

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1021-1028>

УДК 636.082

**Реализация генетического потенциала коров черно-пестрой породы различных генотипов по гену каппа-казеина**© 2023. А. Д. Лемякин, Л. С. Баданина, К. Д. Сабетова<sup>✉</sup>, А. А. Чаицкий, П. О. Щеголев

ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», г. Кострома, Российская Федерация

Качественные показатели молока являются одним из существенных показателей, формирующих племенную ценность молочного скота. Опыт многих стран демонстрирует, что гоштинизация местных пород крупного рогатого скота сопровождается увеличением объема получаемого молока при одновременном снижении его качественных характеристик, необходимых в сыроделии. Решение данной проблемы лишь средствами традиционной селекции трудно выполнимо, но облегчить данную задачу возможно с применением современных молекулярно-генетических методов и маркер-ориентированной селекции. Цель работы состояла в оценке генетического потенциала молочной продуктивности коров с различными генотипами по гену каппа-казеина (CSN3). Исследование проводили на 104 чистопородных коровах черно-пестрой породы, отобранных из стад СПК «Яковлевское» и СПК «Расловское». Установлено, что наиболее часто встречался желательный генотип CSN3<sup>BB</sup> – у 61 % животных. В рамках исследования проведено сопоставление собственной молочной продуктивности подопытных животных с продуктивностью их предков, что позволило судить об их генетическом потенциале. Анализ показал, что в СПК «Яковлевское» у носительниц генотипа CSN3<sup>AA</sup> содержание белка в молоке было значимо меньше, чем у носительниц генотипов CSN3<sup>AB</sup> ( $P < 0,05$ ) и CSN3<sup>BB</sup> ( $P < 0,001$ ). По остальным показателям продуктивности статистически значимых различий не обнаружено, носительницы генотипа CSN3<sup>AB</sup> наиболее полно реализовали свой генетический потенциал по массовой доле жира в молоке (100,9 %), а коровы с генотипом CSN3<sup>BB</sup> – по удою и содержанию белка в молоке (106,7 и 103,9 % соответственно). В СПК «Расловское» животные с генотипом CSN3<sup>AA</sup> наиболее полно реализовали свой генетический потенциал по удою (119,5 %), а носительницы генотипа CSN3<sup>BB</sup> – по содержанию жира и белка в молоке (112,3 и 103,7 % соответственно). Таким образом, ген каппа-казеина крупного рогатого скота ассоциирован не только с содержанием белка в молоке, но и с реализацией генетического потенциала по данному показателю продуктивности. Полученные в данном исследовании результаты имеют большое практическое значение для селекционно-племенной работы с черно-пестрой породой крупного рогатого скота, направленной на улучшение сыропригодности молока.

**Ключевые слова:** CSN3, коровы, молочная продуктивность

**Благодарности:** работа выполнена по госзаказу Минсельхоза РФ (Комплексное влияние различных аллельных вариантов генов бета-, каппа-казеина и бета-лактоглобулина на технологические свойства молока в популяциях крупного рогатого скота Костромской области Рег. № И123052300045-5, Рег. № ПТНИ 1022040600673-1).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Лемякин А. Д., Баданина Л. С., Сабетова К. Д., Чаицкий А. А., Щеголев П. О. Реализация генетического потенциала коров черно-пестрой породы различных генотипов по гену каппа-казеина. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):1021-1028. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1021-1028>

Поступила: 19.07.2023

Принята к публикации: 24.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

**Realizing the genetic potential of black-and-white cows of different genotypes by the kappa-casein gene**© 2023. Alexander D. Lemyakin, Lada S. Badanina, Ksenia D. Sabetova<sup>✉</sup>, Alexey A. Chaitskiy, Pavel O. Schiogolev

Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russian Federation

Milk quality indicators are one of the main components of the breeding value of dairy cattle. The experience of many countries demonstrates that the Holsteinization of local cattle breeds is accompanied by an increase in the volume of milk produced while reducing its quality characteristics in particular to its cheese suitability. Solving this problem only by means of traditional breeding is difficult but it is possible to facilitate this task with application of modern molecular genetic methods and marker-oriented selection. The objective of the research was to assess the genetic potential of dairy performance of cattle with different genotypes by the kappa-casein gene (CSN3). The study was conducted on 104 purebred Russian black-and-white cows selected from the herds of the Yakovlevskoye APC and Raslovskoye APC. It was determined that the desired CSN3<sup>BB</sup> genotype was most common in 61 % of animals. As part of the study, the comparison of the experimental animals' own milk productivity with the productivity of their ancestors was carried out which made it possible to assess their genetic

*potential. The analysis showed that in the Yakovlevskoye APC, the protein content in milk in carriers of the CSN3<sup>AA</sup> genotype was significantly less than in carriers of the CSN3<sup>AB</sup> ( $P < 0.05$ ) and CSN3<sup>BB</sup> ( $P < 0.001$ ) genotypes. There were no statistically significant differences in other productivity indicators, although the carriers of the CSN3<sup>AB</sup> genotype (100.9%) differed in the greatest realization of the genetic potential in terms of the mass fraction of fat in milk, and cows with the CSN3<sup>BB</sup> genotype (106.7 and 103.9 % respectively) in milk yield and protein content in milk. In the Raslovskoye APC, the greatest realization of the genetic potential in milk yield (119.5 %) was distinguished by carriers of the CSN3<sup>AA</sup> genotype and the greater potential of fat and protein in milk were shown by animals with the CSN3<sup>BB</sup> genotype (112.3 % and 103.7 %, respectively). Thus, the polymorphism of bovine kappa-casein gene has a significant impact both on the protein content in milk and on the realization of the genetic potential for this indicator of productivity. The obtained research results are important for breeding work with Russian black-and-white cattle aimed at improving the cheese suitability of milk.*

**Keywords:** CSN3, cows, milk productivity

**Acknowledgements:** the work was carried out according to the state order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (The complex effect of various allelic variants of beta-, kappa-casein and beta-lactoglobulin genes on the technological properties of milk in the populations of cattle of the Kostroma region Reg. No. I123052300045-5, Reg. No. PTNI 1022040600673-1).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors stated no conflict of interest.

**For citations:** Lemyakin A. D., Badanina L. S., Sabetova K. D., Chaitskiy A. A., Schiogolev P. O. Realizing the genetic potential of black-and-white cows of different genotypes by the kappa-casein gene. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):1021-1028. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1021-1028>

Received: 19.07.2023

Accepted for publication: 24.11.2023

Published online: 20.12.2023

Современная пищевая промышленность предъявляет всё более возрастающие требования к качеству молока-сырья по содержанию молочного жира и белка [1, 2]. В связи с этим в отрасли молочного скотоводства значительную актуальность имеют отбор и подбор животных по генетическим маркерам, детерминирующим качественные показатели молочной продуктивности [3, 4]. Одним из наиболее значимых в практическом отношении ДНК-маркеров является ген каппа-казеина (CSN3) [5, 6].

Согласно данным множества исследований, ген CSN3 оказывает существенное влияние на технологические свойства молока, в особенности, на его пригодность к выработке твердых сыров [7, 8]. С этой точки зрения наиболее ценным аллельным вариантом для молочного скота является CSN3<sup>B</sup> [9, 10]. Н. Ю. Сафиной и рядом других авторов отмечается, что носительницы генотипа CSN3<sup>BB</sup> отличаются повышенным удоем и содержанием жира и белка в молоке по сравнению со своими сверстницами [11, 12, 13].

В ряде работ, в том числе в исследовании О. А. Басонова и соавторов, изучалась возможность оценки реализации генетического потенциала молочного скота [14, 15, 16]. Авторы утверждают, что сравнение параметров молочной продуктивности предков с собственной продуктивностью животных позволяет произвести расчет реализации их генетического потенциала. В связи с этим возникает интерес изучения зависимости реализации генетического потенциала коров от их генотипа по гену к-казеина как одного из основных ДНК-маркеров для осуществления маркерной селекции молочного

скота. Немногочисленность подобных данных по отечественным породам определяет актуальность данного исследования.

**Цель исследований** – изучение уровня реализации генетического потенциала скота черно-пестрой породы с различными генотипами по гену к-казеина.

**Научная новизна** – разработка нового способа генотипирования крупного рогатого скота по гену CSN3, изучение зависимости реализации генетического потенциала коров черно-пестрой породы от их генотипа по гену к-казеина.

**Материал и методы.** Объектом исследования служили 104 коровы черно-пестрой породы из ряда племенных хозяйств Костромской области: СПК «Расловское» ( $n = 48$ ) и СПК «Яковлевское» ( $n = 56$ ). Для проведения исследований у животных из хвостовой вены была отобрана цельная периферическая кровь в промаркированные стерильные одноразовые вакуумные пробирки с антикоагулянтom ЭДТА К2. Геномную ДНК получали из цельной периферической крови коров с помощью набора реактивов «ПРОБА-ГС-ГЕНЕТИКА» (Россия). Генотипирование коров по гену к-казеина (rs43703017) проводили методом ПЦР-РВ с использованием амплификатора «DTrime» (Россия). Для амплификации целевых фрагментов CSN3 применяли праймеры, исключающие образование неспецифических ПЦР-продуктов: CSN3\_A 5'-GATGGATAAATTAATCTGT-3'; CSN3\_G 5'-GATGGATAAATTAACCTGT-3'; CSN3\_for 5'-GCAAAATGAATAACAGCCAAG-3'; CSN3\_rev 5'-TCTGCAATTTTACTCATTTTG-3'.

Плавнение продуктов амплификации проводили в диапазоне от 70 °С до 90 °С с увеличением температуры на 0,2 °С каждые 10 с. Учет и анализ результатов проводили с помощью ПО RealTime\_PCR с применением модуля HRM-анализа.

Все манипуляции на крупном рогатом скоте в рамках исследования проводили в соответствии с международными рекомендациями и российскими нормативно-правовыми документами в отношении гуманного обращения с животными. Данные племенного и зоотехнического учета были получены из ИАС «СЕЛЭКС».

Результаты исследований обрабатывали на ПК с использованием возможностей Microsoft Office Excel 2019 и методов популяционного анализа и биометрии.

Для определения частоты встречаемости генотипов в группах животных использовали следующую формулу:

$$P = \frac{m}{N}, \quad (1)$$

где P – частота генотипа; m – количество особей, имеющих определенный генотип, N – общее число особей.

Частоту аллельных вариантов рассчитывали по формулам:

$$p = \frac{2n_{AA} + n_{AB}}{2N}, \quad (2)$$

$$q = \frac{2n_{BB} + n_{AB}}{2N}, \quad (3)$$

где p – частота аллеля A, q – частота аллеля B,  $n_{AA}$ ,  $n_{AB}$ ,  $n_{BB}$  – число особей с генотипом AA, AB и BB соответственно, N – общее число особей.

Соблюдение генного равновесия по гену каппа-казеина в стадах хозяйств проверяли с помощью уравнения Харди-Вайнберга:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1, \quad (4)$$

где p и q – частоты аллелей A и B соответственно.

Для оценки реализации генетического потенциала молочной продуктивности коров использовали следующие формулы. Родительский индекс коров (РИК) вычисляли по формуле (Н. А. Кравченко)<sup>1</sup>:

$$РИК = \frac{2M + MM + MO}{4}, \quad (5)$$

где M – продуктивность матери, MM – продуктивность матери матери, MO – продуктивность матери отца.

Степень реализации генетического потенциала (РГП) определяли по формуле:

$$РГП = \frac{П}{РИК} \times 100, \quad (6)$$

где П – максимальная продуктивность коровы.

Тестирование статистической значимости разности между группами животных проводили путем расчета t-критерия Стьюдента. Независимость распределения аллелей и генотипов гена каппа-казеина в группах подопытных животных проверяли с помощью теста «хи-квадрат».

**Результаты и их обсуждение.** В результате генотипирования подопытных коров по гену каппа-казеина было получено следующее распределение генотипов и аллелей у подопытных животных (рис. 1).

Данные рисунка 1 показывают значительное преобладание аллеля CSN<sup>B</sup> над CSN<sup>A</sup> у коров и генотипа CSN<sup>BB</sup> над CSN<sup>AA</sup> и CSN<sup>AB</sup> в обоих племрепродукторах. Распределение генотипов CSN3 в хозяйствах было следующим: в СПК «Яковлевское» наиболее часто встречались коровы с генотипом CSN<sup>BB</sup> (61 %), реже – с CSN<sup>AB</sup> (17,5 %), частота встречаемости генотипа CSN<sup>AA</sup> составила 21 %. В СПК «Расловское» генотип CSN<sup>BB</sup> также превалировал над остальными – 58,3 %, частота генотипа CSN<sup>AB</sup> (22,9 %) была выше, чем AA (18,7 %).

Анализ распределения частот встречаемости генотипов CSN3 с помощью уравнения Харди-Вайнберга выявил в обоих хозяйствах статистически значимое смещение генного равновесия в сторону недостатка гетерозигот: в выборке коров из СПК «Расловское» критерий  $\chi^2$  составил 10,00, в СПК «Яковлевское»  $\chi^2 = 18,69$  ( $P < 0,01$ ;  $P < 0,001$ ). Это говорит о том, что и в стаде СПК «Расловское», и в СПК «Яковлевское» действуют факторы отбора, дающие преимущество гомозиготным генотипам CSN<sup>AA</sup> и CSN<sup>BB</sup> перед гетерозиготным CSN<sup>AB</sup>.

Анализ молочной продуктивности подопытных животных показал наличие существенных различий между носительницами различных генотипов по гену к-казеина (табл. 1).

В хозяйстве СПК «Расловское» наибольшие удои фиксировались у коров с генотипом CSN<sup>AB</sup>, наименьшие – у носительниц CSN<sup>AA</sup>, тогда как животные с генотипом CSN<sup>BB</sup> занимали промежуточное положение. Наибольшее содержание жира в молоке отмечено у коров с генотипом CSN<sup>AB</sup>, наибольшая массовая доля белка – у носительниц генотипа CSN<sup>BB</sup>.

<sup>1</sup>Кравченко Н. А. Разведение сельскохозяйственных животных. М., 1963. 212 с.

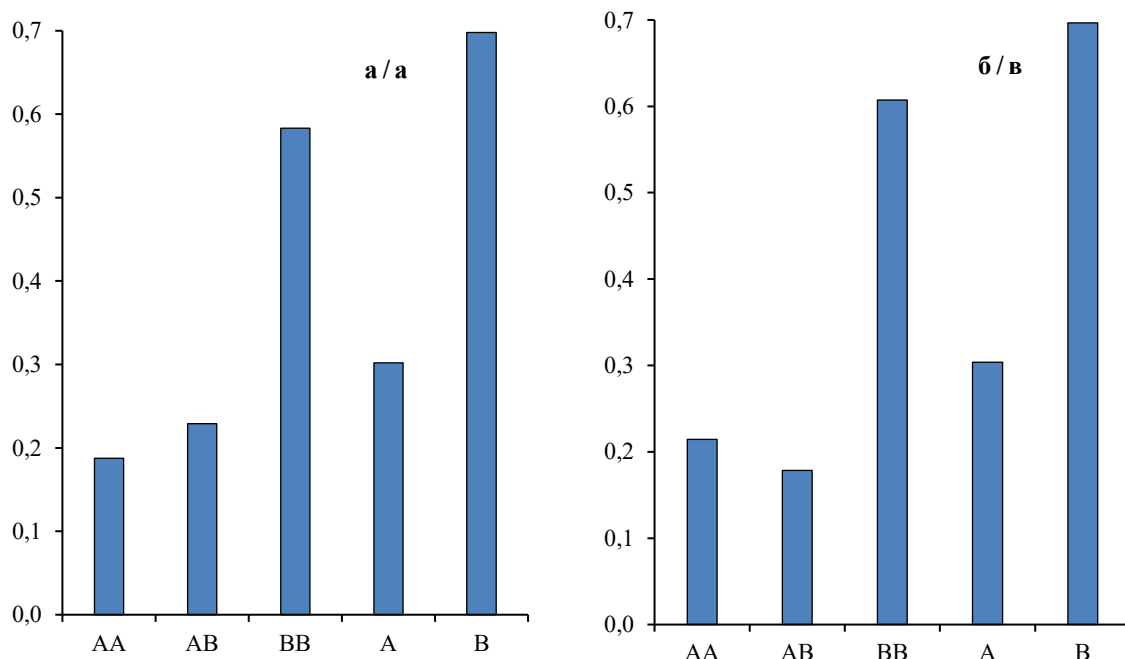


Рис. 1. Частоты встречаемости аллелей и генотипов CSN3 у коров черно-пестрой породы в СПК «Расловское» (а) и СПК «Яковлевское» (б) /

Fig. 1. The frequency of occurrence of CSN3 alleles and genotypes in black-and-white cows in Raslovskoe SPK (a) and Yakovlevskoe SPK (b)

Таблица 1 – Молочная продуктивность коров с различными генотипами по гену CSN3 /

Table 1 – Milk productivity of cows with different CSN3 genotypes

Показатель / Index	Генотип по гену каппа-казеина / Genotype by the kappa-casein gene			Разность между групповыми средними / Difference between group average values		
	AA	AB	BB	AA-AB	AA-BB	AB-BB
СПК «Расловское» / APC "Raslovskoe"						
Удой, кг / Milk yield, kg	7183±263	7764±304	7385±342,9	581	202	379
МДЖ, % / MF, %	4,27±0,16	4,32±0,10	4,29±0,10	0,05	0,03	0,02
МДБ, % / MP, %	3,21±0,06	3,18±0,10	3,23±0,05	0,03	0,02	0,05
СПК «Яковлевское» / APC "Yakovlevskoye"						
Удой, кг / Milk yield, kg	9092±414	9085±344	8889±267,3	7	203	196
МДЖ, % / MF, %	3,87±0,11	4,04±0,15	3,78±0,08	0,17	0,09	0,26
МДБ, % / MP, %	3,09±0,11***	3,20±0,03*	3,24±0,03	0,11	0,15	0,04

Примечания: Статистическая значимость различий указана – в сравнении генотипов AA и BB (\*P < 0,05) и AA и AB (\*\*P < 0,01) /

Notes: Statistical significance of differences is indicated – in comparison of genotypes AA and BB (\* P < 0.05) and AA and AB (\*\* P < 0.01)

В СПК «Яковлевское» между носителями генотипов CSN3<sup>AA</sup> и CSN3<sup>AB</sup> обнаружена статистически значимая разница по массовой доле белка в молоке на уровне 0,11 % (P<0,001). Также значимую разницу наблюдали между коровами генотипов CSN3<sup>AA</sup> и CSN3<sup>BB</sup> – на уровне 0,15 % (P<0,05). При этом наибольшим удоем отличались животные с генотипом CSN3<sup>AA</sup>, содержанием жира в молоке – CSN3<sup>AB</sup>.

Родительский индекс коров демонстрирует потенциал продуктивности животных и рассчитывается по максимальным величинам параметров продуктивности их предков (М, ММ, МО). В ходе исследования нами были рассчитаны РИК по основным показателям молочной продуктивности для коров с различными генотипами по гену к-казеина (табл. 2).

Анализ данных таблицы 2 показал, что в СПК «Расловское» наивысшим РИК по удою

и содержанию белка в молоке отличались коровы с генотипом CSN3<sup>BB</sup>, высоким содержа-

нием жира в молоке – гетерозиготные коровы (CSN3<sup>AB</sup>).

**Таблица 2 – Родительский индекс коров с различными генотипами CSN3 по показателям молочной продуктивности /**

**Table 2 – The parental index of cows with different CSN3 genotypes by milk productivity data**

Показатель / Index	Генотип по гену каппа-казеина / Genotype by the kappa-casein gene			Разность между групповыми средними / Difference between group average values		
	AA	AB	BB	AA-AB	AA-BB	AB-BB
СПК «Расловское» / APC "Raslovskoe"						
Удой, кг / Milk yield, kg	6525±504	7107±229	7555±143	582	1030	448
МДЖ, % / MF, %	3,98±0,13	4,03±0,11	4,00±0,09	0,05	0,02	0,03
МДБ, % / MP, %	3,23±0,06	3,23±0,03	3,26±0,02	0	0,02	0,02
СПК «Яковлевское» / APC "Yakovlevskoye"						
Удой, кг / Milk yield, kg	9314±315	9021±247	9211±285	293	103	190
МДЖ, % / MF, %	4,38±0,09	4,39±0,11	4,30±0,04	0,01	0,08	0,09
МДБ, % / MP, %	3,21±0,03	3,23±0,05	3,27±0,05	0,02	0,05	0,03

В СПК «Яковлевское» высокие удои молока получены у носительниц гомозиготного генотипа CSN3<sup>AA</sup>, коровы с генотипом CSN3<sup>BB</sup> имели наибольшее содержание белка в молоке. Статистически значимой разницы между различными генотипами CSN3 при этом не установлено.

Расчет РИК и средних показателей собственной продуктивности коров с различными генотипами CSN3 позволил установить степень реализации их генетического потенциала (РГП) (табл. 3).

**Таблица 3 – Степень реализации генетического потенциала коров с разными генотипами CSN3 /**

**Table 3 – The extent of realization of genetic potential of cows with different CSN3 genotypes**

Показатель / Index	СПК «Расловское» / APC "Raslovskoe"			СПК «Яковлевское» / APC "Yakovlevskoye"		
	AA	AB	BB	AA	AB	BB
Удой, кг / Milk yield, kg	119,5±14	106,9±5,6	99,7±3,9	100,8±4,25	99,7±7,08	106,1±4,93
МДЖ, % / MF, %	104±5,38	105,5±4,5	112,3±3,8	93,5±3,04	100,9±3,56	93,6±4,99
МДБ, % / MP, %	101,6±2,95	100,1±2,13	103,6±0,70	97,9±2,29	101,1±2,15	103,9±1,33

В СПК «Расловское» высоким уровнем РГП по удою обладали животные с генотипом CSN3<sup>AA</sup>, по содержанию жира и белка – коровы с CSN3<sup>BB</sup>. В стаде СПК «Яковлевское» наиболее полной реализацией генетического потенциала по удою и массовой доле белка в молоке отличались коровы с генотипом CSN3<sup>BB</sup>, по массовой доле жира сравнительно высокий РГП регистрировали у носительниц генотипа CSN3<sup>AB</sup>.

**Выводы.** Таким образом, в изученных группах коров черно-пестрой породы наблюдается численное доминирование желательного генотипа CSN3<sup>BB</sup> (59,6 % животных) над другими. При этом в одной из изучаемых групп коров зафиксирована статистически значимая

разница ( $P < 0,05$  и  $P < 0,001$ ) по массовой доле белка в молоке между коровами с генотипом CSN3<sup>AA</sup> и их сверстницами с CSN3<sup>AB</sup> и CSN3<sup>BB</sup>. Похожие тенденции наблюдали при анализе продуктивности предков и реализации генетического потенциала по массовой доле белка в молоке – наиболее полно свой потенциал по данному показателю раскрывали носительницы генотипа CSN3<sup>BB</sup>. Полученные результаты исследования имеют большое практическое значение для проведения селекционно-племенной работы с черно-пестрой породой крупного рогатого скота, направленной на улучшение сыропригодности молока.



*Список литературы*

1. Шайдуллин Р. Р., Шарафутдинов Г. С., Москвичева А. Б. Белкомомолочность в течение лактации у первотелок с разными генотипами CSN3 и DGAT1. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(5):55-58. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10513> EDN: LTZRGC
2. Шевцова А. А., Климов Е. А., Ковальчук С. Н. Обзор вариабельности генов, связанных с молочной продуктивностью крупного рогатого скота. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018;(11-1):194-200. DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.12475> EDN: YOWPLF
3. Михайлова И. Ю., Лазарева Е. Г., Бигаева А. В., Гильманов Х. Х., Тюлькин С. В. Влияние генетических факторов на продуктивность коров и качество молока. Пищевая промышленность. 2021;(1):36-40.
4. Уливанова Г. В., Глотова Г. Н., Федосова О. А., Рыданова Е. А. Анализ использования генотипирования по полиморфным системам групп крови и белкам молока в племенном и промышленном скотоводстве. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020;1(45):63-69. DOI: <https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.45.1.011> EDN: EYWISY
5. Снигирев С. О., Ламонов С. А., Скоркина И. А., Гладырь Е. А. Молочная продуктивность коров разных генотипических групп чёрно-пёстрого скота в зависимости от полиморфизма гена каппа-казеина. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023;(1(72)):94-97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50421001> EDN: NOYXCZ
6. Долматова И. Ю., Валитов Ф. Р., Парамонова М. А., Абдрахманова В. Р., Мухаметзянова А. А. Влияние полиморфизма генов молочных белков коров черно-пестрой породы на качественный состав молока. Российский электронный научный журнал. 2019;(4(34)):10-18. DOI: <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2019-34-4-10-18> EDN: OEATDL
7. Волохов И. М., Калашникова Л. А., Евдокимова А. С., Пашенко О. В. Взаимосвязь качества твердых сыров с генотипом животных по каппа-казеину. Сыроделие и маслоделие. 2012;(4):31-33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17879152> EDN: PBGMMX
8. Чаицкий А. А., Лемякин А. Д., Тяжченко А. Н., Сабетова К. Д., Щеголев П. О., Белокуров С. Г., Кофиади И. А., Смирнова А. В. Влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров. Вестник АПК Верхневолжья. 2022;(2(58)):33-43. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005> EDN: AKGIDT
9. Ünal H., Kopuzlu S. The relationships between  $\kappa$ -casein (CSN3) gene polymorphism and some performance traits in Simmental cattle. Archives Animal Breeding. 2022;65(1):129-134. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-65-129-2022>
10. Cieslak J., Wodas L., Borowska A., Pawlak P., Czyzak-Runowska G., Wojtowski J., Kamila P., Kuczynska B., Mackowski M. 5'-flanking variants of equine casein genes (CSN1S1, CSN1S2, CSN2, CSN3) and their relationship with gene expression and milk composition. Journal of Applied Genetics. 2019;(60):71-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13353-018-0473-2>
11. Mahmoudi P., Rostamzadeh J., Rashidi A., Zergani E., Razmkabir M. A meta-analysis on association between CSN3 gene variants and milk yield and composition in cattle. Animal Genetics. 2020;51(3):369-381. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12922>
12. Сафина Н. Ю., Гайнутдинова Э. Р., Шакиров Ш. К. Молочная продуктивность голштинского скота с разными генотипами гена каппа-казеин (CSN3). Аграрный научный журнал. 2021;(10):93-97. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp93-97> EDN: EJAYVM
13. 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. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85> EDN: ESDYDG
14. Басонов О. А., Абдулхаликов Р. З., Тарчоков Т. Т., Кулаткова А. С. Влияние продуктивного потенциала женских предков, способов содержания и технологий доения на показатели молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023;1(39):92-100. DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2023-1-39-92-100> EDN: COQTUV
15. Чаицкий А. А., Баранова Н. С. Оценка уровня реализации биологического потенциала у крупного рогатого скота костромской породы с различными аллельными вариантами гена каппа-казеина. Вестник АПК Верхневолжья. 2021;(4(56)):33-37. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.56.4.006> EDN: NSHZWV
16. Сибатуллин Ф. С., Шайдуллин Р. Р., Шарафутдинов Г. С., Фаизов Т. Х., Зарипов Ф. Р., Шакиров Ш. К. Сравнительная характеристика быков-производителей с разными ДНК-маркерами по молочной продуктивности женских предков. Ветеринарный врач. 2017;(1):52-59.

*References*

1. Shaydullin R. R., Sharafutdinov G. S., Moskvicheva A. B. Protein content in the milk of first calf heifers of different *csn3* and *dgat1* genotypes during lactation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(5):55-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10513>
2. Shevtsova A. A., Klimov E. A., Kovalchuk S. N. Review of genes variability associated with milk productivity of dairy cattle. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied And Fundamental Research. 2018;(11-1):194-200. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.12475>
3. Mikhaylova I. Yu., Lazareva E. G., Bigaeva A. V., Gilmanov Kh. Kh., Tyulkin S. V. Influence of genetic factors on cow productivity and milk quality. *Pishcheyaya promyshlennost'* = Food Industry. 2021;(1):36-40. (In Russ.).
4. Ulianova G. V., Glotova G. N., Fedosova O. A., Rydanova E. A. Analysis of the use of genotyping by polymorphic systems of blood groups and milk proteins in breeding and industrial cattle breeding. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* = Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev. 2020;1(45):63-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.45.1.011>
5. Snigirev S. O., Lamonov S. A., Skorkina I. A., Gladys' E. A. Milk productivity of cows of different genotypic groups of black-and-white cattle depending on the polymorphism of the kappa-casein gene. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(1(72)):94-97. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50421001>
6. Dolmatova I. Yu., Valitov F. R., Paramonova M. A., Abdrakhmanova V. R., Mukhametzyanova A. A. Influence of genetic polymorphism of milk proteins to the qualitative composition of milk in animals of black-motley breed. *Rossiyskiy elektronnyy nauchnyy zhurnal* = Russian electronic scientific journal. 2019;(4(34)):10-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2019-34-4-10-18>
7. Volokhov I. M., Kalashnikova L. A., Evdokimova A. S., Pashchenko O. V. Relation of hard cheese quality with animals genotypes according to kappa-casein. *Syrodelie i maslodelie* = Cheese-making and oil-making. 2012;(4):31-33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17879152>
8. Chaitskiy A. A., Lemyakin A. D., Tyazhchenko A. N., Sabetova K. D., Shchegolev P. O., Belokurov S. G., Kofiadi I. A., Smirnova A. V. Influence of genotypes of kappa-casein gene on cheese properties of cow's milk. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2022;(2(58)):33-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005>
9. Ünal H., Kopuzlu S. The relationships between  $\kappa$ -casein (CSN3) gene polymorphism and some performance traits in Simmental cattle. *Archives Animal Breeding*. 2022;65(1):129-134. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-65-129-2022>
10. Cieslak J., Wodas L., Borowska A., Pawlak P., Czyzak-Runowska G., Wojtowski J., Kamila P., Kuczynska B., Mackowski M. 5'-flanking variants of equine casein genes (CSN1S1, CSN1S2, CSN2, CSN3) and their relationship with gene expression and milk composition. *Journal of Applied Genetics*. 2019;(60):71-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13353-018-0473-2>
11. Mahmoudi P., Rostamzadeh J., Rashidi A., Zergani E., Razmkabir M. A meta-analysis on association between CSN3 gene variants and milk yield and composition in cattle. *Animal Genetics*. 2020;51(3):369-381. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12922>
12. Safina N. Yu., Gaynutdinova E. R., Shakirov Sh. K. Dairy productivity of holstein cattle with different genotypes of the kappa-casein gene (CSN3). *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(10):93-97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp93-97>
13. Shchegolev P. O., Lemyakin A. D., Chaitskiy 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. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2022;(10):77-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85>
14. Basonov O. A., Abdulkhalikov R. Z., Tarchokov T. T., Kulatkova A. S. The influence of the productive potential of female ancestors, methods of keeping and milking technologies on the indicators of milk productivity of first-calf heifers of the holstein breed. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova* = Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2023;1(39):92-100. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2023-1-39-92-100>
15. Chaitskiy A. A., Baranova N. S. Assessment of the biological potential realization level in cattle of the kostroma breed with different allelic variants of the kappa-casein gene. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2021;(4(56)):33-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.56.4.006>
16. Sibagatullin F. S., Shaydullin R. R., Sharafutdinov G. S., Faizov T. Kh., Zaripov F. R., Shakirov Sh. K. The comparative characteristics of production bulls with various DNA-markers on dairy efficiency of female ancestors. *Veterinarnyy vrach*. 2017;(1):52-59. (In Russ.).

*Сведения об авторах*

**Лемякин Александр Дмитриевич**, селекционер-зоотехник регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, д. 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

**Баданина Лада Сергеевна**, магистрант 1-го года обучения направления 36.04.02 Зоотехния, профиль «Технология производства продуктов животноводства», ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, д. 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

✉ **Сабетова Ксения Дмитриевна**, кандидат вет. наук, зав. лабораторией генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>, e-mail: [kseniyasabetova@mail.ru](mailto:kseniyasabetova@mail.ru)

**Чанцкий Алексей Александрович**, селекционер-зоотехник регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, д. 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

**Щеголев Павел Олегович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

*Information about the authors*

**Alexander D. Lemyakin**, breeder-zootechnician of the regional information and breeding center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

**Lada S. Badanina**, Master's student of the 1st year of study, 36.04.02 Zootechnics, profile "Technology of production of livestock products", Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

✉ **Ksenia D. Sabetova**, PhD in Veterinary sciences, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>, e-mail: [kseniyasabetova@mail.ru](mailto:kseniyasabetova@mail.ru)

**Alexey A. Chaitskiy**, breeder-livestock specialist of the regional information and breeding center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

**Pavel O. Schiogolev**, PhD in Agricultural sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: [van@ksaa.edu.ru](mailto:van@ksaa.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

✉ – Для контактов / Corresponding author