

Полиморфизм гена кальпастина (CAST) у овец романовской породы

✉ Климанова Е.А., Коновалова Т.В.

Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия

✉ e-mail: kateri2403@mail.ru

Статья посвящена изучению генетических особенностей овец романовской породы с целью выявления полиморфизма в локусе гена кальпастина (CAST) и определения частот аллелей и генотипов. В работе подчеркивается значимость генетических маркеров для более эффективной селекции в рамках генетических программ по улучшению качества мяса сельскохозяйственных животных. Исследования проводили на базе Новосибирского государственного аграрного университета (кафедра ветеринарной генетики и биотехнологии). Ген CAST, локализованный на пятой хромосоме и состоящий из 29 экзонов, изначально был обнаружен у породы дорсет хорн. Кальпастин является ингибитором кальпаинов – кальций-зависимых протеаз, участвующих в регуляции различных клеточных процессов. В гене CAST выявлены два варианта аллелей: дикий аллель М и мутантный аллель N; а также три генотипа: MM (содержит последовательности длиной 336/286 п.н.), MN (622/336/286 п.н.) и NN (622/622 п.н.). Согласно результатам исследования, проведенного на 30 животных, распределение по генотипу у овец романовской породы имеет следующий вид: MM – 70%, MN – 23%, NN – 7%. Анализ показывает, что распределение генотипов не отклоняется от закона Харди–Вайнберга. Критерий χ^2 , наблюдаемый для общей выборки, был меньше χ^2 ожидаемого ($\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{ожд}}$, $\alpha = 0,05$). Результаты проведенного исследования соотнесены с данными предыдущих исследований по другим российским породам овец, включая тувинскую короткожирнохвостую, западно-сибирскую и кулундинскую. Замечено преобладание аллеля М, тогда как генотип NN встречается довольно редко. Возможно, этот генотип может быть связан с понижением жизнеспособности животных.

Ключевые слова: породы овец, Западная Сибирь, однонуклеотидные полиморфизмы, генотипы, частоты аллелей и генотипов

Polymorphism of the calpastatin gene (CAST) in sheep of the Romanov breed

✉ Klimanova E.A., Konovalova T.V.

Novosibirsk State Agrarian University

Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: kateri2403@mail.ru

The article presents the study of genetic features of Romanov sheep to identify polymorphisms in the calpastatin gene locus (CAST) and to determine allele and genotype frequencies. The paper emphasizes the importance of genetic markers for more effective breeding in genetic programs to improve the quality of meat of farm animals. The studies were conducted at the Novosibirsk State Agrarian University at the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology. The CAST gene, localized on the fifth chromosome and consisting of 29 exons, was originally discovered in the Dorset Horn breed. Calpastatin is an inhibitor of calpains – calcium-dependent proteases involved in the regulation of various cellular processes. Two allelic variants were identified in the CAST gene: wild-type allele M and mutant allele N; and three genotypes: MM (contains sequences of length 336/286 bp), MN (622/336/286 bp), and NN (622/622 bp). According to the research conducted on 30 animals, the distribution of genotypes in the Romanov sheep breed is as follows: MM – 70%, MN – 23%, and NN – 7%. The analysis indicates that the genotype distribution does not deviate from Hardy–Weinberg equilibrium. The observed chi-square (χ^2) value for the entire sample was lower than the expected chi-square value ($\chi^2_{\text{obs}} < \chi^2_{\text{exp}}$, $\alpha = 0.05$). The results of this study were correlated with the results of the previous studies on other Russian sheep breeds, including the Tuvianian short-fat-tailed, West Siberian

and Kulunda breeds. The predominance of the M allele has been observed, while the NN genotype is rare. It is possible that this genotype may be associated with reduced animal viability.

Keywords: sheep breeds, Western Siberia, single nucleotide polymorphisms, genotypes, allele and genotype frequencies

Для цитирования: Климанова Е.А., Коновалова Т.В. Полиморфизм гена кальпастатина (CAST) у овец романовской породы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 1. С. 76–83. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-1-9>

For citation: Klimanova E.A., Konovalova T.V. Polymorphism of the calpastatin gene (CAST) in sheep of the Romanov breed. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2025, vol. 55, no. 1, pp. 76–83. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-1-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-26-00136).

Acknowledgements

The research was financed by the Russian Science Foundation (project number 24-26-00136).

ВВЕДЕНИЕ

Знание генетической структуры сельскохозяйственных животных открывает новые возможности для более эффективной селекции с помощью генетических маркеров, что, в свою очередь, может способствовать получению большей экономической выгоды [1–3]. Одними из основных инструментов в отборе животных в рамках программ генетического улучшения являются идентификация, картирование и анализ однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) генов, участвующих в основных метаболических путях, связанных с ростом животных и распределением питательных веществ в различных тканях [4, 5]. Тем не менее, по сравнению с говядиной и свининой, исследования генетического воздействия, включая мутации и экспрессию генов-кандидатов, на состав баранины немногочисленны [1].

Характеристики массы при рождении и при отъеме, а также упитанность и рост мышц являются полигенными признаками¹. Однако известно о влиянии на них крупных генов, таких как лептин, гормон роста, рецептор гормона роста, ген инсулиноподобного фактора роста 1, а также кальпаин и каль-

пастатин. Лептин является регулятором жировых отложений, влияет на обменные процессы липидов, аппетит, рост и конституцию животного, на процесс размножения. Гормон роста влияет на деление и рост клеток, образование хрящей, увеличение объема костной и мышечной тканей, тканей внутренних органов, в то время как рецептор гормона роста регулирует транскрипцию других генов и управляет действием гормона роста на целевые клетки. Ген инсулиноподобного фактора роста 1 связан с запрограммированной клеточной гибелью, стимуляцией миогенеза и усиленным поглощением глюкозы. Кальпаин и кальпастатин также являются важными факторами, связанными с регуляцией мишеневых клеток и качеством мышечной ткани [4].

Кальпаин (CAPN) связан с расщеплением мышечных белков, тогда как ген кальпастатина (CAST) представляет собой ингибитор действия кальпаина. Кальпастатин является частью системы кальпаин – кальпастатин, которая играет большую роль во многих важных процессах, включая развитие и рост мышц. Кроме того, кальпастатин активно регулирует процессы деградации миофибриллярных белков как в живых мышечных

¹Кушнир А.В., Глазко В.И., Петухов В.А., Димов Г., Сторожук С.И. Биология, генетика и селекция овцы: монография. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2010. 524 с.

тканях, так и после их отмирания [1]. Ускорение роста скелетных мышц сопровождается снижением активности кальпаина, главным образом за счет повышения активности кальпастина.

На рисунке показана доменная организация кальпастина. Из пяти доменов в составе кальпастина только N-концевой лидерный домен (L) не обладает какой-либо ингибирующей активностью в отношении кальпаинов, но может участвовать во внутриклеточной локализации. Другие домены (I–IV) очень гомологичны и потенциально способны ингибировать кальпаины. Также обнаружено, что удаление домена XL, выполняющего регуляторную функцию, изменяет паттерны фосфорилирования белка (см. рисунок). Эти наблюдения позволяют предположить, что гены, кодирующие кальпаины и кальпастин, можно рассматривать как гены-кандидаты роста мышечной ткани и повышения мясной продуктивности овец.

Ген CAST играет большую роль в росте и развитии мышц, поэтому его можно рассматривать в качестве возможного гена-кандидата для определения показателей качества туши и мяса овец [6]. Кроме того, интерес представляют его возможные корреляционные взаимоотношения с биохимическими, гематологическими и цитогенетическими показателями.

Комплексное изучение генетического профиля популяции овец в зоне разведения на территории Западной Сибири поможет установить референтные значения по ряду показателей для данной породы.

Цель настоящего исследования заключается в выявлении генетических вариантов в локусе гена CAST и расчете частоты аллелей и генотипов у романовских овец в условиях Западной Сибири для дальнейшего определения генетической изменчивости этой породы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили на кафедре ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского государственного аграрного университета. Выборка составляла 30 овец романовской породы, разводимых в Промышленновском районе Кемеровской области. Для получения ДНК из цельной крови овец использовали специальный набор для выделения геномной ДНК из клеток, тканей и крови (Биолабмикс, Новосибирск).

Для ПЦР-диагностики использовали набор «БиоМастер LR HS-ПЦР» (Биолабмикс, Новосибирск). Протокол для постановки ПЦР был следующим: первоначальная денатурация при 95 °C – 4 мин, денатурация при 95 °C – 45 с, отжиг при 62 °C – 45 с, синтез при 72 °C – 45 с (35 циклов), завершающий синтез при 72 °C – 7 мин. Применявшиеся праймеры для амплификации и эндонуклеазы рестрикции, а также условия проведения реакций представлены в табл. 1.

Все результаты детектировали с помощью 2%-го агарозного геля. В качестве буфера для приготовления геля применяли 1×TBE. Таким образом, описываемое исследование включало использование специализированных методик и реагентов для проведения ДНК-анализа у овец романовской породы.



Структура полипептидных доменов кальпастина
Structure of calpastatin's polypeptide domains

Табл. 1. Методология молекулярно-генетических исследований для анализа гена CAST

Table 1. Methodology of molecular genetic research for CAST gene analysis

Условия проведения реакции	Примечание
<i>Амплификация</i>	
Праймеры: F: 5'-TGGGGCCCAATGACGCCATCGATG -3' R: 5'-GGT GGA GCA GCA CTT CTG ATC ACC-3'	Длина фрагмента амплификации – 622 п.н.
<i>Обработка эндонуклеазой рестрикции</i>	
Эндонуклеаза – MspI Время проведения реакции – 12–16 ч при 37 °C	
<i>Детекция результатов</i>	
Визуализация обработанных эндонуклеазой рестрикции фрагментов ДНК в 2%-м агарозном геле	Длина фрагментов – 622, 336 и 286 п.н.

Кроме того, осуществлен подсчет частот аллелей и генотипов для локуса CAST, определено генетическое равновесие в соответствии с законом Харди–Вайнберга.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ген кальпастатина у овец локализован на пятой хромосоме и состоит из 29 экзонов. Данный полиморфизм открыт в 1998 г. у овец породы дорсет хорн². В настоящее время установлено, что множественные полиморфизмы в гене CAST потенциально имеют отношение к качественным характеристикам мяса. Высокая степень полиморфизма локуса CAST зарегистрирована у свиней, крупного рогатого скота, бройлеров и кроликов [6].

В табл. 2 представлена информация о распределении частот аллелей и генотипов в гене CAST у овец романовской породы.

Исследования генетического полиморфизма в гене CAST у овец выявили различные виды полиморфизма, играющие важную роль в генетическом разнообразии данного гена в популяции. Указанный полиморфизм, расположенный в области экзона, связанной с аминокислотной заменой, возникающей в результате конформационных изменений белка, представляет интерес для изучения в рамках популяции романовских овец Западной Сибири.

В ходе нашего исследования были выявлены аллели М и N, а также три генотипа – MM (336/286 п.н.), MN (622/336/286 п.н.) и NN (622/622 п.н.). Разница между ожидаемым распределением и наблюдаемым по гомологичному генотипу MM составила 21,4%, по гетерозиготному MN – 39,4%, тогда как по гомологичному NN разницы не наблюдалось.

Табл. 2. Распределение частот аллелей и генотипов по CAST у овец романовской породы

Table 2. Distribution of allele and genotype frequencies according to CAST in the Romanov breed

Значение	Частота генотипа			Частота аллелей		χ^2
	MM	MN	NN	M	N	
Наблюдаемое	0,700	0,230	0,070	0,820	0,180	0,090
Ожидаемое	0,550	0,380	0,070	0,740	0,260	3,840

²Palmer B.R., Roberts N., Hickford J.G.H., Bickerstaffe R. Rapid communication: PCR-PFLP for MspI and NcoI in the ovine calpastatin gene // Journal of animal science. 1998. Vol. 76. P. 1499–1500.

Столь же важно отметить, что в популяции романовских овец не обнаружено отклонений от распределения Харди–Вайнберга по данному полиморфизму (значение критерия χ^2 для общей выборки оказалось меньше ожидаемого значения при $\alpha = 0,05$). В то же время в рассматриваемой популяции наблюдается значительное преобладание аллеля М. Этот факт объясняется преобладанием животных с генотипом ММ по сравнению с генотипом NN (больше в 10 раз).

Полиморфизм в гене CAST широко изучен как в российских [7–10], так и в зарубежных породах овец [11–15]. Данные о распределении частот аллелей и генотипов в популяциях овец на территории России представлены в табл. 3.

Результаты, полученные в наших исследованиях по овцам романовской породы, схожи с результатами предыдущих исследований по тувинской короткожирнохвостой породе (степной и горный типы), западно-сибирской и кулундинской породам [8, 10]. По частоте встречаемости гомозиготного генотипа ММ

лидирует дагестанская горная порода. Стоит отметить, что у большинства рассматриваемых пород отсутствовали животные с генотипом NN. Этот генотип редко встречается в популяциях овец и, возможно, может быть связан со снижением жизнеспособности животных. Отличия в распределении частот аллелей наблюдаются по сравнению с дагестанской горной (популяция практически мономорфна по аллелю М; частота аллеля М в 1,2 раза ниже, аллеля N – в 6 раз выше у романовских овец) и татарстанской породами (частота аллеля М в 1,3 раза ниже, аллеля N – в 3,5 раза выше у романовских овец).

В табл. 4 показано распределение частот аллелей и генотипов для локальных зарубежных пород.

Данные по зарубежным породам немного отличаются как от полученных нами результатов по романовским овцам, так и от сведений по отечественным породам в целом. Эти различия можно не только связать с генотипической изменчивостью исследуемых популяций, но и объяснить влиянием паратипиче-

Табл. 3. Частоты генотипов и аллелей по локусу CAST у российских пород овец

Table 3. Frequencies of genotypes and alleles at the CAST locus in Russian sheep breeds

Порода	Частота генотипа			Частота аллелей		Источник
	ММ	MN	NN	М	N	
Дагестанская горная	0,930	0,070	0,000	0,970	0,030	[7]
Тувинская короткожирнохвостая:						
горный тип	0,770	0,230	0,000	0,890	0,110	[8]
степной тип	0,740	0,260	0,000	0,870	0,130	[8]
Эдильбаевская	0,880	0,120	0,000	0,940	0,060	[9]
Татарстанская	0,890	0,090	0,020	0,940	0,060	[9]
Западно-сибирская	0,690	0,280	0,030	0,830	0,170	[10]
Кулундинская	0,750	0,230	0,020	0,870	0,130	[10]

Табл. 4. Частоты генотипов и аллелей по локусу CAST у зарубежных пород овец

Table 4. Frequencies of genotypes and alleles at the CAST locus in foreign sheep breeds

Порода	Частота генотипа			Частота аллелей		Источник
	ММ	MN	NN	М	N	
Awassi (Иордания)	0,352	0,648	–	0,468	0,514	[12]
Bulgarian Milk sheep (Болгария)	0,840	0,150	0,010	0,920	0,080	[13]
Bandur sheep (Индия)	0,240	0,590	0,170	0,535	0,465	[14]
Sucre (Испания)	0,847	0,147	0,060	0,920	0,080	[15]
Valle del Cauca (Испания)	0,832	0,162	0,060	0,910	0,090	[15]

ского фактора адаптации к условиям среды. В отечественных популяциях овец чаще всего преобладает генотип ММ (у всех пород, представленных в табл. 3, а также у романовских овец), в то время как у овец Awassi и Bandur животные с генотипом MN встречаются чаще, чем с генотипами ММ и NN (в 1,8 и 2,5 раза соответственно). Для зарубежных и отечественных пород характерны особи с генотипами ММ и MN. Можно предположить, что животные с генотипом NN встречаются редко как в России, так и за ее пределами. В свою очередь, это может быть связано с нежелательными фенотипическими проявлениями и выбраковкой овец гомозиготных по аллелю N. Отмечено, что у представителей породы Bandur установлена ассоциация генотипа NN с более высокой нежностью мяса по сравнению с носителями генотипов ММ и MN. Однако по отечественным породам овец таких данных нет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Романовская порода имеет схожую генетическую структуру по распространению аллельных вариантов в локусе гена кальпастатина с отечественными популяциями овец. В дальнейшем планируется установить связь биохимических и цитогенетических показателей, гормонального статуса и содержания тяжелых металлов у романовских овец в условиях Западной Сибири с изученными генотипами. Популяция романовских овец уже изучена по ряду локусов [16, 17], и полученные данные позволят расширить знания о генетической структуре указанной породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guo X., Li T., Lu D., Yamada T., Li X., Bao S., Liu J., Borjigin G., Cang M., Tong B. Effects of the expressions and variants of the *cast* gene on the fatty acid composition of the longissimus thoracis muscle of grazing sonid sheep // *Animals* (Basel). 2023. N 13 (2). P. 195. DOI: 10.3390/ani13020195.
2. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Состояние, динамика и тенденции в развитии овцеводства в мире и в России // *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2019. № 3. С. 3–6.
3. Юдин Н.С., Ларкин Д.М. Гены-кандидаты доместикации и устойчивости к холоду по данным полногеномного секвенирования российских пород крупного рогатого скота и овец // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023. Т. 27. № 5. С. 463–470. DOI: 10.18699/VJGB-23-56.
4. Valencia C.P.L., Franco L.Á.Á., Herrera D.H. Association of single nucleotide polymorphisms in the CAPN, CAST, LEP, GH, and IGF-1 genes with growth parameters and ultrasound characteristics of the Longissimus dorsi muscle in Colombian hair sheep // *Tropical animal health production*. 2022. N 54 (1). P. 82. DOI: 10.1007/s11250-022-03086-x.
5. Игошин А.В., Ромашов Г.А., Черняева Е.Н., Елаткин Н.П., Юдин Н.С., Ларкин Д.М. Сравнительный анализ частот ДНК-полиморфизмов, ассоциированных с заболеваниями и хозяйственно важными признаками, в геномах российских и зарубежных пород крупного рогатого скота // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022. Т. 26. № 3. С. 298–307. DOI: 10.18699/VJGB-22-28.
6. Greguła-Kania M., Gruszecki T.M., Junkuszew A., Juszczyk-Kubiak E., Florek M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep // *Meat science*. 2019. Vol. 154. P. 69–74. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.04.007.
7. Оздемиров А.А., Чижова Л.Н., Хожожов А.А., Суржикова Е.С., Догеев Г.Д., Абдулмагомедов С.Ш. Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец дагестанской горной породы // *Юг России: экология, развитие*. 2021. Т. 16. № 2. С. 39–44.
8. Куликова К.А. Полиморфизм гена кальпастатина (CAST) у овец горного и степного внутрипородных типов тувинской короткожирнохвостой породы // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. № 1. С. 84–89.
9. Лушников В.П., Фетисова Т.О., Стрильчук А.А. Полиморфизм гена CAST у овец татарстанской и эдильбаевской пород // *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2020. № 2. С. 9–11.
10. Халина О.Л., Магер С.Н., Гончаренко Г.М., Хорошилова Т.С., Гришина Н.Б. Генетическая структура овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород по генам CAST, GDF9 и KRT1.2 // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022.

- № 4. C. 103–116. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-4-103-116.
11. Esteves C., do Livramento K.G., Paiva L.V., Peconick A.P., Garcia I.F.F., Garbossa C.A.P., Cardoso T.B., Faria P.B. Polymorphism of CAST and GDF-8 genes and association with physical-chemical parameters of sheep meat // *Genetics and molecular research*. 2020. N 19 (3). P. 18325. DOI: 10.4238/gm.
12. Jawasreh K., Jadallah R., Al-Amareen A., Abdullah A., Al-qaisi A., Alrawashdeh I., Al-Zghoul M., Ahamed M., Obeidat B. Association between MspI calpastatin gene polymorphisms, growth performance, and meat characteristics of Awassi sheep // *Indian journal of animal sciences*. 2017. N 87. P. 635–639. DOI: 10.56093/ijans.v87i5.70269.r18325.
13. Georgieva S., Gencheva D., Dimitrova I., Stancheva N., Bozhilova M. Molecular analysis of ovine calpastatin (CAST) and myostatin (MSTN) genes in synthetic population Bulgarian Milk sheep using PCR-RFLP // *Journal of BioScience and Biotechnology*. 2015. N 4. P. 95–99.
14. Kumar S.N., Jayashankar M.R., Ruban S.Y., Sreesujatha R.M., Devi Y., Siddaraju N.K. Association of calpastatin polymorphism with carcass and meat quality traits of Bandur sheep // *International journal of livestock research*. 2018. Vol. 8. N 6. P. 232–243. DOI: 10.5455/ijlr.20171012064140.
15. Montes V.D., Lenis V.C., Hernández H.D. Polymorphisms of the calpain and calpastatin genes in two populations of Colombian creole sheep // *Revista MVZ Cordoba*. 2019. N 24 (1). P. 7113–7118. DOI: 10.21897/rmvz.1345.
16. Климанова Е.А., Коновалова Т.В. Полиморфизм локуса BMP-15 у овец романовской породы в условиях Западной Сибири // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2023. № 2 (67). С. 197–204. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-197-204.
17. Климанова Е.А., Коновалова Т.В., Андреева В.А., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Назаренко Ю.С. Ассоциация генотипов β-лактоглобулина с некоторыми биохимическими показателями крови овец романовской породы // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (57). С. 82–87. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-82-87.
- the expressions and variants of the cast gene on the fatty acid composition of the longissimus thoracis muscle of grazing sonid sheep. *Animals (Basel)*, 2023, no. 13 (2), p. 195. DOI: 10.3390/ani13020195.
2. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. State, dynamics and trends in the development of sheep breeding in the world and in Russia. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2019, no. 3, pp. 3–6. (In Russian).
3. Yudin N.S., Larkin D.M. Candidate genes for domestication and resistance to cold climate according to whole genome sequencing data of Russian cattle and sheep breeds. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 463–470. (In Russian). DOI: 10.18699/VJGB-23-56.
4. Valencia C.P.L., Franco L.Á.Á., Herrera D.H. Association of single nucleotide polymorphisms in the CAPN, CAST, LEP, GH, and IGF-1 genes with growth parameters and ultrasound characteristics of the Longissimus dorsi muscle in Colombian hair sheep. *Tropical animal health production*, 2022, no. 54 (1), p. 82. DOI: 10.1007/s11250-022-03086-x.
5. Igoshin A.V., Romashov G.A., Chernyaeva E.N., Elatkin N.P., Yudin N.S., Larkin D.M. Comparative analysis of allele frequencies for DNA polymorphisms associated with disease and economically important traits in the genomes of Russian and foreign cattle breeds. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 298–307. (In Russian). DOI: 10.18699/VJGB-22-28.
6. Greguła-Kania M., Gruszecki T.M., Junkuszew A., Juszczyk-Kubiak E., Florek M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep. *Meat science*, 2019, vol. 154, pp. 69–74. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.04.007.
7. Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khozhokov A.A., Surzhikova E.S., Dogeev G.D., Abdulmagomedov S.Sh. Polymorphism of genes CAST, GH, GDF9 of sheep of the Dagestan Mountain breed. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye = South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 39–44. (In Russian).
8. Kulikova K.A. Calpastatin gene (CAST) polymorphism of mountain and steppe intrabreed types of Tuvian short-fat-tailed sheep. *Vestnik BGAU = Vestnik BSAU*, 2018, no. 1, pp. 84–89. (In Russian).
9. Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Stril'chuk A.A. Polymorphism of the CAST gene in sheep of the Tatarstan and Edilbaev breeds. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2020, no. 2, pp. 9–11. (In Russian).

REFERENCES

1. Guo X., Li T., Lu D., Yamada T., Li X., Bao S., Liu J., Borjigin G., Cang M., Tong B. Effects of

10. Khalina O.L., Mager S.N., Goncharenko G.M., Khoroshilova T.S., Grishina N.B. Genetic structure of West Siberian Meat sheep and Kulunda fine-wool sheep by CAST, GDF9 and KRT1.2 genes. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2022, no. 4, pp. 103–116. (In Russian). DOI: 10.26897/0021-342X-2022-4-103-116.
11. Esteves C., do Livramento K.G., Paiva L.V., Peconick A.P., Garcia I.F.F., Garbossa C.A.P., Cardoso T.B., Faria P.B. Polymorphism of CAST and GDF-8 genes and association with physical-chemical parameters of sheep meat. *Genetics and molecular research*, 2020, no. 19 (3), p. 18325. DOI: 10.4238/gm.
12. Jawasreh K., Jadallah R., Al-Amareen A., Abdullah A., Al-qaisi A., Alrawashdeh I., Al-Zghoul M., Ahamed M., Obeidat B. Association between MspI calpastatin gene polymorphisms, growth performance, and meat characteristics of Awassi sheep. *Indian journal of animal sciences*, 2017, no. 87, pp. 635–639. DOI: 10.56093/ijans.v87i5.70269.r18325.
13. Georgieva S., Gencheva D., Dimitrova I., Stancheva N., Bozhilova M. Molecular analysis of ovine calpastatin (CAST) and myostatin (MSTN) genes in Synthetic Population Bulgarian Milk sheep using PCR-RFLP. *Journal of BioScience and Biotechnology*, 2015, no. 4, pp. 95–99.
14. Kumar S.N., Jayashankar M.R., Ruban S.Y., Sreesujatha R.M., Devi Y., Siddaraju N.K. Association of calpastatin polymorphism with carcass and meat quality traits of Bandur sheep. *International journal of livestock research*, 2018, vol. 8, no. 6, pp. 232–243. DOI: 10.5455/ijlr.20171012064140.
15. Montes V.D., Lenis V.C., Hernández H.D. Polymorphisms of the calpain and calpastatin genes in two populations of Colombian creole sheep. *Revista MVZ Cordoba*, 2019, no. 24 (1), pp. 7113–7118. DOI: 10.21897/rmvz.1345.
16. Klimanova E.A., Konovalova T.V. Polymorphism of the BMP-15 locus in Romanov sheep in Western Siberia. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU*, 2023, no. 2 (67), pp. 197–204. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-197-204.
17. Klimanova E.A., Konovalova T.V., Andreeva V.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Nazarenko Yu.S. Association of β -lactoglobulin genotypes with some biochemical parameters of the blood of Romanov sheep. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU*, 2020, no. 4 (57), pp. 82–87. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-82-87.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Климанова Е.А.**, научный сотрудник;
ORCID 0000-0001-6194-9381; **адрес для переписки:** Россия, 630039, Новосибирск, ул. Никитина, 155; e-mail: kateri2403@mail.ru

Коновалова Т.В., старший преподаватель;
ORCID 0000-0002-3758-7410

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ekaterina A. Klimanova**, Researcher;
ORCID 0000-0001-6194-9381; **address:** 155, Nikitina St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: kateri2403@mail.ru

Tatyana V. Konovalova, Senior Lecturer;
ORCID 0000-0002-3758-7410

Дата поступления статьи / Received by the editors 31.03.2024
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 14.05.2024
Дата публикации / Published 14.02.2025