

УДК 636.082.25+636.234.1

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107

П.С. Богатова ✉
О.Е. Лиходеевская
Г.А. Лиходеевский
О.Г. Лоретц
А.С. Зулаева

Уральский государственный аграрный
 университет, Екатеринбург, Россия

✉ bogatova.p.s@gmail.com

Поступила в редакцию: 25.12.2024
 Одобрена после рецензирования: 10.03.2025
 Принята к публикации: 24.03.2025

© Богатова П.С., Лиходеевская О.Е.,
 Лиходеевский Г.А., Лоретц О.Г., Зулаева А.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107

Polina S. Bogatova ✉
Oksana E. Lihodeevskaya
Georgiy A. Lihodeevskiy
Olga G. Lorets
Alexandra S. Zulaeva

Ural State Agrarian University,
 Yekaterinburg, Russia

✉ bogatova.p.s@gmail.com

Received by the editorial office: 25.12.2024
 Accepted in revised: 10.03.2025
 Accepted for publication: 24.03.2025

© Bogatova P.S., Lihodeevskaya O.E.,
 Lihodeevskiy G.A., Lorets O.G., Zulaeva A.S.

Аллельное разнообразие бета- и каппа-казеинов крупного рогатого скота голштинской породы Свердловской области

РЕЗЮМЕ

Казеины являются важными компонентами молока, определяющими его текстуру, вкус и пищевую ценность. Исследования полиморфизма молочного белка указывают на то, что аллельный вариант В бета-казеина способствует получению высококачественного молока, а генотип ВВ каппа-казеина связан с повышенным содержанием молочного белка, улучшенными коагуляционными свойствами и большим выходом твердых и полутвердых сыров.

В рамках настоящего исследования на ДНК-чипах GGP Bovine 150K и Bovine 50K были определены генотипы бета- и каппа-казеина у 523 и 607 особей соответственно. Полученные данные были проверены на соответствие закону Харди — Вайнберга с использованием критерия согласия Пирсона. В результате была изучена распространенность генотипов бета- и каппа-казеина голштинского скота в Свердловской области.

Наиболее распространенными генотипами бета-казеина стали А1А2, А2А2 и А1А1, которые суммарно составляют 90% проанализированного поголовья. Генотипы АА, АВ и АЕ каппа-казеина составляют более 80% генотипированных особей, в то время как генотипы ВВ, ВЕ и ЕЕ — менее 20%. Полученные результаты согласуются с данными других регионов.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, молочный скот, казеины, CSN2, CSN3, генотипирование

Для цитирования: Богатова П.С., Лиходеевская О.Е., Лиходеевский Г.А., Лоретц О.Г., Зулаева А.С. Аллельное разнообразие бета- и каппа-казеинов крупного рогатого скота голштинской породы Свердловской области. *Аграрная наука*. 2025; 393(04): 101–107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107>

Allelic diversity of beta- and kappa-caseins in Holstein cattle of the Sverdlovsk region

ABSTRACT

Caseins are important components of milk that determine its texture, flavour and nutritional value. Milk protein polymorphism studies indicate that the B allele of beta-casein contributes to high quality milk, while the BB genotype of kappa-casein is associated with higher milk protein content, improved coagulation properties and higher yields of hard and semi-hard cheeses.

In the present study, beta- and kappa-casein genotypes were determined on AGP Bovine 150K and Bovine 50K DNA chips in 523 and 607 individuals, respectively.

The data obtained were tested for the Hardy-Weinberg law using Pearson's concordance criterion. As a result, the prevalence of beta- and kappa-casein genotypes of Holstein cattle in the Sverdlovsk region was studied.

The most common beta-casein genotypes were A1A2, A2A2 and A1A1, which account for 90% of the analysed herd. The AA, AB and AE kappa-casein genotypes accounted for more than 80% of the genotyped individuals, while the BB, BE and EE genotypes accounted for less than 20%. The results obtained are consistent with data from other regions.

Key words: cattle, dairy cattle, casein, CSN2, CSN3, genotyping

For citation: Bogatova P.S., Lihodeevskaya O.E., Lihodeevskiy G.A., Lorets O.G., Zulaeva A.S. Allelic diversity of beta- and kappa-caseins in Holstein cattle of the Sverdlovsk region. *Agrarian science*. 2025; 393(04): 101–107 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-101-107>

Введение/Introduction

Молоко и молочные продукты оказывают существенное влияние на здоровье человека, поэтому ученые постоянно изучают их состав, влияние на организм и способы увеличения производства. Белки молока содержат незаменимые аминокислоты, лучше усваиваются организмом и как следствие, играют важную роль в питании человека [1].

Исследования вариантов молочных белков у молочного скота ведутся с середины прошлого века [2], за это время было обнаружено и изучено их влияние на свойства молока. Ученые определили шесть фракций молочных белков, встречающихся в различных генетических вариациях¹.

Содержание и состав белка в молоке важны для производителей сыра, так как это основной фактор, определяющий выход и качество конечного продукта. Исследования молока отдельных коров голштино-фризской породы показали, что общее содержание белка в молоке может варьироваться от 2,8 до 4,6 % [3], а казеин составляет 68–84% от общей доли белка [4].

Белки молока делятся на две группы — казеины и сывороточные белки.

Казеины являются наиболее важным и ценным компонентом молока. Они обеспечивают текстурные, сенсорные и питательные свойства основных молочных продуктов, таких как молоко, сыр и йогурт.

Казеин состоит из нескольких фракций²: α 1-, α 2-, β - и κ -казеины, среднее содержание которых 40%, 10%, 38% и 12% соответственно. Основной компонент казеинов — α -казеин (альфа-казеин), который отвечает за формирование казеиновых мицелл, сохранение структуры и питательных свойств молока. β -казеин (бета-казеин) влияет на структуру, текстуру и вкусовые качества молока, κ -казеины (каппа-казеин) играют ключевую роль в производстве сыра и творога.

Согласно исследованиям, β -казеин является одним из основных компонентов казеиновых мицелл, его менее отрицательно заряженный аллельный вариант В может способствовать агрегации мицелл благодаря снижению отталкивания между ними во время фазы свертывания. Кроме того, употребление молока, содержащего исключительно β -казеин А2А2, показало заметное снижение проблем, связанных с непереносимостью со стороны желудочно-кишечного тракта, а также улучшение когнитивных функций [5, 6].

Аллельные варианты β -казеина А1 и В являются прекурсорами биоактивного пептида β -казоморфина-7, который был определен исследователями как фактор риска увеличения заболеваемости ишемической болезнью сердца и диабетом 1-го типа [7].

Различие в двух основных аллелях β -казеина обусловлено однонуклеотидным полиморфизмом (SNP) на кодоне 67-м в 7-м экзоне гена бета-казеина. Считается, что SNP67 возникает в результате естественной мутации, при которой цитозин (аллель А2: ССТ, пролин) замещается на аденин (аллель А1: САТ, гистидин) [8].

Исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, изучавшими полиморфизм молочных белков, показали, что сыропригодность молока частично определяется генотипом коров по κ -казеину [9–12], который играет ключевую роль в стабилизации казеиновых мицелл и предотвращении их коагуляции. Он важен для производства сыра, так как способствует образованию сгустка при добавлении сычужного фермента. В связи с этим κ -казеин сегодня вызывает особый интерес исследователей.

Ген *CSN3*, контролирующий образование κ -казеина в молоке, имеет 16 аллельных вариантов, из которых у коров молочного направления выделены два наиболее часто встречающихся (А и В) в трех различных сочетаниях АВ, АА, ВВ.

Аллель А ассоциируется исследователями с более высокой молочной продуктивностью, а аллель В — с более высоким содержанием белка в молоке, лучшими коагуляционными свойствами и большим выходом твердых и полутвердых сыров [13, 14]. Внутри гена *CSN3* влияющими на молочную продуктивность заменами являются rs43703015 (g.88532296C > T, Thr136Ile), rs43703016 (g.88532332A > C, Asp148Ala) [15].

Генотип В определяет однонуклеотидная замена rs43703015. Данная замена связана с повышением содержания жира и лактозы и уменьшением остальных белковых показателей [16, 17]. При этом аллель А по замене rs43703015 увеличивает время сычужной коагуляции белков и уменьшает показатель плотности творожного сгустка спустя 30 мин. после добавления фермента, а значит, отрицательно влияет на коагуляционные свойства молока [18].

В России проведенные исследования аллельных вариантов β -казеина показывают преобладание генотипов А1А2 с большей частотой встречаемости аллеля А1. У животных из Тверской области [19] носители генотипа А1А2 составили 52%, генотипа А1А1 — 30%, наименьшим оказалось количество животных с генотипом А2А2 — 18%; частота встречаемости аллелей составила: для А1 — 0,56, для А2 — 0,44.

В работе [20] отмечается частота мутантного А1 аллеля — 0,52, а нормального — 0,48 в Республике Ингушетия. В Республике Башкортостан животные с генотипом А1А1 составили 85% проанализированного поголовья, с генотипом А1А2 — 12%, гомозиготы А2А2 оказались в меньшинстве

¹ Roginsky H. Encyclopedia of Dairy Sciences. Academic Press: London (UK). 2003; 2799. ISBN: 978-0-12227-235-6

² Горбатова К.К., Гунькова П.И. Химия и физика молока. СПб.: ГИОРД. 2012; 336. ISBN 978-5-98879-144-7

— 3%. Частоты встречаемости аллелей: A1 — 0,91, A2 — 0,09 [21].

Исследования, посвященные определению генотипов по каппа-казеину, показывают достаточно небольшую частоту встречаемости особей с генотипом BV: менее 0,058 [22], 0,08 [16], 0,04–0,094 — в Самарской области [23], 0,16, 0,22, 0,28 — в Псковской области [24], 0,038 — в одном из хозяйств Свердловской области [25]. В Костромской области, однако, генотип CSN3 BV встречается значительно чаще: 0,844 — у коров костромской породы, 0,6 — у коров черно-пестрой породы [26].

Генотип особи по генам β - и κ -казеина напрямую оказывает влияние на качество молока и его пригодность к технологической переработке.

Цели данной работы — исследование аллельного разнообразия и распространенность различных генотипов по β - и κ -казеину крупного рогатого скота на территории Свердловской области.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в пяти племенных организациях по разведению крупного рогатого скота голштинской породы в Свердловской области Российской Федерации. Всего для исследования были отобраны 613 образцов от коров маточного поголовья 2018–2022 гг. рождения (483 образца из закрытой геномной базы ФГБОУ ВО «Уральский ГАУ» и 130 образцов, генотипированных в 2024 году).

Для генотипирования отбирали кровь из подхвостовой вены в вакуумные пробирки для гематологических исследований с КЗ ЭДТА («Эйлитон», Россия).

ДНК выделяли с помощью набора «ДНК-Экстрен-1» (ООО «Синтол», Россия) в соответствии с инструкцией к набору.

Генотипирование проводили на ДНК-чипах GGP Bovine 150K (Illumina, США) в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» на базе ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста» (Россия) [27] и на ДНК-чипах Bovine 50K (Illumina, США) в ООО «Мираторг» (Россия) с последующей биоинформатической обработкой данных авторами.

Эксперимент проводили с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года № 2010/63/ЕС о защите животных, использующихся для научных целей³, и принципов обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ⁴.

Полученные данные обрабатывали с помощью пакета Microsoft Office Excel (США). Рассчитывали

частоту встречаемости аллелей для оценки отклонения от закона Харди — Вайнберга с помощью критерия согласия Пирсона или Хи-квадрат, функция ХИ2ТЕСТ.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате генотипирования удалось определить генотипы бета-казеина у 523 коров, каппа-казеина — у 607.

У 150 и 66 животных генотипы по бета-казеину и каппа-казеину, соответственно, достоверно определить не удалось из-за отсутствия достаточного количества информативных однонуклеотидных полиморфизмов. В связи с этим в результате отбора для анализа были оставлены 507 образцов, у которых удалось достоверно определить генотипы как по β -казеину, так и по κ -казеину.

К настоящему времени исследователями были отмечены 15 генетических вариантов кодирующих областей β -казеина, которые были названы в соответствии с порядком обнаружения: A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2, I, J, K, L.

Все варианты β -казеина характеризуются наличием 1–3 аминокислотных замен в разных позициях, но в целом их можно разделить на два типа бета-казеина — A2 (10 вариантов) и A1 (5 вариантов) в зависимости от присутствия пролина или гистидина в позиции 67-й белковой последовательности [8].

В результате генотипирования в проанализированных образцах были обнаружены 10 вариантов генотипов β -казеина и 6 различных аллелей. Самыми распространенными оказались генотипы: A1A2 — 222 особи, частота встречаемости генотипа составила 0,438; A2A2 — 157 особей с частотой встречаемости генотипа 0,310; A1A1 — 77 особей с частотой встречаемости генотипа 0,152 (табл. 1).

В общей сложности три этих генотипа были обнаружены у 90% проанализированных животных. Соответственно, оставшиеся 10 включают генотипы A1B, A1F, A1I, A2A3, A2B, A2F и A2I.

Частотность аллелей составила для: A1 — 0,391; A2 — 0,559; A3 — 0,001; B — 0,014; F — 0,003; I — 0,033. В соответствии с критерием хи-квадрат популяция значимо не отличается от равновесия Харди — Вайнберга.

Для гена CSN3 на сегодняшний день исследователям известны 13 аллельных вариантов, при этом в работе [28] указывается, что из-за принадлежности вариантов B, B2, C и J к группе B небольшие различия в аллельном составе между ними часто игнорируются, образец определяется как вариант B на основе совпадения двух аллелей без дополнительного анализа других маркеров.

Согласно полученным в результате генотипирования данным, на территории Свердловской

³ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.

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

⁴ 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».

Таблица 1. Обнаруженные генотипы бета-казеина

Table 1. Detected beta-casein genotypes

Генотип	Количество	Частота встречаемости
A1A1	77	0,152
A1A2	222	0,438
A1B	4	0,008
A1F	1	0,002
A1I	15	0,030
A2A2	157	0,310
A2A3	1	0,002
A2B	10	0,020
A2F	2	0,004
A2I	18	0,036

области были выявлены шесть генотипов к-казеина и три аллельных варианта. Наиболее распространенными среди них оказались: AA — 161, AB — 154, AE — 108 особей соответственно (табл. 2), составляющие суммарно 83,5% исследованного поголовья.

С желательным генотипом BB, ассоциированным с пригодностью молока к переработке, выявлены 37 коров (7,3% проанализированного поголовья). Наименее распространены генотипы BE и EE — 32 (6,3%) и 15 (3%) особей соответственно.

Частота встречаемости аллелей составила для: A — 0,576; B — 0,256; E — 0,168. По критерию хи-квадрат популяция значимо не отличается от равновесия Харди—Вайнберга. Это означает, что при отсутствии селекции, направленной на получение животных с желаемым генотипом к-казеина BB, его распространенность в поголовье останется в пределах 10%.

Результаты исследования β- и κ-казеина в Свердловской области в целом аналогичны результатам, полученным в других регионах России. Генотипы бета-казеина A1A2 и A1A1 встречаются значительно чаще, а аллель A1 имеет наибольшую распространенность (от 0,52 до 0,91) [21–23]. Наиболее распространенные генотипы каппа-казеина — AA и AB с наибольшей частотой встречаемости аллеля A в гене CSN3 [24, 18, 25, 26], что может быть связано с направленностью селекции на повышение удоев и ассоциацией аллельного варианта A с высокой молочной продуктивностью.

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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проведено в рамках госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (регистрационный № 124061300024-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зиннатов Ф.Ф., Якупов Т.Р., Зиннатова Ф.Ф., Хисамов Р.Р. Полиморфные варианты генов белкового обмена у голштинских коров. *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки.* 2022; 8(1): 25–34. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2022-8-1-25-34>

Таблица 2. Обнаруженные генотипы каппа-казеина

Table 2. Detected kappa-casein genotypes

Генотип	Количество	Частота встречаемости
AA	161	0,318
AB	154	0,304
AE	108	0,213
BB	37	0,073
BE	32	0,063
EE	15	0,030

Выводы/Conclusions

В данной работе были изучены распространенность генотипов и аллельное разнообразие β- и κ-казеина на территории Свердловской области. Наиболее распространенными генотипами β-казеина среди коров из пяти племенных организаций оказались A1A2, A2A2 и A1A1, что объясняется формированием в одном хозяйстве, имеющем цех переработки молока, группу животных для получения гипоаллергенного молока с брендом A2 (суммарно составляющих 90% от всех проанализированных особей). При этом наиболее часто встречающимися аллелями оказались A1 и A2, частота встречаемости аллелей A3, B, F и I суммарно составила 0,05.

Среди шести обнаруженных у проанализированной популяции генотипов κ-казеина генотипы AB, AA и AE были выявлены у 83% животных, наибольшей частотой встречаемости обладает аллель A — 0,576, частоты встречаемости аллелей B и E составили 0,256 и 0,168 соответственно.

Данные результаты согласуются с результатами других исследователей на территории Российской Федерации, что означает необходимость внедрения геномной селекции для получения коров, молоко которых будет наиболее оптимальным для переработки.

Проведение генотипирования коров в хозяйствах может быть полезно при формировании целевых стад, производящих «питьевое» молоко (аллели A, A1, A2 и т. д.) и молоко, пригодное для переработки (аллель B).

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.

FUNDING

The study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (registration No. 124061300024-1).

REFERENCES

1. Zinnatov F.F., Yakupov T.R., Zinnatova F.F., Khisamov R.R. Polymorphic variants of protein metabolism genes in Holstein cattle. *Vestnik of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic sciences.* 2022; 8(1): 25–34 (in Russian). <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2022-8-1-25-34>

2. Aschaffenburg R., Drewry J. Occurrence of Different Beta-Lactoglobulins in Cow's Milk. *Nature*. 1955; 176(4474): 218–219. <https://doi.org/10.1038/176218b0>
3. Kroger M. Milk protein determinations. *American Dairy Review*. 1973; 35(9): 18.
4. Cerbulis J., Farrell Jr. H.M. Composition of milks of dairy cattle. I. Protein, lactose, and fat contents and distribution of protein fractions. *Journal of Dairy Science*. 1975; 58(6): 817–827. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(75\)84644-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84644-3)
5. Панков М.Н., Смолина В.С., Ступина А.О., Классен И.А., Спасский Е.А. Бета-казеин коровьего молока и его влияние на организм человека (обзор). Журнал медико-биологических исследований. 2024; 12(3): 411–418. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z207>
6. Amalfitano N., Cipolat-Gotet C., Cecchinato A., Malacarne M., Summer A., Bittante G. Milk protein fractions strongly affect the patterns of coagulation, curd firming, and syneresis. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(4): 2903–2917. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15524>
7. Amalfitano N., Mota L.F.M., Rosa G.J.M., Cecchinato A., Bittante G. Role of CSN2, CSN3, and BLG genes and the polygenic background in the cattle milk protein profile. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(7): 6001–6020. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21421>
8. Cieślińska A., Fiedorowicz E., Rozmus D., Sienkiewicz-Szłapka E., Jarmołowska B., Kamiński S. Does a Little Difference Make a Big Difference? Bovine β -Casein A1 and A2 Variants and Human Health — An Update. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(24): 15637. <https://doi.org/10.3390/ijms232415637>
9. Калашникова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Тинаев А.Ш. Влияние полиморфизма генов молочных белков и гормонов на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009; (3): 49–52. <https://elibrary.ru/kubibj>
10. Самусенко Л.Д., Химичева С.Н. Генотип коров — основа качества молока. Молоко и молочные продукты. Производство и реализация. 2012; (2): 17–19. <https://elibrary.ru/yhgcb>
11. Kamiński S., Zbolewicz T., Oleński K., Babuchowski A. Long-term changes in the frequency of beta-casein, kappa-casein and beta-lactoglobulin alleles in Polish Holstein-Friesian dairy cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2023; 32(2): 205–210. <https://doi.org/10.22358/jafs/157531/2023>
12. Albazi W.J. et al. Association of Kappa casein gene polymorphism with milk production traits in crossbred dairy cows. *Ciência Animal Brasileira*. 2023; 24: e-74079E. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v24e-74079E>
13. Харламов А.В., Панин В.А., Косилов В.И. Влияние генов каппа-казеина и лактоглобулина на молочную продуктивность коров и белковый состав молока. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020; (1): 193–197. <https://elibrary.ru/xbgdqh>
14. Meier S., Korkuć P., Arends D., Brockmann G.A. DNA Sequence Variants and Protein Haplotypes of Casein Genes in German Black Pied Cattle (DSN). *Frontiers in Genetics*. 2019; 10: 1129. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01129>
15. Viale E., Tiezzi F., Maretto F., De Marchi M., Penasa M., Cassandro M. Association of candidate gene polymorphisms with milk technological traits, yield, composition, and somatic cell score in Italian Holstein-Friesian sires. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(9): 7271–7281. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12666>
16. Cecchinato A. et al. Candidate gene association analysis for milk yield, composition, urea nitrogen and somatic cell scores in Brown Swiss cows. *Animal*. 2014; 8(7): 1062–1070. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001098>
17. Kučerová J. et al. Milk protein genes CSN1S1, CSN2, CSN3, LGB and their relation to genetic values of milk production parameters in Czech Fleckvieh. *Czech Journal of Animal Science*. 2006; 51(6): 241–247. <https://doi.org/10.17221/3935-CJAS>
2. Aschaffenburg R., Drewry J. Occurrence of Different Beta-Lactoglobulins in Cow's Milk. *Nature*. 1955; 176(4474): 218–219. <https://doi.org/10.1038/176218b0>
3. Kroger M. Milk protein determinations. *American Dairy Review*. 1973; 35(9): 18.
4. Cerbulis J., Farrell Jr. H.M. Composition of milks of dairy cattle. I. Protein, lactose, and fat contents and distribution of protein fractions. *Journal of Dairy Science*. 1975; 58(6): 817–827. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(75\)84644-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84644-3)
5. Pankov M.N., Smolina V.S., Stupina A.O., Klassen I.A., Spassky E.A. Beta-casein of cow's milk and its effect on the human body (review). *Journal of medical and biological research*. 2024; 12(3): 411–418 (in Russian). <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z207>
6. Amalfitano N., Cipolat-Gotet C., Cecchinato A., Malacarne M., Summer A., Bittante G. Milk protein fractions strongly affect the patterns of coagulation, curd firming, and syneresis. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(4): 2903–2917. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15524>
7. Amalfitano N., Mota L.F.M., Rosa G.J.M., Cecchinato A., Bittante G. Role of CSN2, CSN3, and BLG genes and the polygenic background in the cattle milk protein profile. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(7): 6001–6020. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21421>
8. Cieślińska A., Fiedorowicz E., Rozmus D., Sienkiewicz-Szłapka E., Jarmołowska B., Kamiński S. Does a Little Difference Make a Big Difference? Bovine β -Casein A1 and A2 Variants and Human Health — An Update. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(24): 15637. <https://doi.org/10.3390/ijms232415637>
9. Kalashnikova L.A., Khabibrakhmanova Ya.A., Tinaev A.Sh. Effect of polymorphism in genes of milk proteins and hormones on milk productivity of Black-and-White cows. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*. 2009; (3): 49–52 (in Russian). <https://elibrary.ru/kubibj>
10. Samusenko L.D., Khimicheva S.N. Genotype of cows is the basis of milk quality. *Moloko i molochnye produkty. Proizvodstvo i realizatsiya*. 2012; (2): 17–19 (in Russian). <https://elibrary.ru/yhgcb>
11. Kamiński S., Zbolewicz T., Oleński K., Babuchowski A. Long-term changes in the frequency of beta-casein, kappa-casein and beta-lactoglobulin alleles in Polish Holstein-Friesian dairy cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2023; 32(2): 205–210. <https://doi.org/10.22358/jafs/157531/2023>
12. Albazi W.J. et al. Association of Kappa casein gene polymorphism with milk production traits in crossbred dairy cows. *Ciência Animal Brasileira*. 2023; 24: e-74079E. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v24e-74079E>
13. Harlamov A.V., Panin V.A., Kosilov V.I. Effect of kappa-casein and lactoglobulin genes on milk yields of cows and the content of protein in milk. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (1): 193–197 (in Russian). <https://elibrary.ru/xbgdqh>
14. Meier S., Korkuć P., Arends D., Brockmann G.A. DNA Sequence Variants and Protein Haplotypes of Casein Genes in German Black Pied Cattle (DSN). *Frontiers in Genetics*. 2019; 10: 1129. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01129>
15. Viale E., Tiezzi F., Maretto F., De Marchi M., Penasa M., Cassandro M. Association of candidate gene polymorphisms with milk technological traits, yield, composition, and somatic cell score in Italian Holstein-Friesian sires. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(9): 7271–7281. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12666>
16. Cecchinato A. et al. Candidate gene association analysis for milk yield, composition, urea nitrogen and somatic cell scores in Brown Swiss cows. *Animal*. 2014; 8(7): 1062–1070. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001098>
17. Kučerová J. et al. Milk protein genes CSN1S1, CSN2, CSN3, LGB and their relation to genetic values of milk production parameters in Czech Fleckvieh. *Czech Journal of Animal Science*. 2006; 51(6): 241–247. <https://doi.org/10.17221/3935-CJAS>

18. Шевцова А.А., Климов Е.А., Ковальчук С.Н. Обзор вариативности генов, связанных с молочной продуктивностью крупного рогатого скота. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018; (11–1): 194–200. <https://elibrary.ru/yowplf>

19. Марзанов Н.С., Абылкасымов Д.А., Девришов Д.А., Марзанова С.Н., Либет И.С. Характеристика аллелотипа у коров черно-пестрой породы по локусам бета- и каппа-казеина и качественные показатели молока. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межатраслевые технологии и системы управления качеством*. Сборник научных трудов. М.: ВНИМИ. 2020; 1: 368–376. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-368-376>

20. Марзанов Н.С., Девришов Д.А., Марзанова С.Н., Гетоков О.О., Абылкасымов Д.А., Либет И.С. ДНК-диагностика популяций коров черно-пестрой породы по локусу бета-казеина. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2021; (3): 78–84. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202103011>

21. Парамонова М.А., Валитов Ф.Р., Ганиева И.Н. Частота встречаемости аллельных вариантов гена бета-казеина коров черно-пестрой породы. *Современные научные гипотезы и прогнозы: от теории к практике. Сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет. 2021; 84–86. <https://elibrary.ru/ijttqk>

22. Ефимова И.О., Загидуллин Л.Р., Шайдудин Р.Р., Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Москвичева А.Б. Встречаемость комплексных генотипов каппа-казеина и диацилглицерол о-ацилтрансферазы у молочного скота разных линий. *Перспективы развития аграрных наук. Материалы Международной научно-практической конференции. Тезисы докладов*. Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия. 2020; 121–122. <https://elibrary.ru/cvkyqk>

23. Ершов Р.О., Карамеева А.С., Карамеев С.В. Продуктивные качества коров самарского типа черно-пестрой породы разных линий в зависимости от полиморфизма гена каппа-казеина. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023; (2): 276–281. <https://elibrary.ru/bnascs>

24. Снигирев С.О., Ламонов С.А., Скоркина И.А., Гладырь Е.А. Молочная продуктивность коров разных генотипических групп черно-пестрого скота в зависимости от полиморфизма гена каппа-казеина. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2023; (1): 94–97. <https://elibrary.ru/noyxcz>

25. Горелик О.В., Афонина Д.А., Белооков А.А., Сафронов С.Л., Кульмакова Н.И., Бобылева И.В. Влияние генотипа по каппа-казеину на молочную продуктивность и выбраковку коров. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 110–113 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-110-113>

26. Чаицкий А.А. и др. Влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2022; (2): 33–43. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005>

27. Богатова П.С., Лиходеевский Г.А., Лиходеевская О.Е. Взаимосвязь геномного и расчетного инбридинга в популяции крупного рогатого скота голштинской породы Свердловской области. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(9): 1158–1171. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1158-1171>

28. Кузнецов С.Б., Солоднева Е.В., Семина М.Т., Бекетов С.В., Турбина И.С., Столповский Ю.А. Новые сочетания аллелей в вариантах генов казеинового кластера крупного рогатого скота и ревизия их номенклатуры. *Генетика*. 2022; 58(8): 889–901. <https://doi.org/10.31857/S0016675822080057>

18. Shevtsova A.A., Klimov E.A., Kovalchuk S.N. Review of genes variability associated with milk productivity of dairy cattle. *International journal of applied and fundamental research*. 2018; (11–1): 194–200 (in Russian). <https://elibrary.ru/yowplf>

19. Marzanov N.S., Abylkasymov D.A., Devrishov D.A., Marzanova S.N., Libet I.S. The characteristic of allelotype in cows of Black and Multicolored breed of β - and κ -casein locus and qualitative indicators of milk. *Topical issues of the dairy industry, interdisciplinary technologies and quality management systems. Collection of scientific papers*. Moscow: All-Russian Dairy Research Institute. 2020; 1: 368–376 (in Russian). <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-368-376>

20. Marzanov N.S., Devrishov D.A., Marzanova S.N., Getokov O.O., Abylkasymov D.A., Libet I.S. DNA diagnostics of populations of the Black-and-White breed by the Beta-Casein Locus. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2021; (3): 78–84 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202103011>

21. Paramonova M.A., Valitov F.R., Ganieva I.N. Frequency of occurrence of allelic variants of the beta-casein gene in Black-and-White cows. *Modern scientific hypotheses and forecasts: from theory to practice: a collection of scientific articles based on the results of the International scientific and practical conference*. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Economics. 2021; 84–86 (in Russian). <https://elibrary.ru/ijttqk>

22. Efimova I.O., Zagidullin L.R., Shaidullin R.R., Akhmetov T.M., Tyulkin S.V., Moskvicheva A.B. Meeting of complex genotypes of kappa casein and diacylglycerol of o-acyl transferase in dairy cattle of different lines. *Prospects for the development of agrarian sciences. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Abstracts of reports*. Cheboksary: Chuvash State Agricultural Academy. 2020; 121–122 (in Russian). <https://elibrary.ru/cvkyqk>

23. Ershov R.O., Karamaeva A.S., Karamaev S.V. Productive qualities of Samara-type cows of a Black-and-White breed of different lines depending on the polymorphism of the kappa-casein gene. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023; (2): 276–281 (in Russian). <https://elibrary.ru/bnascs>

24. Snigirev S.O., Lamonov S.A., Skorkina I.A., Gladyr E.A. Milk productivity of cows of different genotypic groups of Black-and-White cattle depending on the polymorphism of the kappa-casein gene. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2023; (1): 94–97 (in Russian). <https://elibrary.ru/noyxcz>

25. Gorelik O.V., Afonina D.A., Belookov A.A., Safronov S.L., Kulmakova N.I., Bobyleva I.V. Influence of kappa-casein genotype on milk yield of cows and on culling of cows. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 110–113. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-110-113>

26. Chaitsky A.A. et al. Influence of genotypes of kappa-casein gene on cheese properties of cow's milk. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2022; (2): 33–43 (in Russian). <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005>

27. Bogatova P.S., Likhodeevsky G.A., Likhodeevskaya O.E. The relationship between genomic and estimated inbreeding in the population of Holstein cattle in Sverdlovsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(9): 1158–1171 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1158-1171>

28. Kuznetsov S.B., Solodneva E.V., Semina M.T., Beketov S.V., Turbina I.S., Stolpovsky Yu.A. New Combinations of Alleles in the Variants of the Cluster of Bovine Casein Genes and Revision of the Nomenclature of These Genes. *Russian Journal of Genetics*. 2022; 58(8): 915–926. <https://doi.org/10.1134/s1022795422080051>

ОБ АВТОРАХ

Полина Сергеевна Богатова

аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований
bogatova.p.s@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

ABOUT THE AUTHORS

Polina Sergeevna Bogatova

Postgraduate Student, Research Assistant of the Laboratory of Molecular and Biological Research
bogatova.p.s@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

Георгий Александрович Лиходеевский

аспирант, младший научный сотрудник лаборатории
молекулярных и биологических исследований
georglihodey@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>

Оксана Евгеньевна Лиходеевская

кандидат биологических наук, доцент,
заведующая лабораторией молекулярных
и биологических исследований
lixodeevskaya@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

Ольга Геннадьевна Лореттс

доктор биологических наук, профессор кафедры
биотехнологии и продуктов питания
olga-loretts@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5144-8409>

Александра Сергеевна Зулаева

преподаватель кафедры зооинженерии
zulaeva.a@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-7579-248X>

Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

Georgiy Aleksandrovich Lihodeevskiy

Postgraduate Student, Research Assistant of the Laboratory
of Molecular and Biological Research
georglihodey@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>

Oksana Evgenievna Lihodeevskaya

Candidate of Science in Biology,
Associate Professor, Head of the Laboratory
of Molecular and Biological Research
lixodeevskaya@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

Olga Gennadijevna Loretts

Doctor of Biological Sciences, Professor,
Department of Biotechnology and Food Products
olga-loretts@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5144-8409>

Alexandra Sergeevna Zulaeva

Lecturer of the Department of Zooengineering
zulaeva.a@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-7579-248X>

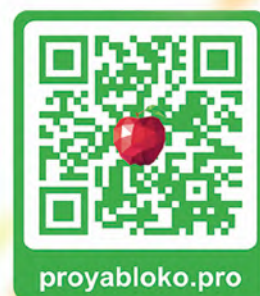
Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia



7-я международная выставка
технологий выращивания, хранения
и сбыта плодово-ягодной продукции

САДЫ РОССИИ PRO ЯБЛОКО 2025

ГЛАВНАЯ ВЫСТАВКА
ДЛЯ САДОВОДОВ



г. Минеральные Воды,
МВЦ Минводы ЭКСПО
РЕКЛАМА

9-11 ИЮНЯ
2025