

УДК: 636.2.034

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113

С.А. Олейник ✉

А.В. Лесняк

Ставропольский государственный
аграрный университет, Ставрополь,
Россия

✉ Soliynik60@gmail.com

Поступила в редакцию: 25.03.2025

Одобрена после рецензирования: 10.06.2025

Принята к публикации: 25.06.2025

© Олейник С.А., Лесняк А.В.

Полиморфизм гена бета-казеина у крупного рогатого скота джерсейской породы в Ставропольском крае

РЕЗЮМЕ

Изучение полиморфизма генов, влияющих на состав и свойства молока, имеет важное значение для молочного скотоводства. Ген CASB, кодирующий бета-казеин, привлекает особое внимание в связи с предполагаемым влиянием его аллельных вариантов на здоровье человека и технологические свойства молока. В настоящей работе исследован полиморфизм гена CASB у коров джерсейской породы ($n = 361$) в Ставропольском крае. Анализ ДНК проводили методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени, в результате чего выявлены два аллеля — A1 (CASB^A) и A2 (CASB^C). Установлено преобладание аллеля A2 (0,61) над аллелем A1 (0,39). Обнаружены три генотипа: A1A1, A2A1 и A2A2. Наиболее распространенный генотип A2A1 был обнаружен у 278 животных. Наблюдаемое распределение генотипов статистически значимо отличается от ожидаемого по закону Харди — Вайнберга ($\chi^2 = 137,77$, $p < 0,001$) за счет существенного избытка гетерозигот A2A1 (наблюдаемая гетерозиготность 0,7695, ожидаемая — 0,4760). Генотип A1A1 встречается крайне редко (2 особи). Предполагается, что наблюдаемая генетическая структура популяции является следствием целенаправленной селекции, в частности использования быков-производителей с генотипами A2A2 и A2A1. Установлено, что коровы с генотипом A1A1 имели более высокий выход белка на 100 кг живой массы по сравнению с коровами с генотипом A2A2 и A2A1 ($p < 0,05$). По другим показателям молочной продуктивности (удой за сутки, выходу жира, суммарному выходу жира и белка) статистически значимых различий между генотипами не обнаружено. Полученные результаты важны для понимания генетической структуры популяции джерсейского скота для оценки перспектив селекции по гену бета-казеина.

Ключевые слова: джерсейская порода, бета-казеин, полиморфизм, молочная продуктивность, селекция, генотип, наследуемость

Для цитирования: Олейник С.А., Лесняк А.В. Полиморфизм гена бета-казеина у крупного рогатого скота джерсейской породы в Ставропольском крае. *Аграрная наука*. 2025; 396(07): 107–113.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113

Sergey A. Oleinik ✉

Artem V. Lesnyak

Stavropol State Agrarian University,
Stavropol, Russia

✉ Soliynik60@gmail.com

Received by the editorial office: 25.03.2025

Accepted in revised: 10.06.2025

Accepted for publication: 25.06.2025

© Oleinik S.A., Lesnyak A.V.

Beta-casein gene polymorphism in Jersey cattle in the Stavropol region

ABSTRACT

The study of polymorphisms in genes affecting milk composition and properties is of significant importance for dairy cattle breeding. The CSN2 (CASB) gene, encoding beta-casein, attracts particular attention due to the suggested influence of its allelic variants on human health and the technological properties of milk. This study investigated the polymorphism of the CSN2 gene in Jersey cows ($n = 361$) in the Stavropol region. DNA analysis was performed using real-time polymerase chain reaction (PCR), which revealed two alleles — A1 (CASB^A) and A2 (CASB^C). The A2 allele was found to be predominant (0.61) over the A1 allele (0.39). Three genotypes were detected: A1A1, A2A1, and A2A2. The most common genotype was A2A1, found in 278 animals. The observed genotype distribution differed significantly from that expected under Hardy — Weinberg equilibrium ($\chi^2 = 137.77$, $p < 0.001$) due to a substantial excess of A1A2 heterozygotes (observed heterozygosity 0.7695, expected 0.4760). The A1A1 genotype was extremely rare (2 individuals). This observed genetic structure is a direct consequence of the ongoing breeding program aimed at increasing the frequency of the A2 allele in the herd. Cows with the A1A1 genotype had a significantly higher milk protein yield per 100 kg of live weight compared to cows with the A2A2 and A2A1 genotypes ($p < 0.05$). No statistically significant differences between genotypes were found for other milk production traits (daily milk yield, milk fat yield, total milk fat and protein yield). The obtained results are important for understanding the genetic structure of the Jersey cattle population and for evaluating the prospects of selection based on the beta-casein gene.

Key words: Jersey breed, beta-casein, polymorphism, milk production, breeding, genotype, heritability

For citation: Oleinik S.A., Lesnyak A.V. Beta-casein gene polymorphism in Jersey cattle in the Stavropol region. *Agrarian science*. 2025; 396(07): 107–113 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113>

Введение/Introduction

Молочное скотоводство играет ключевую роль в обеспечении населения планеты высококачественными продуктами питания. Среди различных пород крупного рогатого скота джерсейская порода занимает особое место благодаря уникальным характеристикам своего молока. Оно отличается высоким содержанием жира и белка, а также превосходными технологическими свойствами, делающими его особенно ценным для производства сыра и других молочных продуктов [1, 2].

Качество молока и его состав определяют множеством факторов, включая генетические особенности животных. Несколько генов, кодирующих молочные белки, привлекают особое внимание селекционеров. Одним из таких генов является ген бета-казеина, совместно с которым активно изучается полиморфизм гена каппа-казеина, особенно в контексте сыроделия и технологических свойств молока [3, 4].

Исследования обоих генов необходимы для комплексного понимания генетического потенциала пород.

Бета-казеин — один из основных белков казеиновой фракции молока, составляющий около 30–40% от общего количества казеинов [5]. Ген CASB локализован на 6-й хромосоме крупного рогатого скота (BTA6 q24). Он входит в состав кластера генов казеинов, который включает гены альфа-S1-казеина (CSN1S1), альфа-S2-казеина (CSN1S2) и каппа-казеина (CSN3). Эти гены тесно сцеплены и расположены в следующем порядке: CSN1S1 — CSN1S2 — CASB — CSN3. Такое тесное расположение генов казеинов, вероятно, является результатом tandemных дупликаций в процессе эволюции. Размер гена CASB составляет около 8500–9000 пар оснований. Ген CASB характеризуется значительным полиморфизмом, то есть наличием нескольких аллельных вариантов. Наиболее изученными и распространенными являются аллели A1 и A2, различающиеся одной аминокислотной заменой в положении 67 белковой цепи: гистидин у A1 и пролин у A2 [6–9].

В последние годы полиморфизм гена CASB привлекает повышенное внимание исследователей и производителей молока в связи с предполагаемым влиянием различных аллелей на здоровье человека. Существует гипотеза, что при переваривании β -казеина A1 в желудочно-кишечном тракте образуется пептид бета-казоморфин-7 (BCM-7), который может оказывать негативное воздействие на организм, в то время как β -казеин A2 считается более безопасным и легче усваиваемым [10, 11]. Хотя эти данные до сих пор являются предметом дискуссий и требуют дальнейшего

изучения, многие потребители отдают предпочтение молоку, содержащему преимущественно β -казеин A2.

Кроме потенциального влияния на здоровье человека, полиморфизм гена CASB может быть связан с продуктивными качествами животных и технологическими свойствами молока. Ряд исследований указывают на возможную связь определенных генотипов CASB с удоем, содержанием жира и белка в молоке, а также с сыропригодностью и другими характеристиками [12, 13].

Несмотря на широкую известность джерсейской породы, данных о полиморфизме гена CASB у этого скота в России недостаточно. Исследования, проведенные в других странах и на других породах крупного рогатого скота, демонстрируют значительную вариабельность частот аллелей и генотипов CASB в зависимости от породы, региона и селекционных программ [14–16].

Цель исследования — изучение полиморфизма гена бета-казеина (CASB) у крупного рогатого скота джерсейской породы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объектом исследования были коровы-первотелки джерсейской породы ($n = 361$) по результатам их первой законченной лактации (305 дней), принадлежащие племенному репродуктору Ставропольского края. Использование данных только по первой лактации позволило обеспечить однородность выборки и исключить влияние возраста на продуктивные показатели. Исследования проводили в течение 2024 г.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета ЕС от 22 сентября 2010 года № 2010/63/ЕС о защите животных, использующихся для научных целей¹, и принципов обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ².

Отбор проб молока-сырья проводили индивидуально от каждой коровы во время контрольных доений специалистами племенного репродуктора совместно с Ассистентской службой ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» (госрегистрация в племенном регистре РФ № 262704901000, свидетельство о регистрации в государственном племенном регистре серия ПЖ 77 № 010821) в соответствии с ГОСТ Р ИСО 707-2010³ и Рекомендацией Коллегии ЕЭК от 21 ноября 2023 года № 34⁴.

Данные по молочной продуктивности (суточный удой, содержание жира и белка в молоке) рассчитывали как среднее значение по результатам ежемесячных контрольных доек.

¹ https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

² Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

³ ГОСТ Р ИСО 707-2010 Молоко и молочные продукты. Руководство по отбору проб.

⁴ Рекомендация Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21 ноября 2023 года № 34 «Об унифицированных подходах к учету молочной продуктивности и проведению лабораторного контроля качества молока крупного рогатого скота молочного направления продуктивности».

Анализ качественных показателей молока (содержания жира и белка, %) проводили в Лаборатории селекционного контроля качества молока ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» (госрегистрация в племенном регистре РФ № 262704801000, свидетельство о регистрации в государственном племенном регистре серия ПЖ 77 № 011667) в соответствии с ГОСТ 32255-2013⁵.

Живую массу исследуемых коров определяли в соответствии с ГОСТ Р 57878-2017⁶ в середине первой лактации (на 150-й $\pm$ 15 день).

Для оценки продуктивной эффективности рассчитывали относительный выход молочных компонентов (жира, белка, а также их суммы) за 305 дней лактации на 100 кг живой массы. Данный подход, нормализующий продуктивность по живой массе, является общепринятым в селекции на повышение экономической эффективности [17, 18].

В научной литературе используют аналогичные метрики, в частности выход молока на единицу метаболической массы ($\text{кг ECM} / \text{кг BW}^{0.75}$) [19] и расчеты энергетического баланса, включающие соотношение $\text{BW}/100$ [20].

Забор цельной крови у исследуемого поголовья коров проводили из яремной вены в вакуумные пробирки с антикоагулянтом ЭДТА с сентября по октябрь 2024 года.

Генетические исследования выполняли в Лаборатории молекулярно-генетической экспертизы ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» (госрегистрация в племенном регистре РФ № 262704803000, свидетельство о регистрации в государственном племенном регистре серия ПЖ 77 № 010649).

Выделение ДНК из отобранной цельной крови проводили согласно протоколу к коммерческому набору «М-Сорб-Кровь» (ООО «НПФ «Синтол», Россия).

Полиморфизм аллелей в гене бета-казеина определяли методом ПЦР в реальном времени согласно протоколу к набору реагентов для определения полиморфизма Pro67His гена бета-казеина CASB у крупного рогатого скота (ООО «НПФ «Синтол», Россия).

Фланкирующая последовательность, указанная в протоколе набора: 5'-ACAGTCTCTAGTCTATCCCTTCCCTGGGCCATCC[C/A]TAACAGCCTCCCACAAAAATCCCTCCTC-3'. Соответствие генотипов: генотип C/C соответствует аллельному варианту A2A2, генотип C/A — A2A1, генотип A/A — A1A1.

Амплификацию проводили на приборе для ПЦР в реальном времени Rotor-Gene Q (QIAGEN, Германия) со следующими параметрами термочиклирования: денатурация 94 — 3 мин.; цикл 1: 94 — 20 сек., 58 — 20 сек., 61 — 30 сек., без детекции, 10 повторов; цикл 2: 94 — 20 сек., 58 — 20 сек., 61 — 30 сек. (с детекцией по каналам green и yellow), 30 повторов.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel (США). Для сравнения средних значений показателей молочной продуктивности между группами генотипов использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ результатов генотипирования выявил, что у коров джерсейской породы полиморфизм генов бета-казеина (CASB) представлен двумя аллелями — CASB^A и CASB^C.

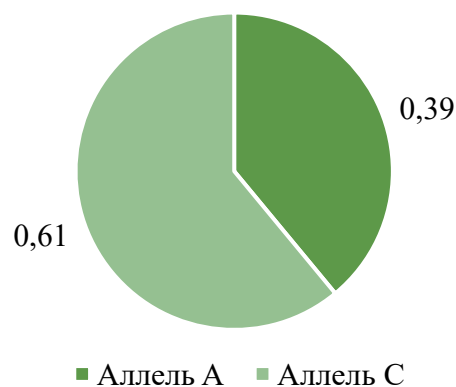
Частота встречаемости аллелей CASB^A, CASB^C составила 0,39 и 0,61 соответственно (рис. 1).

Высокая частота встречаемости генотипов C/A (A2A1) и C/C (A2A2) по гену бета-казеина (CASB) у коров джерсейской породы предположительно связана с проводимой в хозяйстве направленной селекцией. Так, для получения животных в исследуемой выборке было использовано семя. В хозяйстве активно используется семя от 23 быков-производителей с генотипами A2A2 (в 65,2% случаев), A2A1 (в 8,7% случаев) и неизвестным по гену бета-казеина (в 26,1% случаев). Такая селекционная стратегия приводит к искусственному увеличению доли аллеля A2 в популяции и, как следствие, преобладанию генотипов, содержащих этот аллель (A2A2 и A2A1).

Минимальное количество животных с генотипом A1A1 (всего 2 особи) является закономерным результатом этой селекционной политики, поскольку аллель A1 практически не вносится в популяцию с генетическим материалом быков-производителей. Таким образом, наблюдаемая генетическая структура популяции является отражением целенаправленного отбора,

Рис. 1. Распределение частоты встречаемости аллельных вариантов гена бета-казеина

Fig. 1. Frequency distribution of beta-casein gene allelic variants



⁵ ГОСТ 32255-2013 Молоко и молочные продукты. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора.

⁶ ГОСТ Р 57878-2017 Животные племенные сельскохозяйственные. Методы определения параметров продуктивности крупного рогатого скота, молочного и комбинированного направлений.

ориентированного на увеличение доли животных, несущих аллель A2 бета-казеина.

На основе полученных данных была дана оценка генетической структуры изучаемого поголовья коров джерсейской породы (табл. 1).

Наблюдаемая гетерозиготность, представляющая собой долю гетерозиготных особей в выборке, составила 0,7695, ожидаемая гетерозиготность, рассчитанная на основе частот аллелей, — 0,4760.

Сравнение H_o и H_e показало значительный избыток гетерозигот в исследуемой выборке по сравнению с ожидаемым при равновесии Харди — Вайнберга. Статистическая значимость этого отклонения была подтверждена с помощью критерия χ^2 , который показал высокое значение ($\chi^2 = 137,77$, $df = 1$, $p < 0,001$).

Для дополнительной характеристики отклонения от ожидаемой гетерозиготности был рассчитан коэффициент инбридинга (Fis) -0,6166. Отрицательное значение Fis указывает на избыток гетерозигот в популяции.

Для оценки влияния полиморфизма гена CASB на продуктивные качества был проведен сравнительный анализ. Анализ абсолютных показателей, таких как средний суточный удой, не выявил статистически значимых различий между животными с разными генотипами. Однако при оценке эффективности производства молока, рассчитанной как выход молочных компонентов на 100 кг живой массы, были обнаружены достоверные различия (табл. 2).

Анализ связи генотипов CASB с показателями продуктивности, нормализованными по живой массе, выявил статистически значимые различия ($p < 0,05$) по эффективности синтеза молочного белка. Наиболее высокий показатель отмечен у коров с редким генотипом A1A1 (65,40 кг) по сравнению с коровами с генотипами A2A1 (63,87 кг) и A2A2 (61,40 кг) ($p < 0,05$). Разница составила 1,53 кг (2,4%) и 4,00 кг (6,5%) соответственно. В свою очередь, коровы с генотипом A1A2 показали достоверно более высокий выход белка по сравнению с коровами генотипа A2A2 ($p < 0,05$). Таким образом, в исследуемой выборке наблюдали четкую градацию по эффективности синтеза молочного белка относительно размеров животного.

Таблица 2. Молочная продуктивность в связи с генотипами гена бета-казеина

Table 2. Milk production in relation to beta-casein gene genotypes

Показатель	Генотипы		
	A/A	C/A	C/C
Средний удой за сутки, кг	22,03 ± 1,02	21,88 ± 0,15	21,53 ± 0,26
Показатели эффективности молочной продуктивности за лактацию (305 дней):			
выход жира на 100 кг живой массы, кг	94,04 ± 9,83	84,93 ± 0,61	84,26 ± 1,12
выход белка на 100 кг живой массы, кг	65,40 ± 0,20*	63,87 ± 0,43*	61,40 ± 0,69*
суммарный выход жира и белка на 100 кг живой массы, кг	159,49 ± 9,63	148,81 ± 0,99	145,67 ± 1,69

Примечание: * различия между генотипами A/A (A1A1), C/A (A2A1) и C/C (A2A2) статистически значимы при $p < 0,05$. Значения представлены как среднее ± стандартная ошибка среднего ($M \pm SEM$).

Таблица 1. Генетическая структура коров джерсейской породы по гену бета-казеина

Table 1. Genetic structure of Jersey cows by beta-casein gene

Ген	Генотип	Количество животных (n)	H_o	H_e	Хи-квадрат (χ^2)	Fis
CASB	A/A	2	0,7695	0,4760	137,77	-0,6166
	C/A	278				
	C/C	81				

Примечание: H_o — наблюдаемая гетерозиготность, H_e — ожидаемая гетерозиготность, Fis — коэффициент инбридинга.

Необходимо отметить, что вывод о преимуществе генотипа A/A (A1A1) по выходу белка в данном исследовании является предварительным, так как основан всего на двух животных. Этот результат требует подтверждения на большей выборке. В то же время, несмотря на отсутствие статистической значимости, наблюдаемые различия в выходе жира (9,11–9,78 кг) и суммарном выходе жира и белка (10,48–13,82 кг) между генотипом A/A и другими генотипами могут иметь практическое значение, заключающееся в возможном побочном эффекте селекции, при котором целенаправленная элиминация аллеля A1 ради получения молока типа A2 может быть сопряжена со снижением генетического потенциала эффективности производства. Увеличение выборки животных с генотипом A/A, вероятно, позволит выявить статистическую достоверность этих различий, что требует дальнейшего изучения. Необходимы дальнейшие исследования с большей выборкой животных.

Важно учитывать, что генотип A1A1 в исследованной группе животных встречается крайне редко, что ограничивает практическую значимость этого результата на данный момент. Эти данные частично отличаются от результатов, полученных при изучении джерсейского скота в Индии [16]. В исследовании индийских ученых было установлено, что генотип A2A2 ассоциирован со статистически значимо более высоким содержанием жира и белка в молоке. В то же время аллель A1 (в генотипе A1A2) был связан с более высоким удоем и выходом белка, что в целом согласуется с наблюдениями авторов о преимуществе генотипа A1A1 по относительному выходу белка.

Различия в результатах, вероятно, объясняют как особенностями исследуемых популяций и разными селекционными программами, так и разными методиками оценки. Например, в данном исследовании оценивали относительный выход компонентов на 100 кг живой массы, тогда как в работе [16] анализировали абсолютные показатели.

В ряде исследований на других породах (холмогорской [10], красно-пестрой [13]) были выявлены частичные статистически значимые связи между генотипами CASB и содержанием белка в молоке. В исследовании на черно-пестрой породе [11] у коров

с генотипом A2A1 наблюдали тенденцию к более высокому удою, однако эти различия не были статистически значимыми.

Таким образом, результаты проведенного анализа свидетельствуют о существенном и статистически значимом отклонении наблюдаемого распределения генотипов от ожидаемого по закону Харди — Вайнберга, а именно о значительном избытке гетерозигот ($H_o = 0,7695$) по сравнению с ожидаемым значением ($H_e = 0,4760$). Наблюдаемый значительный избыток гетерозигот ($H_o = 0,7695$) и дефицит гомозигот A1A1 не является следствием естественных процессов, таких как сверхдоминирование, а напрямую объясняется проводимой в хозяйстве селекционной программой.

Использование семени быков-производителей с генотипом A2A2 на маточном поголовье, в котором всё еще присутствует аллель A1, закономерно приводит к рождению большого числа гетерозиготных потомков (A2A1) и резкому снижению числа гомозигот A1A1. Отрицательный коэффициент инбридинга ($F_{is} = -0,6166$) в данном случае является не показателем преимущества гетерозигот, а математическим отражением такой направленной неслучайной системы скрещиваний.

В ходе исследования было установлено, что в изученной популяции джерсейского скота частота аллеля A2 (0,61) превышает частоту аллеля A1 (0,39). Это согласуется с полученными данными при изучении джерсейского скота в Индии [16]. В их исследовании преобладал аллель A2 (0,69), а частота аллеля A1 составляла всего 0,31.

Сравнение с другими породами крупного рогатого скота показывает высокую вариабельность в частотах аллелей CASB. Например, согласно результатам исследования Л.А. Калашниковой *с соавт.* (2021 г.), у холмогорского скота наблюдается схожая картина с преобладанием аллеля A2 (0,62). По данным Н.А. Худяковой *с соавт.* (2023 г.), у ярославской породы чаще встречается аллель A2. Данные по голштинской породе более противоречивы, но в некоторых популяциях отмечается преобладание A1 (М.А. Парамонова, 2023 г.). При изучении бурой швицкой породы Л.А. Калашникова *с соавт.* (2022 г.) обнаружили высокую частоту встречаемости аллеля A2 (0,69–0,71) в отечественной селекции, а в зарубежной — до 0,92. Однако межпородные и внутривидовые различия в частотах аллелей могут быть следствием как особенностей происхождения и селекции, так и случайных генетических процессов (дрейфа генов).

Другой важной особенностью является значительное отклонение распределения генотипов от равновесия Харди — Вайнберга. В исследованной популяции джерсейского скота наблюдали существенный избыток гетерозигот A1A2 (76,95%)

по сравнению с теоретически ожидаемым значением (47,60%). В отличие от данных результатов, у авторов, изучавших другие породы по полиморфизму гена бета-казеина, распределение генотипов соответствовало равновесию [6–8, 10].

Наблюдаемый избыток гетерозиготного генотипа A1A2 и практически полное отсутствие гомозиготного генотипа A1A1 являются прямым и ожидаемым следствием целенаправленной селекционно-племенной работы, проводимой в хозяйстве. Активное использование семени быков-производителей с генотипом A2A2 на маточном поголовье, в котором всё еще циркулирует аллель A1, закономерно приводит к рождению большого количества гетерозиготных потомков.

Таким образом, крайне низкое количество животных с генотипом A1A1 ($n = 2$) — это не косвенный признак, а непосредственный результат реализуемой селекционной стратегии, направленной на насыщение стада желательным аллелем A2 (Л.А. Калашникова *с соавт.*, 2022 г.; А.И. Голубков *с соавт.*, 2023 г.).

Выводы/Conclusions

Генетическая структура исследуемой популяции джерсейской породы в Ставропольском крае сформирована под воздействием целенаправленной селекции, что подтверждается преобладанием аллеля A2 (0,61) над аллелем A1 (0,39) и значительным отклонением от равновесия Харди — Вайнберга ($\chi^2 = 137,77$; $p < 0,001$). Это отклонение выражается в резком избытке гетерозиготных животных A1A2 (наблюдаемая частота 0,7695 против ожидаемой 0,4760) и крайне низкой встречаемости гомозигот A1A1 (2 особи из 361), что является прямым следствием использования A2-быков в стаде.

Анализ связи генотипов с продуктивными качествами выявил ключевой селекционный компромисс (trade-off). Животные с редким генотипом A1A1, который целенаправленно элиминируется из популяции, продемонстрировали статистически значимо ($p < 0,05$) более высокую эффективность синтеза молочного белка. Относительный выход белка на 100 кг живой массы у них составил 65,40 кг, что на 2,4% и 6,5% выше, чем у генотипов A1A2 (63,87 кг) и A2A2 (61,40 кг), соответственно.

Несмотря на выявленное преимущество генотипа A1A1 по эффективности синтеза белка, возврат к селекции на его распространение нецелесообразен. Приоритет рыночного спроса на молоко типа A2, а также предварительный характер наблюдения авторов ($n = 2$) делают продолжение текущей селекционной программы по насыщению стада аллелем A2 наиболее оправданной стратегией.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках реализации субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 25 апреля 2024 года № 082-03-2024-220/3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Князева Т.А., Чекуменева Н.Ю., Никитина С.В. Джерсейская порода молочного скота в Российской Федерации. *Зоотехния*. 2019; (5): 5. <https://doi.org/10.25708/ZT.2019.39.83.005>
2. Чирихина В.А. Показатели продуктивности и фертильности по первой лактации у дочерей, полученных от коров джерсейской породы, перенесших длительный транспортный стресс. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2021; (2): 75–82. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio.2021.2.75-82>
3. Щеголев П.О., Лемякин А.Д., Чаицкий А.А., Сабетова К.Д., Кофиади И.А., Белокуров С.Г. Полиморфизм гена каппа-казеина в популяциях молочного скота Костромской области и его влияние на молочную продуктивность коров. *Аграрная наука*. 2022; (10): 77–85. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85>
4. Юмагузин И.Ф., Аминова А.Л., Седых Т.А. Продуктивное долголетие и пожизненная продуктивность дочерей голштинских быков-производителей с разными вариантами генотипа каппа-казеина. *Аграрная наука*. 2022; (1): 60–63. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-60-63>
5. Калашникова Л.А., Прожерин В.П., Хабибрахманова Я.А., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б., Ялуга В.Л. Полиморфизм гена бета-казеина у холмогорской породы крупного рогатого скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2021; (2): 22–24. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.86.71.005>
6. Калашникова Л.А. и др. Полиморфизм гена бета-казеина в стадах крупного рогатого скота бурой швейцарской породы. *Вестник Омского государственного университета*. 2022; (4): 64–69. https://doi.org/10.52754/16947452_2022_4_64
7. Глинская Н.А., Сильченко Е.С., Николаева В.В., Приловская Е.И. Полиморфизм гена бета-казеина (CSN2) и анализ биохимического состояния крупного рогатого скота беларусской черно-пестрой породы. *Вестник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук*. 2021; (1): 72–77. <https://elibrary.ru/eeglbq>
8. Калашникова Л.А., Труфанов В.Г., Хабибрахманова Я.А., Ганченкова Т.Б., Рыжова Н.В., Павлова И.Ю. Полиморфизм гена бета-казеина у коров голштинской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2021; (1): 19–21. <https://elibrary.ru/kndpcc>
9. Кощаев А.Г., Гырнетс Е.А. Частота встречаемости генотипов гена бета-казеина в популяции черно-пестрой голштинизированной породы крупного рогатого скота. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021; 93: 310–314. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-93-310-314>
10. Парыгина Е.В. и др. Ассоциация генотипов коров холмогорской породы по бета-казеину с молочной продуктивностью. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(6): 877–883. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>
11. Парамонова М.А. Влияние полиморфизма гена молочного белка CSN2 на продуктивные качества скота черно-пестрой породы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023; (5): 300–305. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-300-305>
12. Голубков А.И., Мирвалиев Ф.С., Ефимова Л.В., Голубков А.А. Создание стада коров симментальской породы — производителей молока белка бета-казеина типа A2. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2023; 60(4): 61–68. <https://elibrary.ru/fvlvfi>
13. Калашникова Л.А. и др. Молочная продуктивность коров красно-пестрой породы с разными генотипами бета-казеина. *Молочное и мясное скотоводство*. 2022; (2): 21–24. <https://doi.org/10.33943/MMS.2022.82.31.005>
14. Худякова Н.А., Тулинова О.В., Кожевникова И.С., Кудрина М.А., Кондакова А.А. Распределение генотипа бета-казеина в двух поколениях у коров холмогорской породы. *Аграрный научный журнал*. 2023; (10): 134–139. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp134-139>
15. Худякова Н.А., Ступина А.О., Классен И.А. Частота встречаемости аллелей гена бета-казеина у крупного рогатого скота разных пород. *Аграрный научный журнал*. 2023; (4): 85–91. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp85-91>
16. Bhat S.A. et al. Association of DGAT1, beta-casein and leptin gene polymorphism with milk quality and yield traits in Jersey and its cross with local Kashmiri cattle. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2017; 5(6): 557–561.

FUNDING

The research was carried out as part of the implementation of a subsidy from the federal budget for financial support of the state assignment for the provision of public services (performance of work) dated April 25, 2024 No. 082-03-2024-220/3.

REFERENCES

1. Knyazeva T.A., Chekmeneva N.Yu., Nikitina S.V. Jersey breed in the Russian Federation. *Zootekhnika*. 2019; (5): 5 (in Russian). <https://doi.org/10.25708/ZT.2019.39.83.005>
2. Chirikina V.A. Productivity and fertility traits at first lactation in daughters born to Jersey-bred mothers who have suffered long-term transport stress. *Problems of Productive Animal Biology*. 2021; (2): 75–82 (in Russian). <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio.2021.2.75-82>
3. Shchegolev P.O., Lemyakin A.D., Chaitsky A.A., Sabetova K.D., Kofiadi I.A., Belokurov S.G. Polymorphism of the kappa-casein gene in dairy cattle populations of the Kostroma region and its effect on dairy productivity of cows. *Agrarian science*. 2022; (10): 77–85 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85>
4. Yumaguzin I.F., Aminova A.I., Sedykh T.A. Productive longevity and lifelong productivity of daughters of Holstein bulls-producers with different variants of kappa-casein genotype. *Agrarian science*. 2022; (1): 60–63 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-60-63>
5. Kalashnikova L.A., Prozherin V.P., Habibrahmanova Ya.A., Pavlova I.Yu., Ganchenkova T.B., Yaluga V.L. Polymorphism of beta-casein gene in the Kholmogor cattle breed. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2021; (2): 22–24 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.86.71.005>
6. Kalashnikova L. et al. Beta-casein gene polymorphism in studs Brown Switzerland cattle. *Bulletin of Osh State University*. 2022; (4): 64–69 (in Russian). https://doi.org/10.52754/16947452_2022_4_64
7. Glinskaya N.A., Silchenko E.S., Nikolaeva V.V., Prilovskaya E.I. Polymorphism of beta-casein gene (CSN2) and analysis of biochemical state of bovine cattle of Belarusian Black-and-Potted breeds. *Bulletin of Polesky State University. Series in Natural Sciences*. 2021; (1): 72–77 (in Russian). <https://elibrary.ru/eeglbq>
8. Kalashnikova L.A., Trufanov V.G., Habibrahmanova Ya.A., Ganchenkova T.B., Ryzhova N.V., Pavlova I.Yu. Polymorphism of the beta-casein gene in Holstein cows. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2021; (1): 19–21 (in Russian). <https://elibrary.ru/kndpcc>
9. Koshchayev A.G., Gyrnets E.A. Occurrence of beta-casein genotypes in the population of black-and-white Holstein dairy cattle. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2021; 93: 310–314 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-93-310-314>
10. Parygina E.V. et al. Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(6): 877–883 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>
11. Paramonova M.A. Influence of polymorphism of the milk protein CSN2 gene on the productive qualities of Black-and-White cattle. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023; (5): 300–305 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-300-305>
12. Golubkov A.I., Mirvaliev F.S., Efimova L.V., Golubkov A.A. Creation of a herd of Simmental cows producing milk protein beta-casein type A2. *Proceedings of the Gorsky State Agrarian University*. 2023; 60(4): 61–68 (in Russian). <https://elibrary.ru/fvlvfi>
13. Kalashnikova L.A. et al. Milk productivity of Red-and-White cows with different beta-casein genotypes. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2022; (2): 21–24 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2022.82.31.005>
14. Khudyakova N.A., Tulinova O.V., Kozhevnikova I.S., Kudrina M.A., Kondakova A.A. Distribution of beta-casein genotype in two generations in cows of the Kholmogory breed. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (10): 134–139 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp134-139>
15. Khudyakova N.A., Stupina A.O., Klassen I.A. The frequency of occurrence of alleles of the beta-casein gene in different breeds of cattle. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (4): 85–91 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp85-91>
16. Bhat S.A. et al. Association of DGAT1, beta-casein and leptin gene polymorphism with milk quality and yield traits in Jersey and its cross with local Kashmiri cattle. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2017; 5(6): 557–561.

17. Veerkamp R.F. Selection for Economic Efficiency of Dairy Cattle Using Information on Live Weight and Feed Intake: A Review. *Journal of Dairy Science*. 1998; 81(4): 1109–1119. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75673-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75673-5)

18. Siberski-Cooper C.J., Koltes J.E. Opportunities to Harness High-Throughput and Novel Sensing Phenotypes to Improve Feed Efficiency in Dairy Cattle. *Animals*. 2022; 12(1): 15. <https://doi.org/10.3390/ani12010015>

19. Ledinek M. *et al.* Analysis of lactating cows on commercial Austrian dairy farms: the influence of genotype and body weight on efficiency parameters. *Archives Animal Breeding*. 2019; 62(2): 491–500. <https://doi.org/10.5194/aab-62-491-2019>

20. Berry D.P., Evans R.D. The response to genetic merit for milk production in dairy cows differs by cow body weight. *JDS Communications*. 2022; 3(1): 32–37. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0115>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Александрович Олейник
доктор сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
soliynik60@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6003-4777>

Артем Васильевич Лесняк
аспирант
lesnyak.artem@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7451-2485>

Ставропольский государственный аграрный университет,
пер. Зоотехнический, 12, Ставрополь, 355017, Россия

17. Veerkamp R.F. Selection for Economic Efficiency of Dairy Cattle Using Information on Live Weight and Feed Intake: A Review. *Journal of Dairy Science*. 1998; 81(4): 1109–1119. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75673-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75673-5)

18. Siberski-Cooper C.J., Koltes J.E. Opportunities to Harness High-Throughput and Novel Sensing Phenotypes to Improve Feed Efficiency in Dairy Cattle. *Animals*. 2022; 12(1): 15. <https://doi.org/10.3390/ani12010015>

19. Ledinek M. *et al.* Analysis of lactating cows on commercial Austrian dairy farms: the influence of genotype and body weight on efficiency parameters. *Archives Animal Breeding*. 2019; 62(2): 491–500. <https://doi.org/10.5194/aab-62-491-2019>

20. Berry D.P., Evans R.D. The response to genetic merit for milk production in dairy cows differs by cow body weight. *JDS Communications*. 2022; 3(1): 32–37. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0115>

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Alexandrovich Oleinik
Doctor of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
soliynik60@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6003-4777>

Artem Vasilyevich Lesnyak
Graduate Student
lesnyak.artem@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7451-2485>

Stavropol State Agrarian University,
12 Zootechnical Lane, Stavropol, 355017, Russia



Международная выставка
сельскохозяйственной техники,
материалов и оборудования
для животноводства и растениеводства

29–31 октября 2025

г. Екатеринбург,
МВЦ «Екатеринбург-Экспо»



Забронируйте стенд
www.agroprom-ural.ru

Организаторы



Международная
Выставочная
Компания



ЕКАТЕРИНБУРГ
ЭКСПО
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

