



АКУШЕРСТВО, ГИНЕКОЛОГИЯ

УДК: 636.082.12:636.22/.28

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.1.317

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА КАППА-КАЗЕИНА (*CSN3*) И ЕГО СВЯЗЬ С МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ В ВЫБОРКАХ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ И КРАСНОЙ СТЕПНОЙ ПОРОД

Гаджиев З.К. – д-р биол. наук, гл. науч. сотр., (ORCID 0000-0003-1966-7000);
Евлагина Д.Д. – канд. биол. наук, науч. сотр. (ORCID 0000-0001-6101-7293);
Ковалева Г.П. – канд. с.-х. наук, вед. вед. науч. сотр., доц. (ORCID 0000-0002-6655-2225);
Суржикова Е.С. – канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-3955-0902);
Лапина М.Н. – канд. биол. наук, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-7651-8450).

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

*gadzhiev70@yandex.ru

Ключевые слова: ген, полиморфизм, ПЦР-ПДРФ, порода, молочная продуктивность.

Keywords: gene, polymorphism, PCR- RFLP, breed, milk productivity.

Поступила: 23.01.2025

Принята к публикации: 06.03.2025

Опубликована онлайн: 26.03.2025



РЕФЕРАТ

В государственных программах развития животноводства ставится задача не только увеличения молочной продуктивности коров, но и улучшения качественных показателей молока. Развитие молекулярной генетики сельскохозяйственных животных создало условия для поиска ключевых генов, полиморфизм которых вносит существенный вклад в решение задач практической селекции. Среди множества генов, обуславливающих молочную продуктивность и качество молока, можно выделить группу генов, вносящих наибольший вклад в формирование и функционирование данного количественного признака. К ним в первую очередь относится ген каппа-казеина (*CSN3*). Цель работы – установить полиморфизм гена каппа-казеина у коров голштинской и красной степной пород и выявить связь между генотипами с молочной продуктивностью животных. Объектом исследования были коровы двух пород: голштинская (n = 60) и красная степная (n = 53). Генотипирование животных выполнялось методом ПЦР-ПДРФ. Установлено, что наиболее распространённым по гену *CSN3* в группе коров голштинской породы являлся гетерозиготный *CSN3^{AB}* генотип – 46,7 %, тогда как в группе коров красной степной породы чаще всего встречался гомозиготный *CSN3^{AA}* генотип – 62,3 %, а частота встречаемости желательного гомозиготного *CSN3^{BB}* варианта была наименьшей, составив 10,0 и 5,7 % соответственно. Лучшие результаты по удою (8810,0 кг молока) отмечены у коров голштин-

ской породы носителей гомозиготного $CSN3^{BB}$ генотипа. В выборке коров красной степной породы преимущество по удою установлено у животных-носителей гомозиготного $CSN3^{AA}$ генотипа – 4200,0 кг молока. Следовательно, исследования показывают, что понимание того, каким образом различные генетические варианты генов-маркеров влияют на продуктивность и качество молока, в дальнейшем позволит сформировать долгосрочные стратегии как для отдельного хозяйства, так и для всей отрасли в целом.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Молочное животноводство является одной из ключевых отраслей сельского хозяйства, обеспечивающей население высококачественными продуктами питания. По данным Росстата на 01.01.2024 года поголовье коров крупного рогатого скота в Российской Федерации составило 7 млн 546,8 тыс. голов. Среди высокопродуктивных пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности можно выделить голштинскую и красную степную породы [1].

Важнейшим аспектом, определяющим продуктивность коров, является генетическая предрасположенность, которая в значительной степени обусловлена полиморфизмом генов, отвечающих за синтез молочных белков. Одним из наиболее изученных генов, влияющих на молочную продуктивность, являются ген каппа-казеина ($CSN3$) (NSBI ID 281099) расположенный на 6 хромосоме, состоящий из 5 экзонов общей длиной 850 п.н. и 4 интронов [2, 3]. Исследование полиморфизма гена каппа-казеина у молочных пород коров, является важным шагом к оптимизации селекционных программ молочного скотоводства. Понимание генетической структуры популяций и распределения аллелей в ней, может помочь разработать более эффективные стратегии селекции, направленные на повышение молочной продуктивности и улучшение качества молока [4, 5]. Экспрессия гена каппа-казеина влияет на лактацию, жирность молока, содержание белков, питательные и технологические свойства. Генетический полиморфизм гена $CSN3$ привлекает внимание из-за своей ассоциации с составом молока, который, в свою очередь, влияет на технологию обработки молока и его конечные характеристики [6, 7, 8].

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью глубокого понима-

ния генетических факторов, влияющих на продуктивность коров молочного направления, особенно в условиях современного животноводства, где конкуренция за высококачественные молочные продукты возрастает [9]. Цель работы – установить полиморфизм гена каппа-казеина у коров голштинской и красной степной пород и выявить связь между генотипами с молочной продуктивностью животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для изучения полиморфизма гена каппа-казеина был применен метод ПЦР-ПДРФ. Методом случайной выборки отобраны животные с различным уровнем молочной продуктивности за 305 дней завершённой лактации: 60 голов коров голштинской породы (СПК колхоз-племзавод «Казьминский», Кочубеевский муниципальный округ, Ставропольский край) и 53 головы красной степной породы (СПК «Племзавод Вторая Пятилетка», Ипатовский муниципальный округ, Ставропольский край), находящихся в условиях привязного содержания. Исходным материалом для выделения ДНК являлась кровь, отобранная из хвостовой вены в вакуумные пробирки типа S-Monovette® производства SARSTEDT (Германия) с антикоагулянтом ЭДТА. Метод выделения ДНК, основанный на использовании набор реагентов «DIAtomtmDNAPrep» (IsoGeneLab, Россия), который включает лизирующий реагент с гуанидинтиоцианатом, сорбент NucleoS и спиртовой раствор для отмывки ДНК от белков и солей. Концентрация ДНК проверялась при спектрофотометрическом измерении на приборе спектрофотометр Nano-500 (Allsheng, Китай). Амплификация фрагмента ДНК осуществлялась на программируемом термоциклере «Терцик» компании «ДНК-технология» (Россия), оснащенном че-

тырьмя каналами. Для проведения ПЦР применялись наборы «GenePakPCRCore», (IsoGeneLab, Россия). Объем реакционной смеси, включающей прямой (F: 5'-ata-gcc-aaa-tat-atc-cca-att-cag-3') и обратный (R: 5'-ttt-att-aat-aag-tcc-atg-aat-ctt-3') праймеры, составил 20 мкл. Олигонуклеотиды (праймеры) подобраны исходя из данных о нуклеотидной последовательности гена CSN3, доступных в базе GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>). Наиболее распространенные варианты аллелей CSN3A и CSN3B, отличаются заменой аминокислот (Thr→Ile и Asp→Ala) в позициях 136 и 148 [10]. Для идентификации аллельных вариантов гена каппа-казеин ПЦР продукты обрабатывали рестрикционным ферментом HindIII. Результаты ПЦР-ПДРФ анализировались с помощью электрофореза в агарозном геле, с последующей визуализацией амплифицированных фрагментов под ультрафиолетовым светом. Сравнение длины полученных фрагментов рестрикции с маркером молекулярных масс (M50 GenePakDNAMarkers) позволили определить генотипы образцов. Полученные экспериментальные данные проанализированы и сопоставлены между собой, подвергнуты биометрической обработке с использованием метода Харди-Вайнберга и метода χ^2 по Н.А. Плохинскому (1969)

[11] и Л.В. Ольховской (2007) [12] в компьютерной программе Microsoft Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ/RESULTS

Анализ результатов ДНК-генотипирования исследуемого поголовья молочного скота показал, что полиморфизм гена каппа-казеин, в обеих выборках животных (голландская и красная степная породы) представлен двумя аллелями: $CSN3^A$ и $CSN3^B$ с разной частотой встречаемости.

В группе коров голландской породы ($n = 60$) частота встречаемости аллеля $CSN3^A$ была 0,67, а желательного $CSN3^B$ аллеля в два раза ниже – 0,33 (рисунок 1). В исследуемой выборке коров красной степной породы отмечена аналогичная ситуация, поскольку чаще (0,78) встречался $CSN3^A$ аллель, реже (0,22) – желательный $CSN3^B$, что нашло отражение в частоте встречаемости гомозиготных ($CSN3^{AA}$, $CSN3^{BB}$) и гетерозиготного ($CSN3^{AB}$) вариантов генотипов.

Выявлено 32 гомозиготные коровы голландской породы (26 коров – с $CSN3^{AA}$ и 6 – с $CSN3^{BB}$ генотипом), тогда как 28 особей было носителями гетерозиготного $CSN3^{AB}$ генотипа. При этом частота встречаемости генотипов составила: $CSN3^{AA}$ – 43,3 %, $CSN3^{AB}$ – 46,7 %, $CSN3^{BB}$ – 10,0 % (рисунок 2).

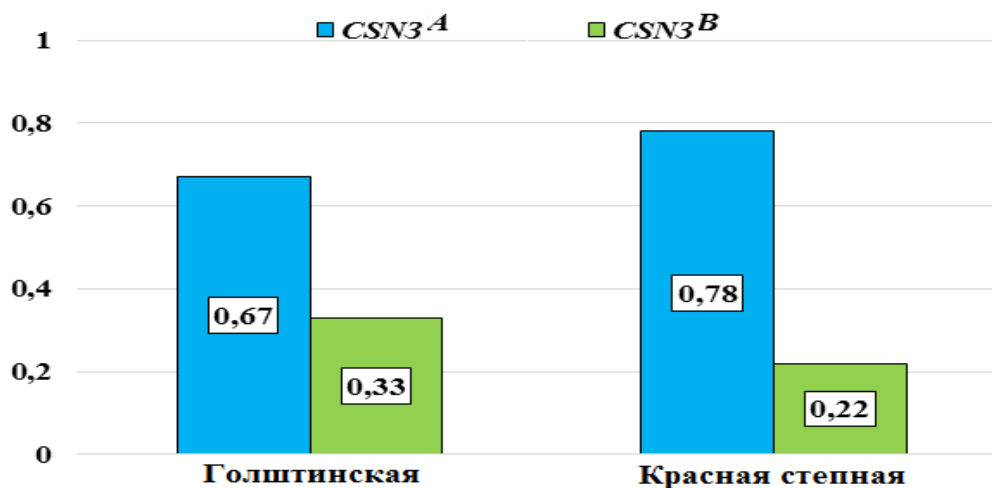


Рисунок 1 – Частота встречаемости аллелей гена каппа-казеина ($CSN3$).

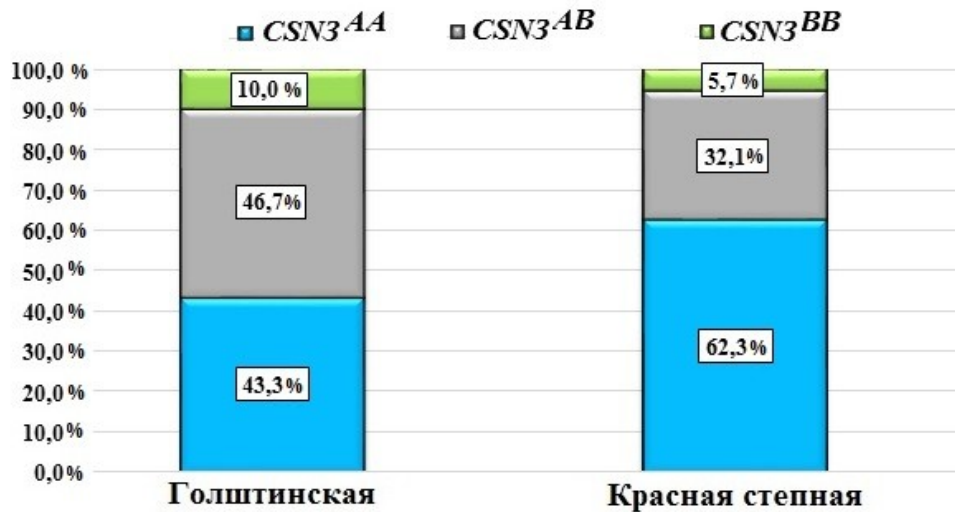


Рисунок 2 – Частота встречаемости генотипов гена каппа-казеина ($CSN3$), %.

Таблица 1– Генетическая структура гена $CSN3$ в выборках коров разных пород

Показатель	Распределение	
	фактическое	теоретическое
Голштинская порода, (n = 60)		
Гетерозиготы	28,0	26,67
Гомозиготы	32,0	33,67
Тест гетерозиготности, ТГ	+ 0,075	
Степень гомозиготности, Са, %	55,56	
Уровень полиморфности, Na	1,80	
Доля гомозигот, %	53,3	
χ^2	0,150	
Красная степная порода, (n = 53)		
Гетерозиготы	17,0	18,01
Гомозиготы	36,0	34,50
Тест гетерозиготности, ТГ	- 0,043	
Степень гомозиготности, Са, %	66,02	
Уровень полиморфности, Na	1,51	
Доля гомозигот, %	67,92	
χ^2	0,167	

Наибольшая концентрация аллеля $CSN3^A$ (0,78) гена $CSN3$ в исследуемой выборке коров красной степной породы обеспечила 62,2 % или 33 животных-носителей гомозиготного $CSN3^{AA}$ варианта и 32,1 % или 17 особей, несущих в своём геноме гетерозиготный $CSN3^{AB}$ генотип. Частота желательного гомозиготного $CSN3^{BB}$ генотипа составила 5,7 % (3 коро-

вы).

Полученные данные согласуются с исследованиями, проведёнными Е.В. Гатиловой, Л.В. Ефимовой, О.В. Ивановой в 2020 году на пяти молочных породах: голштинской (n = 1525); чёрно-пёстрой (n = 1154); симментальской (n = 1066); холмогорской (n = 358); красной степной (n = 309). В работе авторов отмечено, что ча-

стота аллельного $CSN3^A$ варианта преобладала в 2,8 раза над $CSN3^B$ аллелью и, следовательно, что закономерным было преобладание особей носителей гомозиготного $CSN3^{AA}$ генотипа [4, 6].

Проведена оценка генетической структуры коров голштинской и красной степной пород в локусе гена каппа-казеина ($CSN3$), путём определения цифровых значений генетических констант, представленных в таблице 1.

Степень гомозиготности (C_a) в исследуемых выборках коров голштинской породы составила 55,56 %, а красной степной – 66,02 %, что свидетельствует о достаточно высокой степени консолидации стада. Соответственно, высокой была и доля гомозигот, составив – по голштинской породе – 53,3 %, красной степной – 67,92 %. Подтверждением выявленной ситуации оказался уровень полиморфности, то есть число эффективно действующих аллелей (N_a), которое в исследуемых выборках коров составило – 1,80 и 1,51.

Тест гетерозиготности (TG), свидетельствующий об уровне генетического раз-

нообразия популяции, у коров голштинской породы оказался положительным – (+0,075). В выборке коров красной степной данный показатель был отрицательным (-0,043), что стало свидетельством недостаточной степени гетерозиготности.

Статистический метод Харди-Вайнберга и метод χ^2 для выявления отклонений эмпирического распределения частот генотипов в локусе гена $CSN3$ (каппа-казеина) от теоретического показал, что в исследуемой группе коров голштинской и красной степной пород не имеется статистически достоверного сдвига генетического равновесия ни по одному из трёх генотипов. При сравнении фактического распределения генотипов с теоретически ожидаемым, нарушения генного равновесия не выявлено для выборок коров голштинской породы $\chi^2 = 0,150$, красной степной – $\chi^2 = 0,167$.

Проведена сравнительная оценка показателей молочной продуктивности коров разных пород в зависимости от аллельного спектра гена $CSN3$.



Рисунок 3 – Молочная продуктивность животных различных генотипов по гену каппа-казеина ($CSN3$), кг.

Отмечено, что животные голштинской породы с гомозиготным $CSN3^B$ генотипом гена $CSN3$ отличались наибольшим удоём за высшую завершённую лактацию – 8810,0 кг молока. Их превосходство над генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ по этому показателю составило 1007,0, и 638,0 кг молока. (рисунок 3).

Животные красной степной породы с генотипом $CSN3^{AA}$ превосходили по удою носителей генотипов $CSN3^{AB}$ и $CSN3^{BB}$ этой же породы на 235,0 и 419,0 кг молока. В исследованиях проведённых С.Л. Гридиной и И.В. Ткаченко на первотёлках голштинизированной черно-пестрой породы было отмечено, что наивысшим удоём (8005 кг молока) был в группе животных с гомозиготным $CSN3^{AA}$ генотипом, что согласуется с полученными нами данными по красной степной породе. Однако животные-носители гетерозиготного $CSN3^{AB}$ генотипа характеризовались минимальным (7187,0 кг) значением обильномолочности [13]. Однако в литературе встречаются данные о том, что молоко коров-носителей $CSN3^B$ аллеля, имеет лучшие технологические свойства [14,15,16].

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

В данном исследовании установлено, что наиболее распространённым генотипом гена $CSN3$ в группе коров голштинской породы является гетерозиготный генотип $CSN3^{AB}$ – 46,7, а в группе коров красной степной породы гомозиготный генотип $CSN3^{AA}$ – 62,3 %, частота встречаемости желательного гомозиготного $CSN3^{BB}$ генотипа была наименьшей и составила 10,0 и 5,7 %, соответственно. Лучшие результаты по удою отмечены у коров-носителей голштинской породы гомозиготного $CSN3^{BB}$ генотипа – 8810,0 кг молока. Для красной степной породы преимущество по удою установлено у животных-носителей гомозиготного $CSN3^{AA}$ генотипа – 4200,0 кг молока. Полученные результаты могут служить основой для дальнейшей работы как в области генетики, так и в селекции животных. Возможность увеличения молочной продуктивности за счёт целенаправленного

отбора животных с желаемыми генотипами открывает новые пути для оптимизации молочного производства и повышения его эффективности.

POLYMORPHISM OF THE KAPPA CASEIN ($CSN3$) GENE AND ITS RELATION TO MILK PRODUCTIVITY IN A SAMPLE OF HOLSTEIN AND RED STEPPE COWS

Gadzhiev Z.K. – Doctor of Biology, Chief Scientific Officer. Co-author, (ORCID 0000-0003-1966-7000); **Evlagina D.D.** – PhD. biol. sciences, sci. (ORCID 0000-0001-6101-7293); **Kovaleva G.P.** – Candidate of Agricultural Sciences, ved. ved. sci. Associate Professor (ORCID 0000-0002-6655-2225); **Surzhikova E.S.** – Candidate of Agricultural Sciences, ved. sci. Co-author, (ORCID 0000-0002-3955-0902); **Lapina M.N.** – PhD. biol. sciences, ved. sci. comp. (ORCID 0000-0002-7651-8450)

North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center

*gadzhiev70@yandex.ru

ABSTRACT

The state programs for the development of animal husbandry aim not only to increase the dairy productivity of cows, but also to improve the quality of milk. The development of molecular genetics of farm animals has created conditions for the search for key genes, the polymorphism of which makes a significant contribution to solving the problems of practical breeding. Among the many genes that determine milk productivity and milk quality, a group of genes can be identified that make the greatest contribution to the formation and functioning of this quantitative trait. These primarily include the kappa-casein ($CSN3$) gene. The aim of the work was to establish the polymorphism of the kappa-casein gene in Holstein and Red steppe cows and to identify the relationship between the genotypes and the dairy productivity of animals. The object of the study was cows of two breeds: Holstein ($n = 60$) and Red steppe ($n = 53$). Animal genotyping was performed by PCR- RFLP. It was found that the heterozygous $CSN3^B$ genotype was the

most common CSN3 gene in the group of Holstein cows – 46.7 %, while the homozygous CSN3AA genotype was the most common in the group of red steppe cows – 62.3 %, and the frequency of occurrence of the desired homozygous CSN3B variant was the lowest, amounting to 10.0 and 5.7 %, respectively. The best milk yield results (8810.0 kg of milk) were observed in Holstein cows carrying homozygous CSN3B genotype. In the sample of cows of the red steppe breed, the milk yield advantage was found in animals carrying homozygous CSN3AA genotype – 4200.0 kg of milk. Consequently, research shows that understanding how different genetic variants of marker genes affect milk productivity and quality will further allow us to form long-term strategies for both an individual farm and the industry as a whole

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год). [Электронный ресурс]. Дата обращения: 09.01.2025.
2. Сарычев В.А. Экономическая эффективность производства молока от коров с разным генотипом каппа-казеина (CSN3) // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2. – С. 50-53.
3. Чинова Л.Н., Суржикова Е.С., Михайленко Т.Н. Оценка генетического потенциала молодняка молочного скота по маркерным генам CSN3, GH, PIT-1, PRL // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 6. – С. 40-46.
4. Полиморфизм генов бета-казеина (CSN2) и каппа-казеина (CSN3) у крупного рогатого скота молочного направления продуктивности (обзор) / Л.В. Кононова, Д.Д. Евлагина, Г.П. Ковалева и др. // Главный зоотехник. – 2024. – № 10(255). – С. 38-53. – DOI 10.33920/sel-03-2410-04.
5. Оценка коров-первотёлок чёрнопёстрой породы по ДНК-маркерам, ассоциированных с хозяйственно-полезными признаками / З.К. Гаджиев, Е.С. Суржикова, Д.Д. Евлагина и др. // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 61-3. – С. 29-36. – DOI 10.54258/20701047_2024_61_3_29.
6. Гатилова Е.В., Ефимова Л.В., Иванова О.В. Встречаемость генотипов каппа-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров разных пород // Вестник АПК Ставрополя. – 2020. – № 4(40). – С. 42-47. – DOI 10.31279/2222-9345-2020-9-40-42-47.
7. Oghate E.B., Adetunb A.J., Olawale J O. Association of kappa-casein genotype and the linear parameter in two indigenous bos indicus and bos taurus cattle in Nigeria. – 2020. – V. 1(1) – P.12-22. – DOI:10.52417/ojas.v1i1.89.
8. Подречнева И.Ю., Щеголев О.П., Белокуров С.Г. Аллельный полиморфизм генов CSN3 и CSN2 у быков-производителей молочных пород. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 5. – С. 109-113.
9. Возможности селекции крупного рогатого скота по локусам CSN2 и CSN3 / Н.В. Ковалюк, В.Ф. Сацук, Е.В. Мачульская и др. // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 6. – С. 9-11.
10. Плохинский Н.А. Биометрия в животноводстве / Москва: Колос, 1969. 326 с.
11. Ольховская Л.В., Абонеев В.В. Биохимический полиморфизм в селекции коз: Монография. – Ставрополь, 2007. – 190 с.
12. Влияние комплексных генотипов генов каппа-казеин (CSN3) и бета-лактоглобулин (LGB) на молочную продуктивность голштинского скота / Н.Ю. Сафина, Э.Р. Гайнутдинова, Ф.Ф. Зиннатова и др. // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 5. – С. 64-67. – DOI 10.28983/asj.y2020i5pp64-67.
13. Гридина С.Л., Ткаченко И.В. Генотипирование крупного рогатого скота племенных предприятий Свердловской области по гену каппа-казеина // АПК России. – 2016. – Т. 23, № 2. – С. 273-277.
14. Лоретц О. Г., Матушкина Е.В. Влияние генотипа каппа-казеина на технологические свойства молока // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 3(121). – С. 23-26.

15. Часовщикова, М. А. Химический состав и выход сыра из молока коров с разными генотипами каппа-казеина // Биотехнологические аспекты управления технологиями пищевых продуктов в условиях международной конкуренции: Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курган, 19 марта 2019 года / Под общей редакцией С.Ф. Сухановой. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2019. – С. 251-254.

16. Иванов В.А., Марзанов Н.С., Елисеева Л.И., Таджиев К.П., Марзанова С.Н. Генотипы пород крупного рогатого скота и качество молока // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2017. – № 3. – С. 48-65.

REFERENCES

1. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation (2023). [electronic resource]. Date of reference: 01/09/2025.

2. Sarychev V.A. Economic efficiency of milk production from cows with different genotypes of kappa casein (CSN3) // Bulletin of Youth Science of the Altai State Agrarian University. - 2023. – No. 2. – pp. 50-53.

3. Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Mikhailenko T.N. Assessment of the genetic potential of young dairy cattle by marker genes CSN3, GH, PIT-1, PRL // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy, 2020, No. 6, pp. 40-46.

4. Polymorphism of beta-casein (CSN2) and kappa-casein (CSN3) genes in dairy cattle (review) / L.V. Kononova, D.D. Evlagina, G.P. Kovaleva et al. // Chief Animal Technician. – 2024. – № 10(255). – Pp. 38-53. – DOI 10.33920/sel-03-2410-04.

5. Assessment of the first-born cows of the black-and-white breed by DNA markers associated with economically useful traits / Z.K. Gadzhiev, E.S. Surzhikova, D.D. Evlagina, and others // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrariya universiteta. – 2024. – Vol. 61-3. – pp. 29-36. – DOI 10.54258/20701047_2024_61_3_29.

6. Gatilova E.V., Efimova L.V., Ivanova O.V. The occurrence of kappa casein genotypes and their effect on dairy productivity of cows of different breeds // Bulletin of the Agroindustrial Complex of Stavropol. – 2020. – № 4(40). – Pp. 42-47. – DOI 10.31279/2222-9345-2020-9-40-42-47.

7. Oghate E.B., Adetunb A.J., Olawale J O. Association of kappa-casein genotype and the linear parameter in two indigenous bos indicus and bos taurus cattle in Nigeria. – 2020. – V. 1(1) – P.12-22. – DOI:10.52417/ojas.v1i1.89.

8. Podrechnaya I.Yu., Shchegolev O.P., Belokurov S.G. Allelic polymorphism of the CSN3 and CSN2 genes in dairy bulls. // International Scientific Research Journal, 2020, No. 5, pp. 109-113.

9. Breeding possibilities of cattle by CSN2 and CSN3 loci / N.V. Kovalyuk, V.F. Satsuk, E.V. Machulskaya et al. // Dairy and beef cattle breeding. – 2019. – No. 6. – pp. 9-11.

10. Plokhinsky N.A. Biometrics in animal husbandry / Moscow: Kolos Publ., 1969. 326 p. (in Russian)

11. Olkhovskaya L.V., Aboneev V.V. Biochemical polymorphism in goat breeding: Monograph. Stavropol, 2007. 190 p. (in Russian)

12. Influence of complex genotypes of kappa-casein (CSN3) and beta genes-lactoglobulin (LGB) on dairy productivity of Holstein cattle / N.Yu. Safina, E.R. Gainutdinova, F.F. Zinnatova et al. // Agrarian Scientific Journal. – 2020. – No. 5. – pp. 64-67. – DOI 10.28983/asj.y2020i5pp64-67.

13. Gridina S.L., Tkachenko I.V. Genotyping of cattle breeding enterprises of the Sverdlovsk region by the kappa-casein gene // Agroindustrial Complex of Russia. 2016. Vol. 23, No. 2. pp. 273-277.

14. Loretz O. G., Matushkina E.V. The influence of the kappa-casein genotype on the technological properties of milk // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2014. – № 3(121). – Pp. 23-26.

15. Chasovshchikova, M. A. Chemical composition and yield of cheese from milk of cows with different kappa-casein genotypes // Biotechnological aspects of food

technology management in conditions of international competition: A collection of articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Kurgan, March 19, 2019 / Under the general editorship of S.F. Sukhanova. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev, 2019, pp. 251-254.

16. Ivanov V.A., Marzanov N.S., Eliseeva L.I., Tajiev K.P., Marzanova S.N. Genotypes of cattle breeds and milk quality // Problems of biology of productive animals. - 2017. – No. 3. – pp. 48-65.