

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 41-52.  
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 4. P. 41-52.

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

Научная статья  
УДК 636.223.1  
doi:10.33284/2658-3135-107-4-41

**Химический состав и гистологическая структура длинной мышцы спины крупного рогатого скота абердин-ангусской породы в зависимости от генотипа**

Елена Николаевна Коновалова<sup>1</sup>, Лилия Валерьевна Евстафьева<sup>2</sup>, Станислава Сергеевна Сафонова<sup>3</sup>,  
Ольга Сергеевна Романенкова<sup>4</sup>, Елена Александровна Гладырь<sup>5</sup>

<sup>1,4,5</sup>Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Московская область, п. Дубровицы, Россия

<sup>2,3</sup>Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>1</sup>konoval-elena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2170-5259>

<sup>2</sup>lilmo@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5045-1235>

<sup>3</sup>sfalij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7587-3293>

<sup>4</sup>ksilosa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164>

<sup>5</sup>elenagladyr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5210-8932>

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность использования генов кальпаина 1 (*CAPN1*) и кальпастина (*CAST*) для прогнозирования нежности говядины и селекции наиболее перспективных по этому качеству животных. Целью работы было изучение полиморфизмов генов *CAPN1* и *CAST* в связи с химическим составом и гистологической структурой мяса крупного рогатого скота. От бычков абердин-ангусской породы (n=9) с известными генотипами по полиморфизмам *CAPN1\_316*, *CAPN1\_4751*, *CAST\_282* и *CAST\_2959* после убоя были отобраны пробы длинной мышцы спины (*M. longissimus dorsum*), в которых определялось содержание белка, жира, сухого и минеральных веществ, а также содержание мышечной, соединительной, жировой тканей и диаметр мышечных волокон. Было установлено, что мясо бычков с генотипами GG-*CAPN1\_316* и GG-*CAST\_2959* содержало на 14,5-15,8 % больше белка и на 11,4-13,3 % меньше жира по сравнению с другими генотипами, а мясо животных с генотипами СТ-*CAPN1\_4751* и АА-*CAST\_2959* отличалось меньшим содержанием соединительной ткани (на 7,5-7,7 и на 9,6-10,2 %, соответственно). Наибольший диаметр миофибрилл наблюдался в пробах от бычков с генотипами СС-*CAPN1\_316* (111,2 мкм), ТТ-*CAPN1\_4751* (116,2 мкм) и АА-*CAST\_2959* (111,7 мкм). В отношении полиморфизма *CAST\_282* тенденции преимущества по всем изучаемым показателям демонстрировали животные с генотипом GC.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, бычки, абердин-ангусская порода, генетические маркеры, мясная продуктивность, кальпаин 1, кальпастин

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-26-00176.

**Для цитирования:** Химический состав и гистологическая структура длинной мышцы спины крупного рогатого скота абердин-ангусской породы в зависимости от генотипа / Е.Н. Коновалова, Л.В. Евстафьева, С.С. Сафонова, О.С. Романенкова, Е.А. Гладырь // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 41-52. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-41>

## BREEDING, SELECTION, GENETICS

Original article

**Chemical composition and histological structure of the longest muscle of the back of Aberdeen-Angus cattle depending on genotype****Elena N Konovalova<sup>1</sup>, Liliia V Evstafeva<sup>2</sup>, Stanislava S Safonova<sup>3</sup>, Olga S Romanenkova<sup>4</sup>, Elena A Gladyr<sup>5</sup>**<sup>1,4,5</sup>Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Moscow region, Dubrovitsy, Russia<sup>2,3</sup>Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia<sup>1</sup>konoval-elena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2170-5259><sup>2</sup>lilmo@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5045-1235><sup>3</sup>sfalij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7587-3293><sup>4</sup>ksilosa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164><sup>5</sup>elenagladyr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5210-8932>

**Abstract.** The article discusses the possibility of using calpain 1 (*CAPN1*) and calpastatin (*CAST*) genes for the prediction of beef tenderness and selection of the most perspective in this property animals. The aim of the research was the study of the *CAPN1* and *CAST* gene polymorphisms in association with the chemical composition and histological structure of the meat in cattle. Samples from the longest muscle of the back (*M. longissimus dorsi*) of Aberdeen-Angus bulls (n=9) with known genotypes for the CAPN1\_316, CAPN1\_4751, CAST\_282 and CAST\_2959 polymorphisms were collected after slaughter and analyzed for protein, fat, dry matter and mineral content, as well as muscle, connective and adipose tissue content and muscle fiber diameter. It was found that meat from bulls with the GG-CAPN1\_316 and GG-CAST\_2959 genotypes contained 14.5-15.8% more protein and 11.4-13.3% less fat compared to other genotypes, and meat from animals with the ST-CAPN1\_4751 and AA-CAST\_2959 genotypes had lower connective tissue content (by 7.5-7.7 and 9.6-10.2%, respectively). The largest myofibril diameter was observed in samples from steers with genotypes CC-CAPN1\_316 (111.2 μm), TT-CAPN1\_4751 (116.2 μm) and AA-CAST\_2959 (111.7 μm). With respect to the CAST\_282 polymorphism, animals with the GC genotype showed advantages in all studied parameters.

**Keywords:** cattle, bulls, Aberdeen Angus breed, genetic markers, meat productivity, calpain 1, calpastatin

**Acknowledgments:** the work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 23-26-00176.

**For citation:** Konovalova EN, Evstafeva LV, Safonova SS, Romanenkova OS, Gladyr EA. Chemical composition and histological structure of the longest muscle of the back of Aberdeen-Angus cattle depending on genotype. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):41-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-41>

**Введение.**

Важнейшим показателем продовольственной безопасности России является её самообеспечение, подразумевающее удовлетворение потребностей населения в высококачественных продуктах питания за счёт собственного производства (Остапчук Т.В. и др., 2021). В современных условиях особенно острой остаётся несбалансированность пищи по белку, в связи с чем к приоритетным видам продовольствия относятся мясные продукты, в частности говядина, как источник легко усвояемого организмом человека белка (Place SE and Miller AM, 2020). В связи с этим мясное скотоводство занимает существенное место как в производственном, так и потребительском плане для экономики государства (Вартанова М.Л. и Газимагомедова П.К., 2018). Селекционно-племенная работа, направленная на улучшение качества говядины, осложняется невозможностью проведения точной прижизненной оценки свойств мясной продуктивности, а следовательно, и отбора животных для воспроизводства стад, вследствие чего поиск наиболее объективных методов определения основных показателей, характеризующих биологическую полноценность мяса, имеет важное научно-практическое значение для повышения конкурентоспособности отечественной отрасли мясного скотоводства (Шамина О.В., 2023).

Достижения последних лет в молекулярно-биологических исследованиях сельскохозяйственных видов животных делают возможным полное секвенирование геномов, но для производственных селекционных систем оно является дорогим. При этом существует практический интерес

к использованию простых однонуклеотидных полиморфизмов (single nucleotide polymorphisms, SNP) в качестве генетических маркеров, благодаря которым можно проводить точную идентификацию генотипов животных, несущих желательные фенотипические особенности, и на их основе вести селекцию (Столповский Ю.А. и др., 2022).

В настоящее время известен ряд генетических маркеров, связанных с качеством мяса крупного рогатого скота, в частности, наблюдались значимые ассоциации генов, кодирующих белки, участвующие в посмертном протеолизе мышечной ткани, кальпаина 1 (*CAPN1*) и кальпастатина (*CAST*) с нежностью говядины, как основной характеристикой, определяющей её вкусовые качества (Sun X et al., 2018). Наблюдалось положительное влияние аллелей *C-CAPN1\_316*, *C-CAPN1\_4751*, *C-CAST\_282*, *A-CAST\_2959* на свойства мясной продуктивности крупного рогатого скота (Тюлебаев С.Д. и Кадышева М.Д., 2021; Saucedo-Uriarte JA et al., 2024). Научные исследования, направленные на анализ структуры популяций крупного рогатого скота мясных пород, разводимых на территории Российской Федерации и Белоруссии, выявили полиморфность изучаемых стад абердин-ангусской, герефордской и лимузинской пород по полиморфизмам генов кальпаина 1 и кальпастатина (Романишко Е.Л. и др., 2022; Коновалова Е.Н. и др., 2023а, 2023б), что открывает возможность отбора наиболее перспективных в отношении мясной продуктивности животных, используя полиморфизмы данных генов.

Наряду с этим интерес представляет генетическое совершенствование крупного рогатого скота в направлении получения мяса максимальной питательной ценности и вкусовых качеств, определяемых химическим составом и тканевой структурой продукта (Павлов А.В. и Рудь А.И., 2023).

#### **Цель исследования.**

Изучение полиморфизмов генов кальпаина 1 и кальпастатина в связи с гистохимическим составом мяса, полученного от крупного рогатого скота абердин-ангусской породы.

#### **Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Бычки абердин-ангусской породы, ООО «КФХ «Хэппи Фарм» (Калужская обл., Медынский район), рождённые в 2020 г. и отправленные на убой в 2023 г. в возрасте 3,5-3,7 лет.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов, протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

**Схема эксперимента.** Прижизненно от животных ( $n=9$ ) были взяты образцы крови, из которых при помощи наборов для выделения ДНК Экстран-1 (НПФ «Синтол», Россия) были получены препараты ДНК, генотипированные впоследствии по полиморфизмам генов кальпаина 1 (*CAPN1\_316*, *CAPN1\_4751*) и кальпастатина (*CAST\_282*, *CAST\_2959*) при помощи собственных методик на основе ПЦР-ПДРФ и ПЦР в режиме реального времени (Коновалова Е.Н. и др., 2023; Konovalova E et al., 2024).

После убоя от бычков были взяты пробы длиннейшей мышцы спины (*M. longissimus dorsi*), которые были анализированы по стандартизированным методикам на содержание белка (ГОСТ 25011-2017), жира (ГОСТ 23042-2015), сухого вещества (ГОСТ 15113.4-2021) и минеральных веществ (ГОСТ Р 52416-2005). Гистологический анализ заключался в определении в образцах содержания мышечной, соединительной и жировой тканей, а также диаметра мышечных волокон (миофибрилл) (Гурова С.В., 2020).

**Оборудование и технические средства.** Генетические исследования проводились в лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных на оборудовании ЦКП ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Химический и гистологический анализ проб проводились на базе ФГОУ ВО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева в учебно-научном ЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» при ФГОУ ВО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева.

**Статистическая обработка.** Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и онлайн-калькулятора «Медицинская статистика» (<https://medstatistic.ru/calculators/averagestudent.html>). Достоверность обнаруженных различий определяли по критерию t-Стьюдента. Разница считалась статистически значимой при  $P \leq 0,05$ .

**Результаты исследований.**

В таблице 1 представлены результаты генетического, химического и гистологического анализов проб исследуемых животных.

Таблица 1. Результаты гистохимического анализа длиннейшей мышцы спины бычков абердин-ангусской породы различных генотипов

Table 1. Results of histochemical analysis of *Musculus longissimus dorsi* of Aberdeen Angus bulls of the different genotypes

Бык № / Bull No.	Комплексный генотип / Complex genotype	Содержание вещества $\pm \Delta$ (%) / Substance content $\pm \Delta$ (%)				Содержание ткани $\pm \Delta$ (%) / Tissue content $\pm \Delta$ (%)			
		P	F	DM	MS	M	C	F	D
1	CC-CAPNI_316 CC-CAPNI_4751 GC-CAST_282								
2	AG-CAST_2959 CC-CAPNI_316 CC-CAPNI_4751 GC-CAST_282	38,02 $\pm$ 3,04	34,09 $\pm$ 5,11	42,41 $\pm$ 1,06	3,96 $\pm$ 0,11	74,2	24,2	1,6	105,5 $\pm$ 5,1
3	AA-CAST_2959 GC-CAPNI_316 CT-CAPNI_4751 GC-CAST_282	85,16 $\pm$ 6,85	3,83 $\pm$ 0,58	25,54 $\pm$ 5,96	0,98 $\pm$ 0,14	78,3	20,6	1,1	116,8 $\pm$ 5,7
4	AA-CAST_2959 GC-CAPNI_316 CT-CAPNI_4751 GC-CAST_282	39,05 $\pm$ 3,12	40,66 $\pm$ 6,1	42,77 $\pm$ 1,2	1,89 $\pm$ 0,05	89,2	8,3	2,5	106,6 $\pm$ 5,4
5	AG-CAST_2959 GG-CAPNI_316 CT-CAPNI_4751 GC-CAST_282	66,58 $\pm$ 5,33	17,01 $\pm$ 2,55	31,39 $\pm$ 0,79	3,25 $\pm$ 0,09	78,3	20,3	1,4	95,6 $\pm$ 4,6
6	AG-CAST_2959 GG-CAPNI_316 TT-CAPNI_4751 GC-CAST_282	66,96 $\pm$ 5,36	20,93 $\pm$ 3,14	31,16 $\pm$ 0,8	4,08 $\pm$ 0,12	76,7	22,5	0,8	110,7 $\pm$ 6,0
7	AG-CAST_2959 GG-CAPNI_316 TT-CAPNI_4751 GC-CAST_282	62,58 $\pm$ 5,01	18,45 $\pm$ 2,77	34,9 $\pm$ 0,87	3,19 $\pm$ 0,09	80,8	17,5	1,7	109,1 $\pm$ 5,4
8	GG-CAST_2959 GC-CAPNI_316 CC-CAPNI_4751 GG-CAST_282	79,51 $\pm$ 6,36	8,11 $\pm$ 1,22	29,14 $\pm$ 0,73	4,04 $\pm$ 0,11	67,5	31,9	0,6	124,2 $\pm$ 5,5
9	AG-CAST_2959 GG-CAPNI_316 CC-CAPNI_4751 GG-CAST_282	51,56 $\pm$ 4,12	31,16 $\pm$ 4,67	38,44 $\pm$ 0,96	2,13 $\pm$ 0,06	62,5	35,8	1,7	80,4 $\pm$ 3,5
	GG-CAST_2959	63,61 $\pm$ 5,09	17,77 $\pm$ 2,67	30,35 $\pm$ 0,76	3,3 $\pm$ 0,09	80,8	17,5	1,7	96,2 $\pm$ 5,1

Примечание: P – белок, F – жир, DM – сухое вещество, MS – минеральные вещества, M – мышечная ткань, C – соединительная ткань, F – жировая ткань, D – диаметр мышечных волокон,  $\Delta$  – погрешность измерения

Note: P – protein, F – fat, DM – dry matter, MS – mineral substances, M – muscle tissue, C – connective tissue, F – fat tissue, D – diameter of muscle fibers,  $\Delta$  – measurement error

Анализ химического состава длиннейшей мышцы спины изучаемых животных в зависимости от генотипа (табл. 2) показал, что наибольший процент белка и наименьший жира наблюдались у бычков с генотипами GG-CAPNI\_316, TT-CAPNI\_4751, GC-CAST\_282 и GG-CAST\_2959. Максимальное содержание жира было в мясе животных, гетерозиготных по вышеуказанным полиморфизмам.

Таблица 2. Химический состав мяса бычков абердин-ангусской породы в зависимости от генотипа

Table 2. Chemical composition of meat from Aberdeen Angus bulls depending on genotype

Генотип (n) / Genotype (n)	Содержание в пересчёте на сухое вещество ± σ (%) / Content in terms of dry matter ± σ (%)			
	Белок / Protein	Жир / Fat	Сухое вещество / Dry matter	Минеральные вещества / Mineral substances
GG-CAPNI_316 (4)	68,2±2,8	16,3±2,4	31,4±1,6	3,7±0,7
GC-CAPNI_316 (3)	52,4±3,7	29,6±3,4	37,5±2,4	2,4±0,9
CC-CAPNI_316 (2)	61,6±5,8	19,0±4,6	34,0±3,5	2,5±1,5
CC-CAPNI_4751 (4)	59,6±4,5	21,7±3,7	34,2±2,8	2,6±1,1
CT-CAPNI_4751 (3)	57,5±4,0	26,2±3,6	35,1±2,6	3,1±2,6
TT-CAPNI_4751 (2)	71,0±3,5	13,3±2,7	32,0±2,0	3,6±0,8
GC-CAST_282 (7)	62,6±4,3	20,4±3,6	33,9±2,6	3,1±1,0
GG-CAST_282 (2)	57,6±2,9	24,5±3,1	34,4±2,4	2,7±0,9
AA-CAST_2959 (2)	62,1±5,7	22,2±5,1	34,2±3,5	1,4±0,8
AG-CAST_2959 (5)	57,1±3,5	24,3±2,8	35,7±2,2	3,3±0,9
GG-CAST_2959 (2)	71,6±3,4	12,9±2,6	29,7±0,9	3,7±0,7

Примечание: σ – среднее квадратичное отклонение выборки  
 Note: σ – the mean square deviation of the sample

При этом, по сравнению с гетерозиготными животными, пробы *M. Longissimus dorsum* бычков с генотипами GG-CAPNI\_316 и GG-CAST\_2959 содержали достоверно более высокие доли белка (на 15,8 и 14,5 % соответственно) и меньшие жира (на 13,3 и 11,4 % соответственно) (рис. 1).

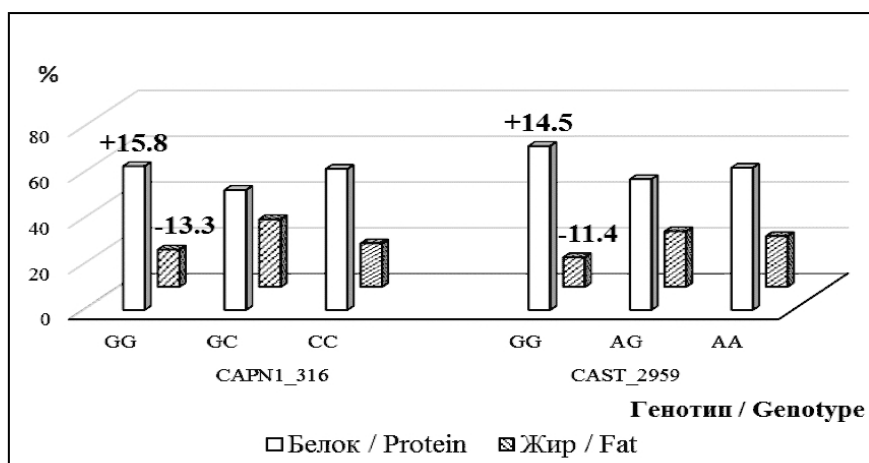


Рисунок 1. Связь полиморфизмов генов кальпаина 1 и кальпастатина с содержанием белка и жира в мясе бычков абердин-ангусской породы

Figure 1. Association of the polymorphisms of calpain 1 and calpastatin genes with protein and fat content in the meat of Aberdeen Angus bulls

В отношении сухого вещества, предположительно оказывающего влияние на устойчивость мяса при хранении (Zhu Y et al., 2022), незначительные преимущества наблюдалось у животных с

генотипом GC-CAPN1\_316 и AG-CAST\_2959, а по минеральным веществам – у GG-CAPN1\_316 и GG-CAST\_2959.

Анализ гистологической структуры длиннейшей мышцы спины бычков не выявил значительных различий по содержанию в образцах мышечной и жировой ткани между животными различных генотипов – разница между генотипами составляла в большинстве случаев менее 1 % (табл. 1).

В отношении соединительной ткани наблюдалось статистически значимое превосходство по наименьшему её содержанию, способствующему формированию более нежного мяса, у животных с генотипами СТ-CAPN1\_4751 – 17,0 %, что было ниже на 7,5-7,7 % по сравнению с генотипами СС и ТТ. Разница по данному показателю между гомозиготными генотипами (ТТ-СС) была незначительна и составила 0,2 %. Также наблюдалась достоверная разница по полиморфизму CAST\_2959 между бычками с генотипом АА с минимальным содержанием соединительной ткани (14,5 %) по сравнению с генотипом АГ и GG, превышающими этот показатель на 9,6 и 10,2 % соответственно (рис. 2). По полиморфизму CAST\_282 значительно меньшее содержание соединительной ткани оказалось у животных с генотипом GC по сравнению с GG (разница 21,4 %;  $t=3,27$ ;  $P\leq 0,05$ ), что показывает положительное влияние аллеля C-CAST\_282 на нежность мяса.

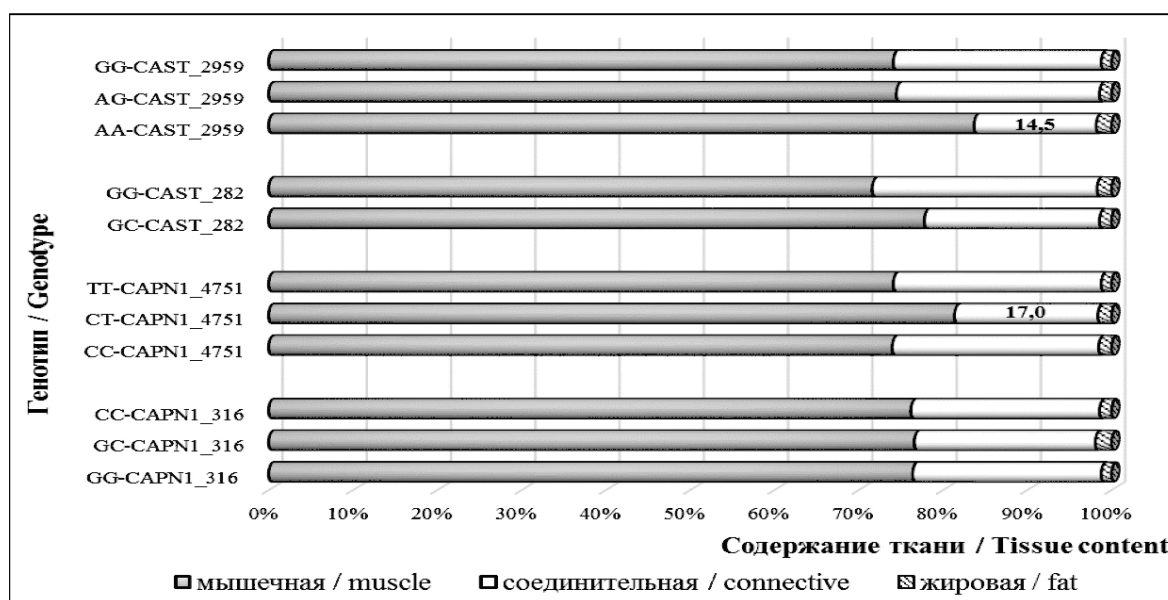


Рисунок 2. Гистологическая структура длиннейшей мышцы спины бычков абердин-ангусской породы разных генотипов

Figure 2. Histological structure of *Musculus longissimus dorsi* of Aberdeen Angus bulls of the different genotypes

Оценка связи диаметра мышечных волокон с генотипами по полиморфизмам CAPN1\_316, CAPN1\_4751, CAST\_282 и CAST\_2959 (рис. 3) показала, что наибольший диаметр миофибрилл наблюдался в пробах от бычков с генотипами СС-CAPN1\_316, ТТ-CAPN1\_4751, GC-CAST\_282 и АА-CAST\_2959. Причём преимущество животных с ТТ-CAPN1\_4751 на 16,5 мкм по сравнению с СС-генотипом оказалось статистически значимым ( $t=3,27$ ;  $P\leq 0,05$ ). Также достоверным оказалось наблюдаемое превосходство (на 21,4 мкм больше) животных с генотипом GC-CAST\_282 по сравнению с GG-CAST\_282 ( $t=4,80$ ;  $P\leq 0,05$ ).

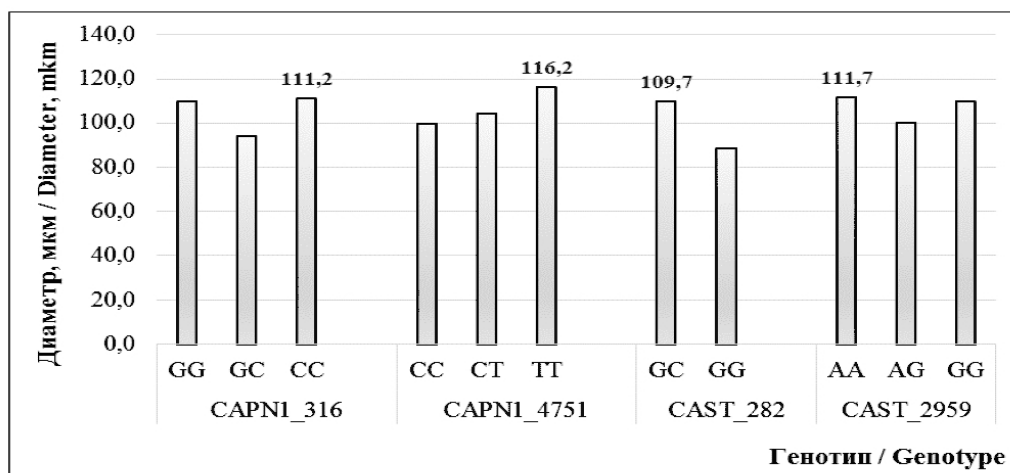


Рисунок 3. Диаметр мышечных волокон *M. longissimus dorsi* бычков абердин-ангусской породы в зависимости от генотипов по полиморфизмам генов кальпаина 1 (*CAPNI*) и кальпастатина (*CAST*)

Figure 3. Diameter of muscle fibers of *M. longissimus dorsi* of Aberdeen Angus bulls depending on genotype by calpain 1 (*CAPNI*) and calpastatin (*CAST*) gene polymorphisms

#### Обсуждение полученных результатов.

Полученные результаты согласуются с ранее проведенным исследованием, показавшим связь генотипов GG-*CAPNI*\_316 и GG-*CAST*\_2959 с более высоким содержанием в туше дорогих отрубов и, как следствие, реализацией их по более высокой стоимости (Коповалова Е et al., 2024). Так, туши, полученные от животных с генотипом GG-*CAPNI*\_316, в среднем оказались на 10 983 и 21 374 рублей более прибыльными по сравнению с мясом от носителей генотипов GC и CC соответственно. Средняя стоимость туш от бычков генотипа GG-*CAST*\_2959 превышала полученные от генотипов AG и AA данного полиморфизма на 18 223-36 409 рублей.

Наблюдаемое в нашей работе положительное влияние аллелей *CAPNI*\_316, C-*CAPNI*\_4751, C-*CAST*\_282 и A-*CAST*\_2959 на химический состав и гистологическую структуру длиннейшей мышцы спины подтверждается и результатами ранее проведенных исследований ряда других авторов. Так, в 2021 г. Тюлебаев С.Д. и Кадышева М.Д. обнаружили значимые преимущества генотипа CC-*CAPNI*\_316 как при оценке собственного влияния, так и в сочетании с генотипом TT-*CAST*\_282, в отношении свойств нежности, сочности и вкуса в мясе бычков, гомозиготных по аллелю C-*CAPNI*\_316, оценки этих свойств были выше на 1,22-1,56 баллов по сравнению с другими генотипами. Недавние исследования креольского крупного рогатого скота из региона Амазонас (Перу) также подтвердили положительное влияние генотипов CC полиморфизма *CAPNI*\_316 на и AA полиморфизма *CAST*\_2959 на нежность мяса, так как пробы длиннейшей мышцы спины, полученные от животных TT-*CAPNI*\_316 и GG-*CAST*\_2959, имели более высокие показатели усилия сдвига по Уорнеру-Братцлеру (WBSF) (Saucedo-Urriarte JA et al., 2024).

Следует отметить, что в современных условиях мясо крупного рогатого скота набирает всё большую популярность среди потребителей, в частности, прогнозируется постепенное снижение глобального спроса на животные белки, получаемые из свинины и мяса птицы в пользу говядины, ввиду её высокой диетической ценности (Place SE and Miller AM, 2020).

Известно, что крупнейшие производители говядины поставляют на рынки продукцию самого разного качества, что не исключает импорт, в том числе и в Россию, жёсткого, волокнистого с отсутствием жировых прослоек мяса со специфическим запахом, которое возможно использовать лишь для производства колбасных изделий и консервов. Кроме того, неоднократно фиксировались факты применения зарубежными производителями стимуляторов роста мышечной ткани, в частности, рактопамина – препарата, запрещённого в 160 странах, включая Россию и Евросоюз (Challis JK et al.,

2021). Всё это указывает на необходимость импортозамещения говядины путём развития собственного производства, в достаточных для потребителей объёмах и приемлемого качества. Скорейшему достижению этой цели будут способствовать использование крупного рогатого скота специализированных мясных пород, применение оптимальных стратегий кормления и содержания животных, а также мер, направленных на максимальную реализацию их генетического потенциала (Хайнацкий В.Ю., 2021; Dairoh et al., 2024).

В связи с этим научные исследования, направленные на поиск и изучение генных полиморфизмов, влияющих на продуктивность, не теряют популярности, рассматривая для практического применения новые маркеры, которые могли бы быть полезны в мясном скотоводстве (Селионова М.И. и др., 2023), что в перспективе будет способствовать формированию надёжной племенной базы, повысит информативность геномной оценки и, как следствие, конкурентоспособность мясного скотоводства и уровень продовольственной безопасности нашей страны.

### **Заключение.**

Полученные результаты показали тенденции влияния полиморфизма *CAST\_282* и значимые ассоциации полиморфизмов *CAPN1\_316* и *CAPN1\_4751* и *CAST\_2959* с показателями химического состава и гистологической структуры длиннейшей мышцы спины крупного рогатого скота абердин-ангусской породы. В пробах бычков с генотипом *GC-CAST\_282* наблюдались больший процент белка и диаметр мышечных волокон при минимальном содержании жира и соединительной ткани, что указывает на положительное влияние аллеля *C* на данные показатели. Пробы бычков с генотипами *GG-CAPN1\_316* и *GG-CAST\_2959* содержали больше белка и меньше жира, что указывает на его большую питательную ценность и пригодность данного сырья для детского или диетического питания. Мышечная ткань животных генотипов *CT-CAPN1\_4751* и *AA-CAST\_2959* содержала меньше соединительной ткани и состояла из миофибрилл большего диаметра, что способствует формированию более нежного и приятного на вкус мяса. Таким образом, в отрасли мясного скотоводства возможна селекция крупного рогатого скота для получения говядины с высокими питательными и вкусовыми свойствами.

### **Список источников**

1. Анализ российских популяций крупного рогатого скота мясного направления продуктивности по полиморфизмам гена кальпаина 1 / Е.Н. Коновалова, О.С. Романенкова, Е.А. Гладырь // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 107. № 1. С. 42-50. [Konovalova EN, Romanenkova OS, Gladyr EA. The analysis of the Russian beef cattle population on polymorphism of *CAPN1* gene. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023a;107(1):42-50. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-42
2. Вартанова М.Л., Газимагомедова П.К. Приоритетное направление развития сельского хозяйства: обеспечение населения продуктами отечественного производства // Продовольственная политика и безопасность. 2018. Т. 5. № 1. С. 37-46. [Vartanova ML, Gazimagomedova PK. Priority direction of agricultural development: provision of population with domestic production. *Food Policy and Security*. 2018;5(1):37-46. (*In Russ.*)]. doi: 10.18334/ppib.5.1.40105
3. ГОСТ 15113.4-2021. Концентраты пищевые. Гравиметрические методы определения массовой доли влаги. Введ. 01.01.2022. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. [GOST 15113.4-2021. *Kontsentraty pishchevye. Gravimetricheskie metody opredeleniya massovoi doli vlagi. Vved. 01.01.2022. Moscow: Rossiiskii institut standartizatsii; 2021:11 p. (In Russ.)*].
4. ГОСТ Р 52416-2005. Концентраты пищевые. Гравиметрический метод определения массовой доли золы. Введ. 01.01.2007. М.: Стандартинформ, 2007. 5 с. [GOST R 52416-2005. *Kontsentraty pishchevye. Gravimetricheskii metod opredeleniya massovoi doli zoly. Vved. 01.01.2007. Moscow: Standartinform; 2007:5 p. (In Russ.)*].



5. ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. Введ. 01.07.2018. М.: Стандартинформ, 2018. 13 с. [GOST 25011-2017. Myaso i myasnye produkty. Metody opredeleniya belka. Vved. 01.07.2018. Moscow: Standartinform; 2018:13 p. (*In Russ.*)].
6. ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. Введ. 01.01.2017. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. [GOST 23042-2015. Myaso i myasnye produkty. Metody opredeleniya zhira. Vved. 01.01.2017. Moscow: Standartinform; 2019:8 p. (*In Russ.*)].
7. Гурова С.В. Морфология. Гистология: учеб. пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020. 172 с. [Gurova SV. Morfologiya. Gistologiya: ucheb. posobie. Perm': IPC «Prokrost'»; 2020:172 p. (*In Russ.*)].
8. ДНК-анализ полиморфизма генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у российской популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы / Е.Н. Коновалова, М.И. Селионова, Е.А. Гладырь, О.С. Романенкова, Л.В. Евстафьева // Сельскохозяйственная биология. 2023б. Т. 58. № 4. С. 622-637. [Konovalova EN, Selionova MI, Gladyr EA, Romanenkova OS, Evstafeva LV. DNA analysis of myostatin, leptin and calpain 1 gene polymorphism in Russian cattle population of Aberdeen Angus breed. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2023b;58(4):622-637. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.622eng
9. Исследование полиморфизма Rs17872000 в генах кальпаина (CAPN1) 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;32:88-96. [Ramanishka EL, Kireyeva AI, Mikhailova ME, Sheyko RI. Study of RS17872000 polymorphism in calpain (CAPN1) and RS109221039 calpastatin (CAST) genes in meat productivity cattle. Molekulyarnaya i prikladnaya genetika. 2022;32:88-96. (*In Russ.*)]. doi: 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96
10. Маркер-ассоциированная и геномная селекция мясного скота / М.И. Селионова, Л.В. Евстафьева, Е.Н. Коновалова, Е.Н. Белая // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 2. С. 37-48. [Selionova MI, Evstafeva LV, Konovalova EN, Belaya EN. Marker-assisted and genomic selection of beef cattle. Timiryazev Biological Journal. 2023;2:37-48. (*In Russ.*)]. doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-37-48
11. Новая система генотипирования крупного рогатого скота на основе технологии ДНК-микрочипов / Ю.А. Столповский, С.Б. Кузнецов, Е.В. Солоднева, И.Д. Шумов // Генетика. 2022. Т. 58. № 8. С. 857-871. [Stolpovsky YuA, Kuznetsov SB, Solodneva EV, Shumov ID. New cattle genotyping system based on dna microarray technology. Russian Journal of Genetics. 2022;58(8):885-898. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S0016675822080094
12. Павлов А.В., Рудь А.И. Факторы, влияющие на вкусовые качества мяса. Эффективное животноводство. 2023. № 7(189). С. 39-41. [Pavlov AV, Rud' AI. Faktory, vliyayushchie na vkusovye kachestva myasa. Effektivnoe zhiivotnovodstvo. 2023;7(189):39-41. (*In Russ.*)].
13. Состояние молочного и мясного скотоводства в мире / Т.В. Остапчук, Мухаметзянов Р.Р., Джанчарова Г.К., Платоновский Н.Г., Васильева Е.Н., Иванцова Н.Н., Аннакова З.К. // Московский экономический журнал. 2021. № 12. С. 219-243. [Ostapchuk TV, Mukhametzyanov RR, Dzhancharova GK, Platonovskiy NG, Vasil'eva EN, Ivantsova NN, Annakova ZK. The state of dairy and beef cattle breeding in the world. Moscow Economic Journal. 2021;12:219-243. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/2413-046X-2021-10750
14. Тюлебаев С.Д., Кадышева М.Д. Влияние полиморфных генов на качественные показатели мясной продукции // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021;13(2):50-56. [Tyulebaev SD, Kadyшева MD. Influence of polymorphic genes on qualitative indicators of meat products. Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2021;13(2):50-56. (*In Russ.*)]. doi: 10.36508/rsatu.2021.50.2.007
15. Хайнацкий В.Ю. Метод племенной оценки быков-производителей мясных пород на основе BLUP // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 20-31. [Haynatsky VYu BLUP Method of breeding assessment of beef sires. Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(1):20-31. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-20

16. Шамина О.В. Роль мясного скотоводства в формировании мясного баланса России // Russian Journal of Management. 2023. Т. 11. № 2. С. 184-190. [Shamina OV. The role of beef cattle breeding in the formation of the meat balance of Russia. Russian Journal of Management. 2023;11(2):184-190. (In Russ.)]. doi: 10.29039/2409-6024-2023-11-2-184-190
17. Challis JK, Sura S, Cantin J, Curtis AW, Shade KM, McAllister TA, Jones PD, Giesy JP, Larney FJ. Ractopamine and other growth-promoting compounds in beef cattle operations: fate and transport in feedlot pens and adjacent environments. Environmental Science and Technology. 2021;55(3):1730-1739. doi: 10.1021/acs.est.0c06450
18. Dairoh, Ulum MF, Jakaria, Sumantri C. Calpain 1 gene expression in liver tissue and the association of novel calpain 1 single-nucleotide polymorphisms (SNPs) with meat quality in Bali cattle. Arch Anim Breed. 2024;67(3):311-321. doi: 10.5194/aab-67-311-2024
19. Konovalova E, Romanenkova O, Evstafeva L, Safonova S, Selionova M, Gladyr E. Aberdeen Angus beef quality and profitability in dependence of the genotypes. E3S Web of Conferences. 2024;548:02017. doi: 10.1051/e3sconf/202454802017
20. Place SE, Miller AM. Beef production. What Are the Human and Environmental Impacts? Nutrition Today. 2020;55(5):227-233. doi: 10.1097/nt.0000000000000432
21. Saucedo-Urriarte JA, Portocarrero-Villegas S, Diaz-Quevedo C, Quispe-Ccasa HA, Tapia-Limonchi R, Chenet SM, Cesar ASM, Cayo-Colca IL. Association of polymorphisms in CAPN1 and CAST genes with the meat tenderness of Creole cattle. Sci Agric. 2024;81:e20230098. doi: 10.1590/1678-992X-2023-0098
22. Sun X, Wu X, Fan Y, Mao Y, Ji D, Huang B, Yang Z. Effects of polymorphisms in CAPN1 and CAST genes on meat tenderness of Chinese Simmental cattle. Archives Animal Breeding. 2018;61(4):433-439. doi: 10.5194/aab-61-433-2018
23. Zhu Y, Wang W, Li M, Zhang J, Ji L, Zhao Z, Zhang R, Cai D, Chen L. Microbial diversity of meat products under spoilage and its controlling approaches. Frontiers in Nutrition. 2022;9:1078201. doi: 10.3389/fnut.2022.1078201

### References

1. Konovalova EN, Romanenkova OS, Gladyr EA. The analysis of the Russian beef cattle population on polymorphism of CAPN1 gene. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;107(1):42-50. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-42
2. Vartanova ML, Gazimagomedova PK. Priority direction of agricultural development: provision of population with domestic production. Food Policy and Security. 2018;5(1):37-46. doi: 10.18334/ppib.5.1.40105
3. State Standard 15113.4-2021. Food concentrates. Gravimetric methods for determining the mass fraction of moisture. Implementation date 01.01.2022. Moscow: Rossiiskii institut standartizatsii; 2019:11 p.
4. State Standard R 52416-2005. Food concentrates. Gravimetric method of ash mass fraction determination. Implementation date. 01.01.2007. Moscow: Standardinform; 2019:5 p.
5. State Standard 25011-2017. Meat and meat products. Protein determination. Implementation date. 01.07.2018. Moscow: Standardinform; 2018:13 p.
6. State Standard 23042-2015. Meat and meat products. Fat determination methods. Implementation date 01.01.2017. Moscow: Standardinform; 2019:8 p.
7. Gurova SV. Morphology. Histology: study guide. Perm': PPC «Prokrost»; 2020:172 p.
8. Konovalova EN, Selionova MI, Gladyr EA, Romanenkova OS, Evstafeva LV. DNA analysis of myostatin, leptin and calpain 1 gene polymorphism in Russian cattle population of Aberdeen Angus breed. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2023a;58(4):622-637. doi: 10.15389/agrobiol.2023.4.622eng

9. Ramanishka EL, Kireyeva AI, Mikhailova ME, Sheyko RI. Study of RS17872000 polymorphism in calpain (CAPN1) and RS109221039 calpastatin (CA ST) genes in meat productivity cattle. *Molecular and Applied Genetics*. 2022;32:88-96. doi: 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96
10. Selionova MI, Evstaf'eva LV, Konovalova EN, Belaya EN. Marker-assisted and genomic selection of beef cattle. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;2:37-48. doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-37-48
11. Stolpovsky YuA, Kuznetsov SB, Solodneva EV, Shumov ID. New cattle genotyping system based on DNA microarray technology. *Russian Journal of Genetics*. 2022;58(8):885-898. doi: 10.31857/S0016675822080094
12. Pavlov AV, Rud' AI. Factors affecting the flavor quality of meat. *Efficient Livestock Production*. 2023;7(189):39-41.
13. Ostapchuk TV, Mukhametzyanov RR, Dzhancharova GK, Platonovskiy NG, Vasil'eva EN, Ivantsova NN, Annakova ZK. The state of dairy and beef cattle breeding in the world. *Moscow Economic Journal*. 2021;12:219-243. doi: 10.24412/2413-046X-2021-10750
14. Tyulebaev SD, Kadyshcheva MD. Influence of polymorphic genes on qualitative indicators of meat products. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2021; 13(2):50-56. doi: 10.36508/rsatu.2021.50.2.007
15. Haynatsky VYu BLUP Method of breeding assessment of beef sires. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):20-31. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-20
16. Shamina OV. The role of beef cattle breeding in the formation of the meat balance of Russia. *Russian Journal of Management*. 2023;11(2):184-190. doi: 10.29039/2409-6024-2023-11-2-184-190
17. Challis JK, Sura S, Cantin J, Curtis AW, Shade KM, McAllister TA, Jones PD, Giesy JP, Larney FJ. Ractopamine and other growth-promoting compounds in beef cattle operations: fate and transport in feedlot pens and adjacent environments. *Environmental Science and Technology*. 2021;55(3):1730-1739. doi:10.1021/acs.est.0c06450
18. Dairoh, Ulum MF, Jakaria, Sumantri C. Calpain 1 gene expression in liver tissue and the association of novel calpain 1 single-nucleotide polymorphisms (SNPs) with meat quality in Bali cattle. *Arch Anim Breed*. 2024;67(3):311-321. doi: 10.5194/aab-67-311-2024
19. Konovalova E, Romanenkova O, Evstaf'eva L, Safonova S, Selionova M, Gladyr E. Aberdeen Angus beef quality and profitability in dependence of the genotypes. *E3S Web of Conferences*. 2024;548:02017. doi:10.1051/e3sconf/202454802017
20. Place SE, Miller AM. Beef production. What Are the Human and Environmental Impacts? *Nutrition Today*. 2020;55(5):227-233. doi:10.1097/nt.0000000000000432
21. Saucedo-Urriarte JA, Portocarrero-Villegas S, Diaz-Quevedo C, Quispe-Ccasa HA, Tapia-Limonchi R, Chenet SM, Cesar ASM, Cayo-Colca IL. Association of polymorphisms in CAPN1 and CAST genes with the meat tenderness of Creole cattle. *Sci Agric*. 2024;81:e20230098. doi: 10.1590/1678-992X-2023-0098
22. Sun X, Wu X, Fan Y, Mao Y, Ji D, Huang B, Yang Z. Effects of polymorphisms in CAPN1 and CAST genes on meat tenderness of Chinese Simmental cattle. *Archives Animal Breeding*. 2018;61(4):433-439. doi: 10.5194/aab-61-433-2018
23. Zhu Y, Wang W, Li M, Zhang J, Ji L, Zhao Z, Zhang R, Cai D, Chen L. Microbial diversity of meat products under spoilage and its controlling approaches. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:1078201. doi: 10.3389/fnut.2022.1078201

**Информация об авторах:**

**Елена Николаевна Коновалова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651104.

**Лилия Валерьевна Евстафьева**, старший преподаватель кафедры ветеринарии и физиологии животных, ФГОУ ВО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, тел.: +7 (499) 976-04-80.

**Станислава Сергеевна Сафонова**, аспирант, Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, тел.: +7 (499) 976-04-80.

**Ольга Сергеевна Романенкова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651104.

**Елена Александровна Гладырь**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская обл., г.о. Подольск, п. Дубровицы, д. 60, тел.: 8(4967)651104.

**Information about the authors:**

**Elena N Konovalova**, Cand. Sci. (Biology), senior researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7 (4967) 65-11-04.

**Liliia V Evstafeva**, senior lecturer of the Department of Veterinary Medicine and Animal Physiology, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskay St., Moscow, 127434, tel.: +7 (499) 976-04-80.

**Stanislava S Safonova**, PhD student of Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskay St., Moscow, 127434, tel.: +7 (499) 976-04-80.

**Olga S Romanenkova**, Cand. Sci. (Biology), researcher of the Laboratory of Molecular Genetics of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7 (4967) 65-11-04.

**Elena A Gladyr**, Cand. Sci. (Biology), leading researcher, Chief of the Laboratory of Molecular Genetics of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7 (4967) 65-11-04.

Статья поступила в редакцию 17.09.2024; одобрена после рецензирования 24.10.2024; принята к публикации 16.12.2024.

The article was submitted 17.09.2024; approved after reviewing 24.10.2024; accepted for publication 16.12.2024.