, gene polymorphism, CAPN1, GDF5, genotype.

Abstract. The article presents the results of polymorphism of the GDF5 and CAPN1 genes in cattle of the Kalmyk breed, owned by the agricultural production company "Plodovitoe" of the Maloderbetovskiy district of the Republic of Kalmykia, in the amount of 60 heads. DNA samples were isolated from whole blood taken from the jugular vein by an automatic extraction method. A real-time polymerase chain reaction was carried out to determine the polymorphism T586C of the GDF5 gene and C316G of the CAPN1 gene. In the studied herd of cattle, animals with the TT genotype predominate - 68.3 % of the population, the number of animals with the TC and CC genotypes is 21.7 % and 10 %. When studying the polymorphism of the CAPN1 gene, it was revealed that 23.3 % of the bulls of the studied population of Kalmyk cattle have the desired genotype CC, while the heterozygous genotype is present in 16.7 %, and the recessive genotype GG is present in 60 % of animals. The frequency of occurrence of the T allele of the GDF5 gene is 0.792, which exceeds the indicator of the C allele (0.208) by 58.2 %, the observed frequency of TT and CC genotypes exceeds the expected indicator by 5.6 and 5.7 %, respectively, while the indicator of the TC genotype is lower than the expected frequency by 11.2 %. The frequency of occurrence of the G allele (0.683) is 36.6 % higher than that of the C allele (0.317) of the CAPN1 gene. It is noted that the GG genotype with an index of 0.600 occurs with the highest frequency, while the CG genotype has a frequency of 0.167 (43.3 % less), the CC genotype – 0.233 (36.7 % less). The indicators of the observed frequency of the CC and GG genotypes are 13.3% higher than expected, the heterozygous genotype has an excess of the expected frequency by 26.6 %. Bulls with the TT genotype of the GDF5 gene outperformed their peers with the TC and CC genotypes in all measurements. When studying the live weight of Kalmyk cattle at the age of 15 months, a positive effect of the CC genotype of the CAPN1 gene was revealed. Thus, the group of animals with this genotype had the largest live weight and surpassed their peers with the genotypes CG (by 9.9 %) and GG (by 11.1 %).

Необходимость обеспечения качественными мясными продуктами населения устанавливает тенденцию перспективного развития животноводства и наращивания объема получения продукции в стране. Традиционной отраслью животноводства является мясное скотоводство [1], развитие которого обуславливает рациональное использование генетического потенциала скота отечественных пород [2].

Одной из ценных отечественных пород скота мясного направления продуктивности считается калмыцкая. Калмыцкий скот обладает ценными хозяйственно-биологическими качествами и отличается высоким показателем продуктивности, крепкой конституцией, относительным долголетием, неприхотливостью к условиям содержания и кормления, а также своей приспособляемостью к различным природно-климатическим условиям [3]. Мясо данной породы имеет высокие вкусовые качества, благодаря чему используется в улучшении мясных качеств крупного рогатого скота молочного направления продуктивности [4].

В последние годы значительно возросло использование генетических исследований в селекционно-племенной работе с породами крупного рогатого скота мясного направления продуктивности. Молекулярно-генетический скрининг по генам, связанным с мясной

продуктивностью, важен при формировании высокопродуктивного племенного стада. Так, генотипирование поголовья позволяет с высокой точностью спрогнозировать продуктивность стада еще на ранней стадии развития животных, что повышает эффективность селекционно-племенной работы [5, 6].

Наиболее полезными в селекции считаются однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) ДНК-маркеров. Для прогноза мясной продуктивности скота используют гены, отвечающие за рост и качество мяса [6].

Одним из таких маркеров является ген GDF5. Фактор дифференциации роста 5 относится к суперсемейству TGF- β [7], участвует в развитии, поддержании костно-хрящевой ткани [8], а также в формировании телосложения скота мясного направления продуктивности [9]. В некоторых исследованиях говорится о том, что данный ген оказывает влияние на параметры тела крупного рогатого скота при одинаковой живой массе [10, 11].

Геном, ассоциированным с «нежностью» мяса, является CAPN1, который кодирует μ -кальпаин, относящийся к семейству нелизосомальных внутриклеточных цистеиновых кальций-зависимых протеиназ. Кальпаин играет главную роль в послеубойном протеолизе и размягчении мяса [12, 13].

Цель исследований – изучение влияния полиморфизма генов GDF5 и CAPN1 крупного рогатого скота калмыцкой породы на хозяйственно-биологические признаки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проведено на базе регионального научно-производственного центра по воспроизводству ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова». Объектом исследования служил крупный рогатый скот калмыцкой породы, принадлежащий СПК «Плодовитое» Малодербетовского района Республики Калмыкия. Для проведения молекулярно-генетического анализа были взяты пробы крови у бычков калмыцкой породы в количестве 60 образцов. Отбор крови произведен из яремной вены.

Измерение промеров и живой массы бычков проводилось в возрасте 15 мес.

Выделение образцов ДНК из цельной крови проводили автоматическим методом экстракции с использованием набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ» ООО «НекстБИО» согласно краткому руководству по применению. Проведение полимеразной цепной реакции в режиме реального времени осуществлялось на амплификаторе Rotor-Gene Q, с использованием наборов для определения полиморфизма T586C гена GDF5 и C316G гена CAPN1 Синтол. Подготовку реакционной смеси проводили по следующей схеме:

1. 2,5 х Реакционная смесь – 10 мкл;
2. Разбавитель – 10 мкл;
3. Таq ДНК-полимераза, 5 Е/мкл – 0,5 мкл;
4. ДНК – 5 мкл.

Программу амплификации задавали по параметрам, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Параметры проведения амплификации
Parameters for carrying out amplification

Этап	Температура	Время	Детекция	Повторы
Удержание температуры	94	3 мин	Без детекции	1
Цикл 1	94	20 с	Без детекции	10
	58	20 с	Без детекции	
	61	30 с	Без детекции	
Цикл 2	94	20 с	Без детекции	30
	58	20 с	Без детекции	
	61	30 с	Детекция на Green, Yellow	

Интерпретация результатов анализа проводилась на основании отчета, созданного в программе Rotor-Gene 6000 Series SoftWare 1.8.17.5.

Обработку данных, полученных в исследованиях, проводили с использованием методов вариационной статистики с помощью программы Excel офисного пакета Microsoft Office.

Частота встречаемости генотипов рассчитывалась по формуле

$$p = \frac{n}{N}, \quad 1)$$

– где p – частота встречаемости генотипа; n – количество животных с определенным генотипом; N – общее количество животных.

Определение частоты встречаемости аллелей производилось по формуле:

$$P_T = \frac{(2 \times n_{TT} + n_{TC})}{2 \times N}, \quad (2)$$

$$P_C = \frac{(2 \times n_{CC} + n_{TC})}{2 \times N}, \quad (3)$$

– где P_T – частота аллеля Т; P_C – частота аллеля С; n_{TT} – число животных с генотипом ТТ, n_{CC} – число животных с генотипом СС; n_{TC} – число животных с генотипом ТС; N – общее число аллелей. Формула для аллелей С и G гена CAPN1 аналогичная.

Ожидаемая частота генотипов рассчитывалась по закону Харди–Вайнберга.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных, полученных при проведении полимеразной цепной реакции в режиме реального времени гена дифференциации роста 5, показал, что в изучаемой популяции крупного рогатого скота преобладают животные с

генотипом ТТ – на 46 % больше, чем в группе генотипом ТС, и на 58,3 % больше, чем в группе с генотипом СС (табл. 2). При изучении полиморфизма гена CAPN1 выявлено присутствие желательного генотипа СС у 23,3 % исследуемого поголовья калмыцкого скота, при этом гетерозиготный генотип СG имеют 16,7 % животных, рецессивный генотип GG – 60 %.

Таблица 2

Частота встречаемости аллелей и генотипов GDF5 и CAPN1
Frequency of alleles and genotypes of GDF5 and CAPN1

Генотип	Кол-во животных, гол.	Наблюдаемая частота встречаемости	Ожидаемая частота встречаемости
Ген GDF5			
ТТ	41	0,683	0,627
ТС	13	0,217	0,329
СС	6	0,100	0,043
Частота аллеля Т	0,792		
Частота аллеля С	0,208		
Ген CAPN1			
СС	14	0,233	0,100
CG	10	0,167	0,433
GG	36	0,600	0,467
Частота аллеля С	0,317		
Частота аллеля G	0,683		

Из данных табл. 2 видно, что частота встречаемости аллеля Т гена GDF5 превышает частоту аллеля С на 58,2 %. Наблюдаемая частота генотипов ТТ и СС превышает показатель ожидаемой на 5,6 % и 5,7 % соответственно, при этом показатель генотипа ТС ниже ожидаемой частоты на 11,2 %.

Частота встречаемости аллеля G превышает частоту аллеля С гена CAPN1 на 36,6 %. Отмечается, что с наибольшей частотой встречается

генотип GG, показатель которого превышает частоту генотипов СС и CG на 36,7 % и 43,3 % соответственно. Показатели наблюдаемой частоты генотипов СС и GG выше ожидаемой на 13,3 %, у гетерозиготного генотипа отмечается превышение ожидаемой частоты на 26,6 %.

В нашем исследовании были изучены особенности формирования экстерьера у крупного рогатого скота калмыцкой породы в зависимости от полиморфизма гена GDF5 (табл. 3)

Таблица 3

Промеры исследуемых животных в зависимости от генотипа GDF5
Measurements of the animals studied depending on the GDF5 genotype

Показатель	Генотип GDF5		
	ТТ	ТС	СС
1	2	3	4
Высота в крестце	122,6±0,21	121,5±0,26***	121±0,32***
Высота в холке	121,2±0,22	120,1±0,30**	119,3±0,23***
Глубина груди	60,9±0,19	60,0±0,26**	58,9±0,17***
Косая длина туловища	141,0±0,22	140,6±0,33	138,8±0,23***

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Обхват груди	169,8±0,16	168,7±0,32**	168,2±0,72*
Обхват пясти	15,6±0,10	15,2±0,16*	15,1±0,22*
Ширина в маклоках	39,3±0,15	38,8±0,16*	38,5±0,20**

Примечание. Разность по отношению к генотипу ТТ *P ≥ 0,95, **P ≥ 0,99, ***P ≥ 0,999.

Бычки с генотипом ТТ превосходили своих сверстников с генотипами ТС и СС по всем промерам: в высоте в крестце соответственно на 0,9 % (P ≥ 0,999) и 1,3 % (P ≥ 0,999), в высоте в холке – 0,9 % (P ≥ 0,99) и 1,5 % (P ≥ 0,999), в глубине груди – 1,5 % (P ≥ 0,99) и 3,37 % (P ≥ 0,999), в косой длине туловища – 0,3 % (P ≤ 0,90) и 1,5 % (P ≥ 0,999), в обхвате груди –

0,6 % (P ≥ 0,99) и 0,9 % (P ≥ 0,95), в обхвате пясти – 2,9 % (P ≥ 0,95) и 3,6 % (P ≥ 0,95), в ширине в маклоках – 1,2 % (P ≥ 0,95) и 2,1 % (P ≥ 0,99).

При изучении живой массы бычков крупного рогатого скота калмыцкой породы в возрасте 15 мес. обнаружено положительное влияние гена кальпаина (табл. 4).

Таблица 4

Живая масса исследуемого поголовья калмыцкого скота в возрасте 15 мес. в зависимости от генотипа по гену CAPN1
Live weight of the studied population of Kalmyk cattle at the age of 15 months depending on the genotype of the CAPN1 gene

Генотип	Кол-во животных	Средняя живая масса, кг
CC	14	469,4±1,9
CG	10	422,7±3,1***
GG	36	417,1±1,2***

Примечание. Разность по отношению к генотипу СС ***P ≥ 0,999.

Так, группа животных с генотипом СС имела наибольшую живую массу и превосходила своих сверстников с генотипами CG и GG на 9,9 % (P ≥ 0,999) и на 11,1 % (P ≥ 0,999) соответственно.

Исследование полиморфизма T586C гена GDF5 показало, что с наибольшей частотой встречаемости у популяции крупного рогатого скота калмыцкой породы, принадлежащей СПК «Плодовитое» Малодербетовского района Республики Калмыкия, выявлен генотип ТТ (0,683), с наименьшей – СС (0,1). Литературные данные свидетельствуют о том, что ген GDF5, имея решающее значение в развитии костей, связок и сухожилий, положительно влияет на линейные промеры скота. В нашем исследовании выявлено положительное влияние гена GDF5 на промеры тела изучаемого поголовья крупного рогатого скота калмыцкой породы.

При изучении полиморфизма гена CAPN1 выявлено, что с наибольшей частотой встреча-

ется генотип GG с показателем 0,600, генотип СС – 0,233, генотип CG – 0,167. Известно, что данный ген отвечает за «нежность» мяса, также имеются данные о положительном влиянии на живую массу крупного рогатого скота мясного направления продуктивности [14, 15]. В нашем исследовании выявлено достоверное различие по показателям живой массы у животных с генотипом СС, бычки этой группы превосходили сверстников с генотипами СС и GG.

ВЫВОДЫ

1. У исследуемого поголовья крупного рогатого скота калмыцкой породы, принадлежащего СПК «Плодовитое» Малодербетовского района Республики Калмыкия, с наибольшей частотой встречаются генотипы ТТ гена GDF5 (0,683) и GG гена CAPN1 (0,600).

2. Выявлено положительное влияние генотипа ТТ гена GDF5 на линейные промеры

калмыцкого скота. Бычки с данным генотипом превосходили своих сверстников с генотипами ТС и СС по всем промерам: в высоте в крестце соответственно на 0,9 и 1,3 %, в высоте в холке – на 0,9 и 1,5 %, в глубине груди – на 1,5 и 3,37 %, в косой длине туловища – на 0,3 % ($P \leq 0,90$) и 1,5 %, в обхвате груди – на 0,6 и 0,9 %, в обхвате пясти – на 2,9 и 3,6 %, в ширине в маклоках – на 1,2 и 2,1 %.

3. Подтверждено влияние генотипа СС гена CAPN1 на живую массу исследуемого поголовья крупного рогатого скота. Группа животных,

с желательным гомозиготным генотипом имела наибольшую живую массу и превосходила своих сверстников с генотипами СС и GG на 9,9 % и на 11,1 % соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2022-119/1 «Особенности организации генома крупного рогатого скота мясных пород, ассоциированных с высоким адаптивным и продуктивным потенциалом, на основе высокополиморфных генетических маркеров»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мясное* скотоводство России и перспективы его развития / А.Ф. Шевхужев, В.А. Погодаев, В.В. Голембовский, С.С. Гостищев // *Сельскохозяйственный журнал*. – 2021. – № 4. – С. 53–60.
2. *Чинаров В.И.* Породные ресурсы скотоводства России // *Достижения науки и техники АПК*. – 2020. – № 7. – С. 80–85
3. *Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф.* Адаптивные качества и интерьерные различия помесных и чистопородных тёлочек калмыцкой породы в условиях высокогорья Кабардино-Балкарской Республики // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 2 (94). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnye-kachestva-i-interiernye-razlichiya-pomesnyh-i-chistopородnyh-tyolok-kalmytskoy-porody-v-usloviyah-vysokogorya-kabardino> (дата обращения: 23.11.2023).
4. *Приступа В.Н., Кротова О.В., Савенков К.С.* Мясная продуктивность скота калмыцкой породы различных линий // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 3. – С. 88–93.
5. *Анализ* полиморфизма генов CAPN1, GH и TG5 у помесного молодняка при скрещивании калмыцкого скота и красных ангусов / Ф.Г. Каюмов, И.М. Дунин, М.И. Селионова [и др.] // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2018. – № 4. – С. 28–34.
6. *Колпаков В.И.* Влияние некоторых полиморфных генов на мясную продуктивность и качество мяса у крупного рогатого скота (обзор) // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2020. – № 4. – С. 47–64.
7. *Influence of Different Evolutive Forces on GDF5 Gene Variability* / L. Flore, P. Francalacci, M. Massidda, R. Robledo, C.M. Calò // *Genes (Basel)*. – 2023. – Vol. 14(10). – P. 1895. – DOI: 10.3390/genes14101895. PMID: 37895244; PMCID: PMC10606091.
8. *Влияние* полиморфизма гена фактора дифференциации роста 5 на морфологические и биохимические показатели крови / А.В. Харламов, А.Н. Фролов, О.А. Завьялов, Е.А. Тяпугин // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2019. – № 3. – С. 46–57.
9. *Возрастная* изменчивость конституции и экстерьера герефордских бычков, генотипированных по гену GDF5 / К.М. Джуламанов, Н.П. Герасимов, В.И. Колпаков, Е.Б. Джуламанов // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2020. – № 3. – С. 36–45.
10. *Харламов А.В., Фролов А.Н., Завьялов О.А.* Изменение параметров тела бычков в зависимости полиморфизма гена фактора дифференциации роста 5 // *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН*. – 2019. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-parametrov-tela-bychkov-v-zavisimosti-polimorfizma-gena-faktora-differentsiatsii-rosta-5> (дата обращения: 11.11.2023).
11. *Возрастная* изменчивость конституции и экстерьера герефордских бычков, генотипированных по гену GDF5 / К.М. Джуламанов, Н.П. Герасимов, В.И. Колпаков, Е.Б. Джуламанов // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2020. – № 3. – С. 36–45.
12. *Association of calpain and calpastatin activity to postmortem myofibrillar protein degradation and sarcoplasmic proteome changes in bovine Longissimus lumborum and Triceps brachii* / L.G. de Oliveira,

- E.F. Delgado, E.M. Steadham, E. Huff-Lonergan, S.M. Lonergan // *Meat Sci.* – 2019. – № 155. – P. 50–60. – DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.04.015.
13. Исследование полиморфизма RS17872000 в генах кальпаина (CANP1) и RS109221039 кальпастатина (CAST) у крупного рогатого скота мясного направления продуктивности / Е.Л. Романишко, А.И. Киреева, М.Е. Михайлова, Р.И. Шейко // *Молекулярная и прикладная генетика.* – 2022. – Т. 32. – С. 89–96. – DOI:10.47612/1999-9127-2022-32-88-96.
14. Габидулин В.М., Алимova С.А., Салихов А.А. Результаты полиморфизма гена CAPN1, ассоциированного с показателями продуктивности скота абердин-ангусской породы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* – 2019. – № 5. – С. 238–240.
15. *Полиморфизм* генов GH, MC4R и CAPN1 у южных популяций крупного рогатого скота мясных пород и влияние на живую массу / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Е.Ю. Анисимова [и др.] // *Животноводство и кормопроизводство.* – 2023. – Т. 106, № 3. – С. 21–34.

REFERENCES

1. Shevkhuzhev A.F., Pogodaev V.A., Golembovskii V.V., Gostishchev S.S., *Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*, 2021, No. 4, pp. 53–60. (In Russ.)
2. Chinarov V.I., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, No. 7, pp. 80–85. (In Russ.)
3. Kharlamov A.V., Frolov A.N., Zav'yalov O.A., Tyapugin E.A., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2019, No. 3, pp. 46–57. (In Russ.)
4. Pristupa V.N., Krotova O.V., Savenkov K.S., *Izvestiya SPbGAU*, 2020, No. 3, pp. 88–93. (In Russ.)
5. Kayumov F.G., Dunin I.M., Selionova M.I., Gerasimov N.P., Barinov V.E., Tret'yakova R.F., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2018, No. 4, pp. 28–34. (In Russ.)
6. Kolpakov V.I., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2020, No. 4, pp. 47–64. (In Russ.)
7. Flore L., Francalacci P., Massidda M., Robledo R., Calò C.M., Influence of Different Evolutive Forces on GDF5 Gene Variability, *Genes (Basel)*, 2023, No. 14(10), pp. 1895, DOI: 10.3390/genes14101895. PMID: 37895244; PMCID: PMC10606091.
8. Kharlamov A.V., Frolov A.N., Zav'yalov O.A., Tyapugin E.A., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2019, No. 3, pp. 46–57. (In Russ.)
9. Dzhulamanov K.M., Gerasimov N.P., Kolpakov V.I., Dzhulamanov E.B., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2020, No. 3, pp. 36–45.
10. Kharlamov A.V., Frolov A.N., Zav'yalov O.A., *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2019, No. 4, pp. 1–8: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-parametrov-tela-bychkov-v-zavisimosti-polimorfizma-gena-faktora-differentsiatsii-rosta-5>. (In Russ.)
11. Dzhulamanov K.M., Gerasimov N.P., Kolpakov V.I., Dzhulamanov E.B., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2020, No. 3, pp. 36–45. (In Russ.)
12. de Oliveira L.G., Delgado E.F., Steadham E.M., Huff-Lonergan E., Lonergan S.M., Association of calpain and calpastatin activity to postmortem myofibrillar protein degradation and sarcoplasmic proteome changes in bovine *Longissimus lumborum* and *Triceps brachii*, *Meat Sci.*, 2019, No. 155, pp. 50–60, DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.04.015. Epub 2019 Apr 19. PMID: 31075739.
13. Romanishko E.L., Kireeva A.I., Mikhailova M.E., Sheiko R.I., *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*, 2022, No. 32, pp. 89–96, DOI: 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96. (In Russ.)
14. Gabidulin V.M., Alimova S.A., Salikhov A.A., *Izvestiya OGAU*, 2019, No. 5, pp. 238–240. (In Russ.)
15. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Anisimova E.Yu., Karpenko E.V., Badmaeva K.E., Ubushieva V.S., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023, No. 3, pp. 21–34. (In Russ.)