

УДК 636.082.12

DOI 10.30914/2411-9687-2024-10-1-17-26

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ БЕЛКОВОГО ОБМЕНА У КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

Ф. Ф. Зиннатов¹, Т. М. Ахметов¹, Н. Д. Чевтаева², М. А. Стафикопуло¹, Э. Р. Горева¹

¹Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана, г. Казань, Российская Федерация

²Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Введение. Молоко – одно из полноценных продуктов питания, которое принято называть универсальной пищей. Снабжение населения страны высококачественными продуктами питания, в том числе молоком и молочными продуктами, является одним из важнейших вопросов поддержания здоровья и продовольственной безопасности населения любой страны, особенно в условиях импортозамещения.

Целью исследования была идентификация и проведение ПЦР-ПДРФ-анализа для изучения полиморфизма генов белкового обмена каппа-казеина, бета-лактоглобулина у коров голштинской породы и выявления связи между этими полиморфными вариантами генов с признаками молочной продуктивности животных.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования и оценка генов, несущих для молочного скотоводства хозяйственно-полезные признаки, проведены на 99 головах КРС с применением ПЦР-анализа.

Результаты исследований. Проведенный нами генетический (ПЦР) анализ показал, что коровы с генотипом CSN3^{BB}BLG^{AA} демонстрируют наилучшие показатели по удою, достигая впечатляющих 7340 кг, а также по выходу белка, который составляет 235,6 кг. Таких коров было всего 1,05 % от общего исследованного количества. Также выявлены животные с высокой белковомолочностью – это коровы с генотипом CSN3^{BB}BLG^{AB}. В молоке этих представителей содержание белка составляет впечатляющие 3,36 %, что говорит о их отличных показателях в этом параметре. **Заключение.** Следовательно, чтобы добиться успеха в племенном деле, необходимо использовать молекулярно-генетические, ДНК-методы в селекционной работе, что поможет точно определить ценность животных, содержащих в своем геноме желательные комплексные генотипы и в дальнейшем накопить их в племенном ядре. Генетический код каждого животного уникален, и с помощью ДНК-технологий можно узнать о животных практически все – их предрасположенность к заболеваниям, способность выдерживать высокие нагрузки и быстро восстанавливаться после травм, а также мясную и молочную продуктивность и другие важные характеристики.

Ключевые слова: полиморфизм, генотип, ПЦР, ДНК, гены

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Идентификация и анализ полиморфизма генов белкового обмена у коров голштинской породы / Ф. Ф. Зиннатов, Т. М. Ахметов, Н. Д. Чевтаева, М. А. Стафикопуло, Э. Р. Горева // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024. Т. 10. № 1. С. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-17-26>

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF POLYMORPHISM OF PROTEIN METABOLISM GENES IN HOLSTEIN COWS

F. F. Zinnatov¹, T. M. Akhmetov¹, N. D. Chevtaeva², M. A. Stafikopulo¹, E. R. Goreva¹

¹Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman, Kazan, Russian Federation

²Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation

Abstract. Introduction. Milk is one of the full-fledged food products, which is commonly called universal food. The supply of high-quality food products to the population of the country, including milk, is one of the most important issues of maintaining the health and food security of the population of any country, especially in the context of the geopolitical situation and import substitution. **The purpose** of the study was to identify and conduct PCR-PDRF analysis to study the polymorphism of kappa-casein and beta-lactoglobulin protein metabolism genes in Holstein cows and to identify the relationship between these polymorphic gene variants with signs of animal dairy productivity.

Materials and methods. Experimental studies and evaluation of genes carrying useful signs for dairy cattle breeding were carried out on 99 heads of cattle using PCR. **The results of the research.** The conducted genetic analysis showed that cows with the CSN3^{BB}BLG^{AA} genotype demonstrated the best milk yield, reaching an impressive 7340 kg, as well as protein yield, which amounted to 235.6 kg. Such cows were only 1.05 % of the total number studied. Animals with high milk protein content have also been identified – these are cows with the CSN3^{BB}BLG^{AB} genotype. The milk of these representatives has an impressive protein content of 3.36 %, which indicates their excellent performance in this parameter. **Conclusion.** Therefore, in order to succeed in breeding, it is necessary to use molecular genetic, DNA methods in breeding work, which will help to accurately determine the value of animals containing desirable complex genotypes in their genome and further accumulate them in the breeding core. The genetic code of each animal is unique, and with the help of DNA technologies, you can learn almost everything about animals - their predisposition to diseases, their ability to withstand high loads and recover quickly from injuries, as well as meat and dairy productivity and other important characteristics.

Keywords: polymorphism, genotype, PCR, DNA, genes

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Zinnatov F. F., Akhmetov T. M., Chevtayeva N. D., Stafikopulo M. A., Goreva E. R. Identification and analysis of polymorphism of protein metabolism genes in Holstein cows. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2024, vol. 10, no. 1, pp. 17–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-17-26>

Введение

Молоко – одно из полноценных продуктов питания, которое принято называть универсальной пищей. Энергетическая ценность молока и молочных продуктов как пищи определяется содержанием полезных веществ: жиров, белков, витаминов, макро- и микроэлементов. Коровье молоко в своем составе содержит свыше 90 компонентов, является источником сбалансированных 20 аминокислот, около 25 жирных кислот, огромного количества 25 веществ минерального характера, порядка 12 наименований жиро- и водорастворимых витаминов [3; 5].

Увеличение молочной продуктивности дойного поголовья и повышение качественного состава молока удалось добиться с помощью инновационных технологий в области молекулярной биотехнологии и применению генетического потенциала животных. Активное развитие молекулярной генетики, начавшееся в 1970-х годах, в основном связано с созданием и совершенствованием методов анализа и манипулирования ДНК. Методы геномной инженерии нашли практическое применение во многих областях. Они позволили разработать новые подходы к диагностике и лечению заболеваний и открыли путь к целенаправленному изменению специфических признаков в организме. Современная молекулярная генетика позволила выявить гены, контролирующие экономически полезные признаки. Выявление гене-

тических вариаций позволяет проводить прямую селекцию на уровне ДНК в дополнение к традиционной селекции скота. Современный метод ПЦР-ПДРФ-анализа стал на сегодняшний день основным при определении потенциала животного с точки зрения генетики. [6; 14].

Увеличение количества стад скота с желательными генетическими вариантами в геноме позволит не только повысить молочную продуктивность скота, но и увеличить производство высококачественных молочных продуктов в нашей стране. К нынешнему периоду выявлено большое количество генов, которые связаны с молочной продуктивностью, идентифицирована их локализация в хромосоме, последовательность нуклеотидов в структуре молекул, определены следствия полиморфизма генов, их точечные мутации в соответствующих положениях ДНК молекул [3; 4]. Гены каппа-казеина, бета лактоглобулина и их аллели в этом исследовании рассматриваются как потенциальные основные маркеры продуктивности дойного поголовья.

Целью нашего исследования являлась идентификация и проведение ПЦР-ПДРФ-анализа для изучения полиморфизма генов белкового обмена каппа-казеина, бета-лактоглобулина у коров голштинской породы и выявления связи между этими полиморфными вариантами генов с признаками молочной продуктивности животных.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования и оценка генов несущих для молочного скотоводства хозяйственно-полезные признаки проведены на 99 головах КРС. Исследованные племенные голштинские коровы принадлежали СХПК «ПЗ им. Ленина» Атнинского района Республики Татарстан. В качестве биопробы для постановки ПЦР-ПДРФ анализа использовали кровь коров, из которых выделялись нуклеиновые кислоты (ДНК). ДНК выделяли в ПЦР – боксе UVC/T-M-AR (BioSan, Латвия), где использовался специальный комплект реагентов для экстрагирования нуклеиновых кислот из биопробы «АмплиПрайм ДНК-сорб-В» (Россия), с использованием также приборов для перемешивания Vortex V-1 (BioSan, Латвия), микропробирок и различного объема наконечников, термостата Гном (ДНК-Технологии, Россия). Далее для подробного изучения полиморфизма генов CSN3 и BLG нами проведена ПЦР на четырех канальном термостате (программируемом) для постановки полимеразной цепной реакции «Терцик» (Россия) используя объем 20 мкл. Этот же объем амплификата использовали в постановке ПЦР-ПДРФ-анализа гена CSN3, где его обрабатывали 5 ед. рестриктазы Hinf I в 1х буфере «О» производства фирмы СибЭнзим (Россия) при 37 °С в течение ночного времени. ПЦР-ПДРФ-анализа гена BLG, проводили по аналогии, где его обрабатывали 5 ед. рестриктазы Hae III в 1х буфере «G» про-

изводства фирмы СибЭнзим (Россия) при 37 °С в течение ночи. Дальнейшую идентификацию продуктов амплификации и рестрикционного анализа производили путем постановки горизонтального электрофореза в 2–2,5 % агарозном геле. Использовали для окраски 10 %-й бромистый этидий в количестве 5 мкл. Электрофорез был проведен при следующих параметрах: 200 мА, 150 В, 20 Вт. С использованием видеодокументирующей лабораторной системы GelDoc произведена фиксация результатов ПЦР-ПДРФ-анализа исследуемых генов.

Результаты исследований

В результате проведения ПЦР-амплификации с парой праймеров (17JK5: 5'-ATC-ATT-TAT-GGC-CAT-TCC-ACC-AAA-G-3' И 17JK3: 5'-GCC-CAT-TTC-GGC-CTT-CTC-TGT-AAC-AGA-3') нами получены были разные фрагменты гена CSN3 длиной 266 п.н. По истечению ПЦР-ПДРФ-анализа, а именно рестрикционного гидролиза с применением рестриктазы Hinf I и последующего электрофоретического разделения амплификата на фрагменты, были идентифицированы два аллеля (А и В) по гену CSN3 у изучаемых коров. Выявлены также три генотипа CSN3^{AA}, CSN3^{AB}, CSN3^{BB}. Каждому генотипу соответствовали определенные локусы. К примеру: гомозиготному генотипу AA соответствовали кусочки равные 134–132/84 п.н., гетерозиготному генотипу АВ 266/134–132/84 п.н., и гомозиготному генотипу ВВ 266/84 п.н. (рис. 1).

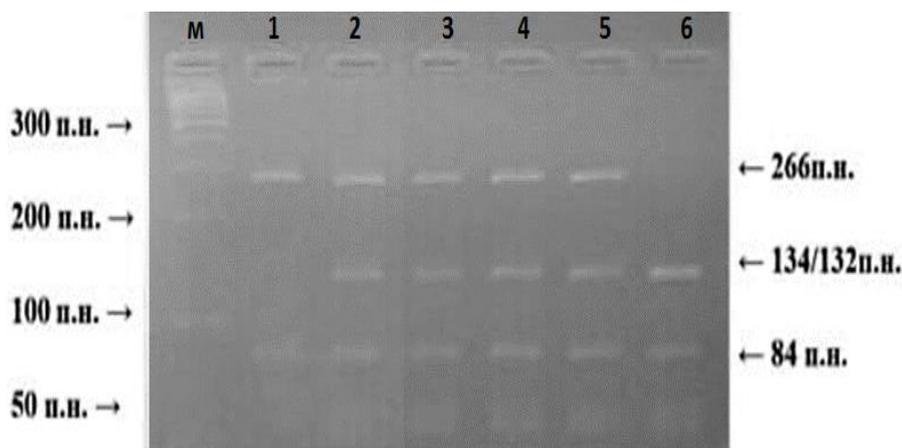


Рис. 1. Результаты ПЦР-ПДРФ-анализа гена CSN3

Обозначения: М – ДНК-маркеры 100 bp + 50 bp 1 – генотип ВВ (266/84 п.н.); 2, 3, 4, 5 – генотип АВ (266/134–132/84 п.н.); 6 – генотип АА (134–132/84 п.н.) /

Fig. 1. Results of PCR-PDRF analysis of the CSN3 gene. Designations: M – DNA markers 100 bp + 50 bp, 1 – genotype ВВ (266/84 bp); 2, 3, 4, 5 – genotype АВ (266/134–132/84 bp); 6 – genotype АА (134–132/84 bp)

Определение и анализ вариантов полиморфизма гена каппа-казеина и его влияние на показатели

продуктивности коров исследуемого хозяйства показал, что самый высокий удой был у коров с

гомозиготным вариантом генотипа CSN3^{BB} – 6798,5 кг. Поголовье коров с гомозиготным генотипом CSN3^{AA} был 6402 кг. И самым меньшим удоем обладали коровы с вариантом генотипа CSN3^{AB} – 6178,4 кг.

Анализ исследования содержания белка в разных группах коров показал, что у коров с гомозиготным вариантом генотипа CSN3^{BB} – 3,32 %, у коров с гетерозиготным вариантом генотипа CSN3^{AB} –

3,19. Минимальным количеством белка в молоке обладали коровы с гомозиготным генотипом CSN3^{AA} – 3,14 %. Также были получены результаты и по содержанию жира в молоке коров. Наименьшим он был у группы коров с гомозиготным генотипом CSN3^{AA} – 4,19 %, средним у животных с гомозиготным генотипом CSN3^{BB} – 4,31 %, и самый высокий результат у коров с гетерозиготным вариантом генотипа CSN3^{AB} – 4,38 % (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Показатели молочной продуктивности коров по гену CSN3 /
Indicators of dairy productivity of cows according to the CSN3 gene

Генотип CSN3 / CSN3 genotype	Показатели молочной продуктивности коров / Indicators of dairy productivity of cows				
	Удой, Кг / Milk yield, kg	Жирность, % / Fat content, %	Белок, % / Protein, %	Массовая доля жира, кг / Mass fraction of fat, kg	Массовая доля белка, кг / Mass fraction of protein, kg
AA (n=59)	6402,7 ± 145,7	4,19 ± 0,14	3,14 ± 0,03	268,3 ± 27,7	201,0 ± 4,6
AB(n=33)	6178,4 ± 162,02	4,38 ± 0,18	3,19 ± 0,04	270,6 ± 15,36	197,0 ± 4,95
BB(n=7)	6798,5 ± 314,35	4,31 ± 0,33	3,32 ± 0,07	292,7 ± 22,4	225,7 ± 8,6

В результате проведенного анализа было выявлено, что поголовье коров с гомозиготным вариантом генотипа CSN3^{BB} лучшими количественными показателями молочной продуктивности, которая составила в среднем 6789,5 кг. Сравнивая группу коров с гетерозиготным вариантом генотипа CSN3^{AB}, продуктивность коров с комбинацией гомозиготной оказалась выше на 611,3 кг. Также у группы коров с гомозиготным вариантом генотипа CSN3^{BB} было высокое содержание белка относительно

двух других групп животных – 3,32 %. Данная группа коров показала высокие результаты по выходу белка – 225,7 кг, и хорошим результатом по жиру – 292,7 кг. Следовательно, также можно утверждать, что группа коров с комбинацией генотипа CSN3^{BB} превосходили гомозиготную группу особей CSN3^{AA} по содержанию белка, разница которой составила 0,18 %. Баланс разницы качественных и количественных показателей исследованных нами генотипов CSN3 показаны на рисунке 2.

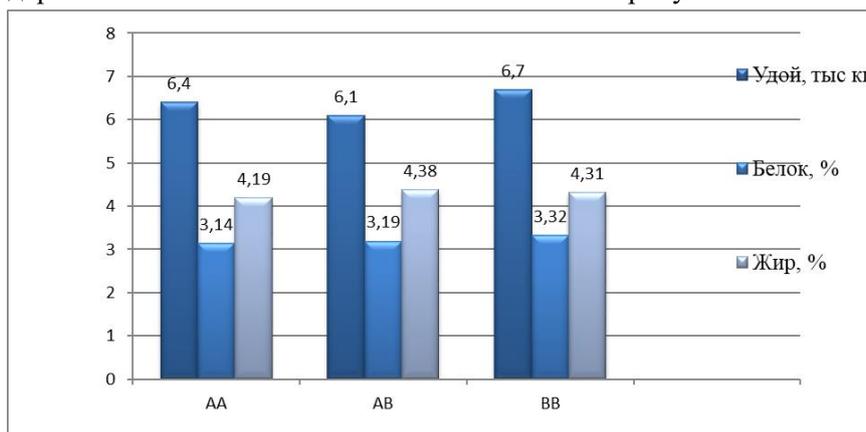


Рис. 2. Диаграмма результатов ассоциации молочной продуктивности коров с различными генотипами CSN3 /
Fig. 2. Diagram of the results of the association of dairy productivity of cows with different CSN3 genotypes

Результаты амплификации ДНК лейкоцитов крови дойных коров в ПЦР с последующим ПДРФ-анализом в горизонтальном электрофорезе выявили фрагмент гена размером в 153 п.н., два аллеля А и В и идентифицировано три гено-

типа BLG^{AA}, BLG^{AB} и BLG^{BB}. Гомозиготной вариации AA соответствовали локусы 153/109 п.н., гетерозиготному варианту АВ – 153/109/79 п.н., и гомозиготной комбинации ВВ – 109/79 п.н. (рис. 3).

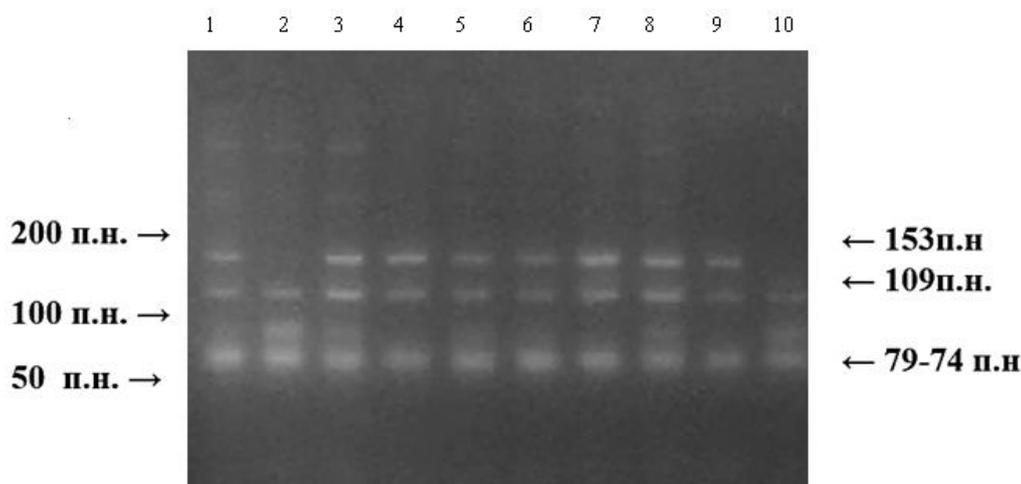


Рис. 3. Результаты ПЦР-ПДФ-анализа гена BLG. Обозначения: 1, 3, 5, 8, 9 – генотип АВ (153/109/79 п.н.); 2, 10 – генотип ВВ (109/79 п.н.); 4, 6, 7 – генотип АА (153/109 п.н.) /
Fig. 3. Results of PCR-PDRF analysis of the BLG gene. Designations: 1, 3, 5, 8, 9 – genotype АВ (153/109/79 bp); 2, 10 – ВВ genotype (109/79 bp); 4, 6, 7 – АА genotype (153/109 bp)

Анализ вариантов полиморфизма гена BLG и его влияние на показатели продуктивности дойного поголовья коров исследуемого хозяйства показал, что самый высокий удой был у коров с гомозиготным вариантом генотипа BLG^{AB} – 6464,2 кг. Поголовье коров с гомозиготным генотипом BLG^{BB} были с самым меньшим удоём – 5981,2 кг. По результатам исследований у группы коров с гомозиготным вариантом генотипа BLG^{AB} наблюдалось самое высокое содержание белка – 3,2 %. У животных с комбинацией аллелей BLG^{AA} были

средние значения по содержанию белка это – 3,17 %, и самое минимальное значение идентифицировано у группы коров с гомозиготным вариантом BLG^{BB} – 3,11 %. В результате проведенных исследований было показано, что и распределение жира в молоке было различным. Минимальным был у коров с генотипом BLG^{AA} – 3,97 %, средним значением обладали коровы с генотипом BLG^{AB} – 4,3 %, и самым большим показателем обладали группа коров с гомозиготным генотипом BLG^{BB} – 4,5 % (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Показатели молочной продуктивности коров по гену BLG /
Indicators of dairy productivity of cows according to the BLG gene

Генотип BLG / BLG genotype	Показатели молочной продуктивности коров / Indicators of dairy productivity of cows				
	Удой, Кг / Milk yield, kg	Жирность, % / Fat content, %	Белок, % / Protein, %	Массовая доля жира, кг / Mass fraction of fat, kg	Массовая доля белка, кг / Mass fraction of protein, kg
AA (n=20)	5981,2 ± 242,15	3,97 ± 0,18	3,17 ± 0,04	233,7 ± 10,52	189,1 ± 7,24
AB (n=54)	6464,2 ± 136,2	4,3 ± 0,14	3,2 ± 0,03	275,8 ± 10,7	206,35 ± 4,4
BB (n=25)	6421,8 ± 218,6	4,5 ± 0,23	3,11 ± 0,06	288,2 ± 17,04	199,3 ± 6,72

По результатам выявления и изучения полиморфизма гена BLG и показателями молочной продуктивности групп коров с разными генотипами было показано, что животные с гетерозиготной комбинацией аллелей в своем генотипе BLG^{AB} обладали основными преимуществами по молочным показателям, за исключением содер-

жания жира в молоке. Животные с гетерозиготным генотипом BLG^{AB} демонстрируют высокие результаты продуктивности, средний удой в данной группе составляет 6464,2 кг молока, что на 42,4 кг больше, чем у животных с гомозиготным генотипом BLG^{BB}. У коров с генотипом BLG^{AB} также отмечается высокое содержание белка в

молоке – 3,2 % и максимальный показатель выхода самого белка – 206,35 кг. Группа коров с комбинацией BLG^{BB} лидировали по содержанию жира, его уровень составляет 4,5 %, а выход жира – 288,2 кг, однако значение белка в молоке у этих особей является самым низким.

Коровы с генотипом BLG^{AA} имеют наименьшие значения всех показателей: удой равен

5981,2 кг, содержание жира в молоке – 3,97 %, содержание белка – 3,17 %. Животные с гетерозиготным генотипом BLG^{AB} превзошли животных обладателей генотипа BLG^{BB} по содержанию белка. Но содержание жира в молоке у группы коров с данной комбинацией аллелей, наоборот, превышало значение, чем у генотипа BLG^{AB} (рис. 4).

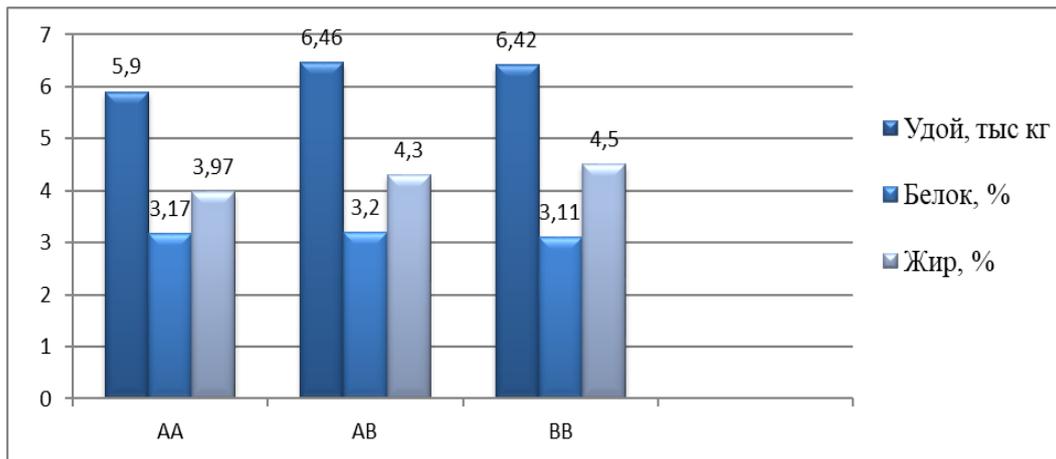


Рис. 4. Диаграмма результатов ассоциации молочной продуктивности с различными генотипами по гену BLG /
Fig. 4. Diagram of the results of the association of milk productivity with different genotypes by the BLG gene

Соответственно, можно сделать вывод, что полиморфизм гена BLG оказывает воздействие на показатели продуктивности дойного поголовья. Вариация генотипов этого гена связаны с разными уровнями удоя и содержания белка в молоке. Однако для более точных выводов необходимы дальнейшие исследования, к примеру, исследование комплексных генотипов и анализ их данных.

Исследованиями зарубежных и отечественных ученых доказано, что жирномолочность и

белкомолочность зависят и от наличия в их генах комплексных вариаций генов. В этой связи нами была изучена частота встречаемости комплексных вариаций исследованных нами генов. И было в опыте на 99 головах коров идентифицировано 9 различных вариантов комплексных генотипов. Таких как: $CSN3^{AA}BLG^{AA}$, $CSN3^{AA}BLG^{AB}$, $CSN3^{AA}BLG^{BB}$, $CSN3^{AB}BLG^{AA}$, $CSN3^{AB}BLG^{AB}$, $CSN3^{AB}BLG^{BB}$, $CSN3^{BB}BLG^{AA}$, $CSN3^{BB}BLG^{AB}$, $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Показатели продуктивности по комплексным генотипам генов $CSN3$ и BLG /
Productivity indicators for the complex genotype of the $CSN3$ and BLG genes

Генотип / Genotype	Количество / Quantity		Показатели молочной продуктивности / Indicators of milk productivity				
	Голов / heads	%	Удой, Кг / Milk yield, kg	Жирность, % / Fat content, %	Белок, % / Protein, %	Массовая доля жира, кг / Mass fraction of fat, kg	Массовая доля белка, кг / Mass fraction of protein, kg
1	2	3	4	5	6	7	8
$CSN3^{AA}BLG^{AA}$	13	13,1	5930,7 ± 332,08	3,93 ± 0,27	3,11 ± 0,04	228,64 ± 15,64	183,75 ± 9,9
$CSN3^{AA}BLG^{AB}$	33	33,3	6465,4 ± 180,85	4,17 ± 0,19	3,17 ± 0,04	267,4 ± 13,14	204,5 ± 6,07
$CSN3^{AA}BLG^{BB}$	13	13,1	6715,5 ± 350,32	4,54 ± 0,32	3,12 ± 0,08	300,6 ± 21,9	208,6 ± 10,6
$CSN3^{AB}BLG^{AA}$	6	6,1	5864,2 ± 364,78	4,17 ± 0,17	3,31 ± 0,08	243,2 ± 12,3	193,1 ± 9,18
$CSN3^{AB}BLG^{AB}$	17	17,1	6396,7 ± 254,61	4,41 ± 0,24	3,19 ± 0,05	286,33 ± 23,9	203,6 ± 7,58
$CSN3^{AB}BLG^{BB}$	10	10,1	5996,0 ± 253,96	4,47 ± 0,47	3,12 ± 0,12	270,32 ± 32,0	186,3 ± 8,83

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
CSN3 ^{BB} BLG ^{AA}	1	1,05	7340	3,30	3,21	242,2	235,6
CSN3 ^{BB} BLG ^{AB}	5	5,1	6896,8 ± 365,86	4,58 ± 0,39	3,36 ± 0,1	313,5 ± 23,97	230,6 ± 7,96
CSN3 ^{BB} BLG ^{BB}	1	1,05	5762	3,96	3,25	228,15	187,3

Проведенный нами генетический ПЦР-ПДРФ-анализ показал, что коровы с генотипом CSN3^{BB}BLG^{AA} демонстрируют наилучшие показатели по удою, достигая впечатляющих 7340 кг, а также по выходу белка, который составляет 235,6 кг. Таких коров было всего 1,05 % от всего исследованного количества (рис. 5). Также выявлены животные с высокой белкомолочностью – это коровы с генотипом CSN3^{BB}BLG^{AB}.

В молоке этих представителей содержание белка составляет впечатляющие 3,36 %, что говорит об их отличных показателях в этом параметре. Но это еще не все, обнаружено, что эти же коровы отличаются высоким содержанием жира в молоке – 4,58 % и выходом жира, который составляет 313,5 кг. И количество таких коров составляет 5,1 % от всего исследованного поголовья.

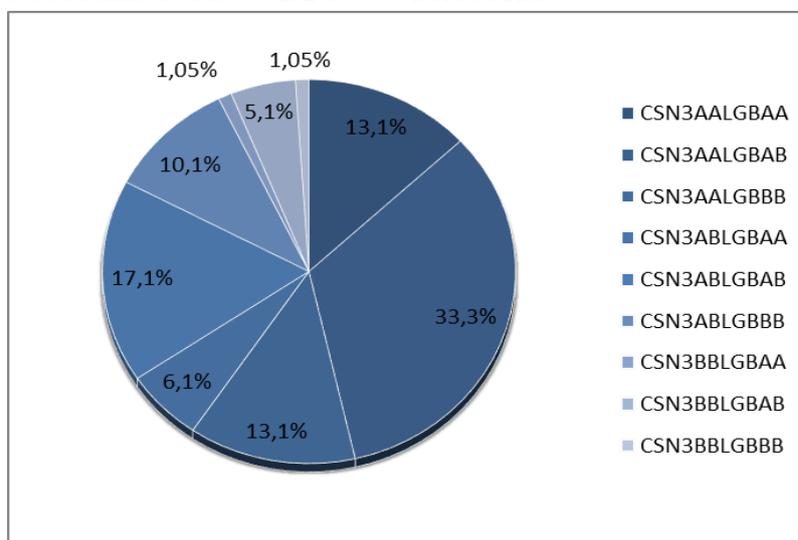


Рис. 5. Частота встречаемости комплексных сочетаний генотипов генов CSN3 и BLG /
Fig. 5. Frequency of occurrence of complex combinations of genotypes of the CSN3 and BLG genes

Заключение

В свете увеличения населения вопрос об обеспечении его молочными продуктами становится все более важным. Долгосрочной стратегией развития сельского хозяйства России приоритетно рассматривается задача насыщение внутреннего рынка экологически чистой продукцией отечественного производства. Данная задача является востребованной во все времена, особенно в условиях геополитического положения и импортозамещения. Эффективная племенная работа включает в себя правильный подбор родительских пар для улучшения потомства и увеличения производства. Генетическая селекция имеет ряд преимуществ и является важным инструментом для выявления признаков, проявляющихся позднее. Инновацион-

ные подходы молекулярной биотехнологии, которые позволяют идентифицировать необходимые признаки для дальнейшего разведения животных, играют важную роль в племенной работе, поэтому, помимо классических методов селекции, необходимо учитывать генетический потенциал животных. С помощью ДНК-технологий можно узнать о животных практически все – их предрасположенность к заболеваниям, способность выдерживать высокие нагрузки и быстро восстанавливаться после травм, а также мясную и молочную продуктивность и другие важные характеристики. Генетический код каждого животного уникален, и современные инновационные подходы в биотехнологии позволяют его подробно расшифровать и достигать поставленных грандиозных целей.

1. Гайнуллина М. К., Хайруллина Г. Ф. Продуктивность и белковый состав молока коз при использовании в рационах жмыхов из семян масличных культур // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 1. С. 37–39. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32639999&ysclid=ltyc6obdc1555514154> (дата обращения: 06.02.2024).
2. Долматова И. Ю., Ильясов А. Г. Полиморфизм гена гормона роста крупного рогатого скота в связи с молочной продуктивностью // Генетика. 2011. Т. 47. № 6. С. 814–820.
3. Желтова О. А., Шувариков А. С., Гладырь Е. А. Молочная продуктивность и качество молока коз с различными генотипами по гену бета-лактоглобулина // Овцы, козы, шерстяное дело. 2011. № 3. С. 80–83. URL: <https://elibrary.ru/mxsehj?ysclid=ltycoszip61434467708> (дата обращения: 07.02.2024).
4. Закирова Р. Р., Берзина Г. Ю. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров-первотелок при использовании белковых добавок // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 263–266. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-produktivnost-i-voisproizvoditelnye-kachestva-korov-pervotyolok-pri-ispolzovanii-belkovyh-dobavok?ysclid=ltycunl0ec777113595> (дата обращения: 09.02.2024).
5. Межлинейный полиморфизм гена каппа-казеина в популяции первотелок крупного рогатого скота / Ф. Ф. Зиннатова, Ю. Р. Юльметьева, Ф. Ф. Зиннатов, Ш. К. Шакиров // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 4. С. 180–183. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24825734&ysclid=ltyd2tivm7589991278> (дата обращения: 03.02.2024).
6. Зиннатова Ф. Ф., Зиннатов Ф. Ф., Шакиров Ш. К. Корреляция между основными признаками молочной продуктивности крупного рогатого скота в зависимости от генотипа // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2016. № 2. С. 111–114.
7. Роль генов-маркеров ESRF18/FUT1, MC4R, ESR, RYR1 в селекции свиней / Зиннатова Ф. Ф., Шакиров Ш. К., Алимов А. М., Зиннатов Ф. Ф. // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 3. С. 188–191. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24283135&ysclid=ltыр4u948276119015> (дата обращения: 13.02.2024).
8. Увеличение молочной продуктивности коров / Е. А. Иванов, О. В. Иванова, В. А. Терещенко, М. М. Филиппев // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: матер. VI-й Международной научно-практической конференции. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет. 2017. С. 158–161.
9. Михалюк А. Н., Танана Л. А., Епишко О. А. Влияние генов пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) на показатели молочной продуктивности коров высокоголландизированной белорусской черно-пестрой породы // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2021. Т. 57. № 2. С. 122–127. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46447941&ysclid=ltye33vjzg612387440> (дата обращения: 13.02.2024).
10. Позовникова М. В., Сердюк Г. Н., Митрофанова О. В. Ассоциация однонуклеотидных полиморфизмов генов-кандидатов PRL и β -LG с хозяйственно-полезными признаками у коров черно-пестрой породы // Генетика и разведение животных. 2017. № 4. С. 31–36. URL: <https://www.vniigenjournal.ru/jour/article/view/143> (дата обращения: 15.02.2024).
11. Смоленцев С. Ю. Резистентность у новорожденных телят под влиянием «Гамавита» // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2017. Т. 3. № 1 (9). С. 70–74. URL: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1344> (дата обращения: 06.02.2024).
12. Нормализация иммунитета крупного рогатого скота препаратами «Имуноферон» и «Риботан» / С. Ю. Смоленцев, Э. К. Папуниди, Г. Р. Юсупова, А. Х. Волков, Р. Э. Хабибуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 196–199. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/normalizatsiya-immuniteta-krupnogo-rogatogo-skota-preraratami-immunoferon-i-ribotan?ysclid=ltyf5j4xp3678077272> (дата обращения: 08.02.2024).
13. Смоленцев С. Ю., Роженцов А. Л., Александров Ю. А. Влияние лечебно-профилактического иммуноглобулина на показатели резистентности организма коров // Зоотехния. 2010. № 11. С. 20–21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15261480&ysclid=ltfyfwl48a325000205> (дата обращения: 11.02.2024).
14. Породные особенности аллельного профиля генов, контролирующих молочную продуктивность крупного рогатого скота / М. И. Селионова, Л. Н. Чижова, Е. С. Суржикова, Г. Н. Шарко, Т. Н. Михайленко, А. И. Чудновец // АгроЗооТехника. 2019. Т. 2. № 1. С. 3. DOI: <https://doi.org/10.15838/alt.2019.2.1.3>
15. Титова С. В. Продуктивное долголетие молочных коров разных генотипов // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». № 2 (2). 2015. С. 52–55. URL: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=962> (дата обращения: 11.02.2024).
16. Ozmen O., Kul S. Investigating the genetic polymorphism in the exon 2 region of ovine beta-lactoglobulin gene and its association with some milk traits // Ankara Univ. Vet. Fak. Derg. 2016. Vol. 63. Pp. 323–328. DOI: https://doi.org/10.1501/Vetfak_00000002747

Статья поступила в редакцию 26.02.2024 г.; одобрена после рецензирования 19.03.2024 г.; принята к публикации 22.03.2024 г.

Об авторах

Зиннатов Фарит Фатихович

кандидат биологических наук, доцент, кафедра биологической химии, физики и математики, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>, ffzinnatov@mail.ru

Ахметов Тахир Мунавирович

доктор биологических наук, профессор, кафедра биологической химии, физики и математики, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3495-2432>, ahmetov-tahir@mail.ru

Чевтаева Наталья Дмитриевна

младший научный сотрудник, отдел физиологии, биохимии, генетики и питания животных, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН (420059, Российская Федерация, г. Казань, Оренбургский тракт, д. 48), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3525-0651>, chevtaeva_natasha@mail.ru

Стафикопуло Мария Алексеевна

студент, кафедра биологической химии, физики и математики, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7355-3215>, stafikopulo@internet.ru

Горева Эльвира Романовна

студент, кафедра биологической химии, физики и математики, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1252-1382>, elwira.goreva@yandex.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Gainullina M. K., Khairullina G. F. Produktivnost' i belkovyi sostav moloka koz pri ispol'zovanii v ratsionakh zhmykhov iz semyan maslichnykh kul'tur [Productivity and protein composition of goat milk when used oilseed cakes in the diets]. *Ovtsy, kozy, sherstyanoie delo* = Sheep, Goats, Wool Business, 2018, no. 1, pp. 37–39. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32639999&ysclid=ltyc6obdc1555514154> (accessed 06.02.2024). (In Russ.).
2. Dolmatova I. Yu., Pyasov A. G. Polimorfizm gena gormona rosta krupnogo rogatogo skota v svyazi s molochnoi produktivnost'yu [Association of cattle growth hormone gene polymorphism with milk productivity]. *Genetika* = Russian Journal of Genetics, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 814–820. (In Russ.).
3. Zheltova O. A., Shuvarikov A. S., Gladyr E. A. Molochnaya produktivnost' i kachestvo moloka koz s razlichnymi genotipami po genu β -laktoglobulina [Milk productivity and milk quality of goats with different genotypes according to the β -lactoglobulin gene]. *Ovtsy, kozy, sherstyanoie delo* = Sheep, Goats, Wool Business, 2011, no. 3, pp. 80–83. Available at: <https://elibrary.ru/mxsehj?ysclid=ltyczip6i434467708> (accessed 07.02.2024). (In Russ.).
4. Zakirova R. R., Berezkina G. Yu. Molochnaya produktivnost' i vosproizvoditel'nye kachestva korov-pervotelok pri ispol'zovanii belkovykh dobavok [Dairy productivity and reproduction quality of parent cows when using protein supplements]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University, 2021, no. 4 (90), pp. 263–266. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-produktivnost-i-voiproizvoditelnye-kachestva-korov-pervotelok-pri-ispolzovanii-belkovykh-dobavok?ysclid=ltycunl0ec777113595> (accessed 09.02.2024). (In Russ.).
5. Zinnatova F. F., Yulmeteva Yu. R., Zinnatov F. F., Shakirov Sh. K. Mezhlaineyi polimorfizm gena kappa-kazeina v populyatsii pervotelok krupnogo rogatogo skota [Interline polymorphism of kappa-casein in the population heifers cattle]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* = Legal Regulation in Veterinary Medicine, 2015, no. 4, pp. 180–183. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24825734&ysclid=ltyd2tivm7589991278> (accessed 03.02.2024). (In Russ.).
6. Zinnatova F. F., Zinnatov F. F., Shakirov Sh. K. Korrelyatsiya mezhdru osnovnymi priznakami molochnoi produktivnosti krupnogo rogatogo skota v zavisimosti ot genotipa [The correlation between the main features of milk production of cattle depending on the genotype]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* = Legal Regulation in Veterinary Medicine, 2016, no. 2, pp. 111–114. (In Russ.).
7. Zinnatova F. F., Shakirov Sh. K., Alimov A. M., Zinnatov F. F. Rol' genov-markerov ESRF18/FUT1, MC4R, ESR, RYR1 v seleksii svinei [The role of marker genes ECRF18/FUT1, MC4R, ESR, RYR1 in breeding pigs]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* = Legal Regulation in Veterinary Medicine, 2015, no. 3, pp. 188–191. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24283135&ysclid=ltidr4u948276119015> (accessed 13.02.2024). (In Russ.).
8. Ivanov E. A., Ivanova O. V., Tereshchenko V. A., Filipyev M. M. Uvelichenie molochnoi produktivnosti korov [Increase in dairy productivity of cows]. *Aktual'nye problemy sel'skogo khozyaistva gornyykh territorii: materialy VI-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* = Actual problems of agriculture of mountainous territories: materials of the VI International scientific and practical conference. Gorno-Altaysk, Publ. house of the Gorno-Altaysk State University, 2017, pp. 158–161. (In Russ.).
9. Mikhalyuk A. N., Tanana L. A., Epishko O. A. Vliyaniye genov prolaktina (PRL) i beta-laktoglobulina (BLG) na pokazateli molochnoi produktivnosti korov vysokogolshtinizirovannoi belorusskoi cherno-pestroi porody [Effect of prolactin (PRL) and beta-lactoglobulin (BLG) genes on dairy performance indicators in the highly holsteinized Belarusian black-and-white breed]. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny"* = Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine",

2021, vol. 57, no. 2, pp. 122–127. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46447941&ysclid=ltye33vjzg612387440> (accessed 13.02.2024). (In Russ.).

10. Pozovnikova M. V., Serdjuk G. N., Mitrofanova O. V. Assotsiatsiya odnonukleotidnykh polimorfizmov genov-kandidatov PRL i β -LG s khozyaistvenno-poleznymi priznakami u korov cherno-pestroi porody [Association of single nucleotide polymorphisms of PRL and β -LG candidate genes with utility characteristics in black-and-white breed cows]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and Breeding of Animals, 2017, no. 4, pp. 31–36. Available at: <https://www.vniigenjournal.ru/jour/article/view/143> (accessed 15.02.2024). (In Russ.).

11. Smolentsev S. Yu. Rezistentnost' u novorozhdennykh telyat pod vliyaniem "Gamavita" [Resistance in newborn calves under the influence of "Gamavit"]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2017, vol. 3, no. 1 (9), pp. 70–74. Available at: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1344> (accessed 06.02.2024). (In Russ.).

12. Smolentsev S. Yu., Papunidi E. K., Yusupova G. R., Volkov A. Kh., Khabibullin R. E. Normalizatsiya immuniteta krupnogo rogatogo skota preparatami "Immunoferon" i "Ribotan" [Normalization of cattle immunity with "Immunoferon" and "Ribotan" preparations]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* = Bulletin of Kazan Technological University, 2014, vol. 17, no. 20, pp. 196–199. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/normalizatsiya-immuniteta-krupnogo-rogatogo-skota-preparatami-immunoferon-i-ribotan?ysclid=ltyf5j4xp3678077272> (accessed 08.02.2024). (In Russ.).

13. Smolentsev S. Yu., Rozhentsov AL, Aleksandrov Yu. A. Vliyanie lechebno-profilakticheskogo immunoglobulina na pokazateli rezistentnosti organizma korov [Influence of curative-prophylactic immunoglobulin on cows specific and nonspecific resistance characteristics]. *Zootekhnika* = Animal Husbandry, 2010, no. 11, pp. 20–21. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15261480&ysclid=ltyffwl48a325000205> (accessed 11.02.2024). (In Russ.).

14. Selionova M. I., Chizhova L. N., Surzhikova E. S., Sharko G. N., Mikhailenko T. N., Chudnovets A. I. Porodnye osobennosti allelnogo profilya genov, kontroliruyushchikh molochnyuyu produktivnost' krupnogo rogatogo skota [Breed characteristics of the allelic profile of the genes that control milk production in cattle]. *AgroZooTekhnika* = Agricultural and Livestock Technology, 2019, vol. 2, no 1, pp. 3. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15838/alt.2019.2.1.3>

15. Titova S. V. Produktivnoe dolgoletie molochnykh korov raznykh genotipov [Productive longevity of dairy cows of different genotypes]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2015, no. 2 (2), pp. 52–55. Available at: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=962> (accessed 11.02.2024). (In Russ.).

16. Ozmen O., Kul S. Investigating the genetic polymorphism in the exon 2 region of ovine beta-lactoglobulin gene and its association with some milk traits. *Ankara Univ. Vet. Fak. Derg.*, 2016, vol. 63, pp. 323–328. (In Eng.). DOI: https://doi.org/10.1501/Vetfak_0000002747

The article was submitted 26.02.2024; approved after reviewing 19.03.2024; accepted for publication 22.02.2024.

About the authors

Farit F. Zinnatov

Ph. D. (Biology), Associate Professor, Department of Biological Chemistry, Physics and Mathematics, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Sibirskiy tract St., Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>, ffzinnatov@mail.ru

Takhir M. Akhmetov

Dr. Sci. (Biology), Professor, Department of Biological Chemistry, Physics and Mathematics, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Sibirskiy tract St., Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3495-2432>, ahmetov-tahir@mail.ru

Natalia D. Chevtaeva

Junior Researcher, Department of Physiology, Biochemistry, Genetics and Animal Nutrition, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences (48 Orenburgskiy Tract, Kazan 420059, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3525-0651>, chevtaeva_natasha@mail.ru

Maria A. Stafikopulo

Student, Department of Biological Chemistry, Physics and Mathematics, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Sibirskiy tract St., Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7355-3215>, stafikopulo@internet.ru

Elvira R. Goreva

Student, Department of Biological Chemistry, Physics and Mathematics, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Sibirskiy tract St., Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1252-1382>, elwira.goreva@yandex.ru

All authors have read and approved the final manuscript.