

П.О. Щеголев,
А.Д. Лемякин,
А.А. Чаицкий,
К.Д. Сабетова, ✉
И.А. Кофиади,
С.Г. Белокуров

Костромская государственная
сельскохозяйственная академия,
п. Караваево, Костромская обл.,
Российская Федерация

✉ kseniyasabetova@mail.ru

Поступила в редакцию:
15.07.2022

Одобрена после рецензирования:
29.08.2022

Принята к публикации:
29.09.2022

Полиморфизм гена каппа-казеина в популяциях молочного скота Костромской области и его влияние на молочную продуктивность коров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Несмотря на более чем 20-летнюю историю изысканий, изучение полиморфизма гена каппа-казеина (CSN3) в отечественных породах крупного рогатого скота молочного направления и его влияния на показатели молочной продуктивности коров по-прежнему остается актуальным. Наибольшее число отечественных исследований по гену каппа-казеина затрагивает черно-пеструю и ярославскую породы, в то время как костромская порода молочного скота по данному направлению изучена недостаточно.

Методы. Источником ДНК для анализа была цельная кровь, отобранная из хвостовой вены животных и обработанная набором реагентов «Проба-НК» (ООО «НПО ДНК-Технология», Россия) согласно инструкции производителя. Генотипирование однонуклеотидного полиморфизма гена каппа-казеина (rs43703017) реализовано методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) с использованием амплификатора «DTprime» (ООО «НПО ДНК-технология», Россия) и технологии HRM-анализа (high resolution melting). Обработку результатов проводили с использованием методов зоотехнических и статистических исследований.

Результаты. В результате исследования установлено, что популяция коров костромской породы отличается значительно большей консолидацией генофонда по сравнению с животными черно-пестрой породы, что позволяет предполагать более высокую эффективность селекционно-племенной работы с костромской породой с использованием гена каппа-казеина в качестве генетического маркера сыропригодности молока. Ген каппа-казеина оказывает значимое влияние на параметры молочной продуктивности и функциональное долголетие коров.

Ключевые слова: ген каппа-казеина, крупный рогатый скот, костромская, ярославская, черно-пестрая порода

Для цитирования: 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; 363 (10): 77-85. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85>

© Щеголев П.О., Лемякин А.Д., Чаицкий А.А., Сабетова К.Д.*, Кофиади И.А., Белокуров С.Г.

Pavel O. Schiogolev,
Alexander D. Lemyakin,
Alexey A. Chaitskiy,
Kseniya D. Sabetova, ✉
Ilya A. Kofiadi,
Sergey G. Belokurov

Kostroma State Agricultural Academy,
Karavaevo, Kostroma region, Russian
Federation

✉ kseniyasabetova@mail.ru

Received by the editorial office:
15.07.2022

Accepted in revised:
29.08.2022

Accepted for publication:
29.09.2022

Polymorphism of the kappa-casein gene in dairy cattle populations of the Kostroma region and its effect on dairy productivity of cows

ABSTRACT

Relevance. Despite the more than 20-year history of research, the study of the polymorphism of the kappa-casein (CSN3) gene in domestic dairy cattle breeds and its effect on the indicators of dairy productivity of cows is still relevant. The largest number of domestic studies on the kappa-casein gene was carried out on the Black-and-White and Yaroslavl breeds, while the Kostroma breed of dairy cattle in this area has not been studied enough.

Methods. The source of DNA for analysis was whole blood taken from the tail vein of animals and treated with a set of reagents "Proba-NK" ("NPO DNA Technology" LLC, Russia) according to the manufacturer's instructions. Genotyping of the single-nucleotide polymorphism of the kappa-casein gene (rs43703017) was implemented by real-time PCF using the "DTprime" amplifier ("NPO DNA Technology" LLC, Russia) and HRM-analysis technology (high resolution melting). The results were processed using methods of zootechnical and statistical studies.

Results. As a result of the study, it was found that the population of cows of the Kostroma breed is characterized by a significantly greater consolidation of the gene pool compared to animals of the Black-and-White breed, which suggests a higher efficiency of breeding work with the Kostroma breed using the kappa-casein gene as a genetic marker of suitability of milk for cheese making. The kappa-casein gene has a significant effect on the parameters of dairy productivity and functional longevity of cows.

Key words: kappa-casein gene, cattle, Kostroma breed, Yaroslavl breed, Black-and-White breed

For citation: Schiogolev 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. *Agrarian science.* 2022; 363 (10): 77-85. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85> (In Russian).

© Schiogolev P.O., Lemyakin A.D., Chaitskiy A.A., Sabetova K.D., Kofiadi I.A., Belokurov S.G.

Введение / Introduction

В последние годы большое внимание исследователей направлено на локус гена каппа-казеина (k-CN, CSN3). Каппа-казеин является фракцией казеина — молочного белка. Это единственная фракция казеина, которая разрушается под действием сычужного фермента и способна стабилизировать казеиновый комплекс молока. В первой фазе свертывания молока сычужный фермент воздействует на каппа-казеин, в результате образуется нерастворимый параказеин и растворимый гликомакропептид [1].

В европейских странах с развитым молочным скотоводством, а также в США и Канаде генотипирование по гену каппа-казеина широко используется в селекционной практике. В нашей стране такие исследования проводились на коровах черно-пестрой, холмогорской, швицкой, костромской пород и имели фундаментальный характер [2].

Каппа-казеин встречается в нескольких вариантах, которые выявляются посредством электрофоретического разделения казеиновой фракции в полиакриламидном геле. Основой белкового полиморфизма каппа-казеина являются единичные аминокислотные замены. Ген каппа-казеина имеет размер 13 тысяч пар нуклеотидов (т.п.н.) и состоит из 5 экзонов общей длиной 850 пар нуклеотидов (п.н.) и 4 интронов [3]. Учеными выделено 7 аллелей каппа-казеина, такие как А, В, С, Е, F, G, H. К наиболее часто встречающимся вариантам (или аллелям) относятся А и В, которые отличаются двумя аминокислотными заменами в 135 и 148 положениях полипептидной цепи [4, 5].

Секвенирование в гене каппа-казеина ключевого экзона 4, состоящего из 483 п.н., позволило определить 7 новых аллельных вариантов, отсутствующих в ранее исследованных коммерческих породах КРС, в образцах местных пород крупного рогатого скота, взятых в разных частях мира.

В наиболее распространенных зарубежных породах молочного скота генотип ВВ практически полностью отсутствует у быков фризской и айрширской пород, а у голштинских быков в США он не превышает 10% [6]. По данным исследования Radu Ionel Neamt et al.,

в румынской популяции симментальского скота значительно преобладает аллель А с частотой встречаемости 0,785 [7]. Соответственно, генотип АА встречается у 61,5%, АВ — у 30,7% животных, а генотип ВВ встречается лишь у 6,2% коров. Похожая ситуация наблюдается в популяциях голштинского скота, разводимого в Словакии [8].

У наиболее распространенных отечественных пород скота — красно-пестрой, черно-пестрой — встречаемость генотипа CSN3^{AB} составляет 23–27%, а CSN3^{BB} — всего лишь 4,1–11,8%. Встречаемость CSN3^B аллеля у животных симментальской породы отечественной селекции составляет 36,3–47,4%, у помесных быков с участием красно-пестрых голштинов — всего 22,4%.

В таблице 1 приведены данные о распределении генотипов и аллелей CSN3 в отечественных и родственных им зарубежных породах скота молочного направления продуктивности, а также некоторые популяционно-генетические показатели, рассчитанные на основе опубликованных данных.

Как видно из данных таблицы 1, в популяциях большинства молочных пород преобладает аллель А гена каппа-казеина. Особенно это заметно у животных голштинской породы, а также голштинизированных пород (черно-пестрой, ярославской). Сходная ситуация наблюдается в большинстве локальных молочных пород стран СНГ (белорусская черно-пестрая, украинская черно-пестрая).

Наибольшая частота аллеля k-CN^B и генотипа k-CN^{BB} наблюдается у животных швицкой и костромской пород. Это объясняется тем, что это родственные породы и в их селекции не применяется голштинизация. Как отмечают А.В. Перчун, И.В. Лазебная и соавторы, частота В-аллели гена CSN3 в отдельных стадах костромской породы превышает таковую у других отечественных пород КРС, что, вероятно, определяет высокие сыродельческие качества молока.

Используя литературные данные, собранные в таблице 1, можно получить некоторые популяционно-генетические параметры исследованных популяций — величина ожидаемой гетерозиготности — H_{exp} и индекс фиксации (инбридинга) Райта — F_{is} , а также проверить

Таблица 1. Полиморфизм гена каппа-казеина в отечественных и родственных им зарубежных породах молочного скота (по литературным данным)

Table 1. Polymorphism of the kappa-casein gene in Russian national and related foreign breeds of dairy cattle (according to literature data)

Порода	n, голов	Распределение по генотипам, %			Частота аллелей		H_{exp}	χ^2	F_{is}
		АА	АВ	ВВ	А	В			
Бурая швицкая [9]	54	0,259	0,555	0,185	0,537	0,463	0,47	0,03	–0,01
Костромская [10]	30	0,076	0,092	0,832	0,256	0,744	0,48	16,1***	0,31
Костромская [11]	125	0,112	0,528	0,360	0,376	0,624	0,47	1,96	–0,12
Голштинская [12]	65	0,646	0,338	0,015	0,815	0,184	0,47	20,7***	–0,22
Голштинская [13]	116	0,61	0,36	0,03	0,79	0,21	0,33	0,84	–0,08
Черно-пестрая [14]	20	0,526	0,399	0,075	0,725	0,275	0,26	0,27	0,05
Черно-пестрая [13]	128	0,59	0,37	0,04	0,77	0,23	0,35	0,47	–0,06
Украинская черно-пестрая [15]	40	0,533	0,466	–	0,766	0,233	0,29	0,03	–0,02
Белорусская черно-пестрая [16]	1000	0,528	0,435	0,037	0,746	0,254	0,746	15,7***	–0,15
Ярославская [17]	122	0,370	0,570	0,060	0,660	0,340	0,50	0,11	0,02
Ярославская [13]	158	0,37	0,57	0,06	0,66	0,34	0,57	10,8**	–0,26
Ярославская [18]	121	0,390	0,420	0,190	0,600	0,400	0,42	0,004	–0,005

Примечание. Уровень статистической значимости: ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$

гипотезу о смещении генного равновесия в изучаемых популяциях методом «хи-квадрат» (χ^2). Так, достоверный дефицит гетерозигот ($p < 0,001$) наблюдался только в исследовании Перчуна и соавторов, что сопровождается и высоким коэффициентом фиксации, значительно превышающим показатели F_{IS} молочного скота в России, и, согласно В.М. Кузнецову, приближающимся к уровню F_{IS} итальянского молочного скота [19]. В остальных рассматриваемых популяциях дефицит гетерозигот не проходит проверку достоверности методом «хи-квадрат», а в некоторых случаях в голштинской, белорусской черно-пестрой и ярославской породах наблюдался достоверный избыток гетерозигот ($p < 0,01-0,001$), свидетельствующий об отсутствии селекционного давления в данных стадах по гену каппа-казеина.

Многими исследователями установлено, что животные с генотипом ВВ по каппа-казеину часто отличаются более высоким удоем, содержанием жира и белка в молоке [20–23]. Существуют исследования, показывающие положительную связь между В-аллелью каппа-казеина и продолжительностью лактации [24].

В некоторых исследованиях выявляются породные особенности влияния гена каппа-казеина на молочную продуктивность коров. Например, как отмечают Е.В. Белая и М.Е. Михайлова, возможна межпородная дифференциация по силе и направлению связи между генотипом коров по гену каппа-казеина и удоем. По данным исследователей, генотип ВВ является предпочтительным у коров голштинской породы по признаку удою, в то время как у коров черно-пестрой породы наибольшая положительная связь с удоем у генотипа АА [25].

Таким образом, несмотря на более чем 20-летнюю историю, изучение полиморфизма гена каппа-казеина в отечественных породах крупного рогатого скота молочного направления и его влияние на показатели молочной продуктивности коров, по-прежнему остается актуальным. Ввиду этого целью исследований являлось изучение полиморфизма гена каппа-казеина в популяциях молочного скота Костромской области и его влияния на молочную продуктивность коров.

Материал и методы исследования / Materials and method

Исследование проводилось на 194 коровах в стадах пяти племенных хозяйств Костромской области: СПК «Колхоз "Родина"» и СПК «Гридино» (костромская порода), СПК «Расловское» и СПК «Яковлевское» (черно-пестрая порода) и ООО «Ладыгино» (ярославская порода). Численность выборки коров указана в таблице 2.

Все манипуляции на крупном рогатом скоте в рамках исследования были проведены в соответствии с международными рекомендациями и российскими норма-

тивно-правовыми документами в отношении гуманного обращения с животными.

Источником ДНК для генотипирования по гену CSN3 являлась цельная кровь, отобранная из хвостовой вены животных и обработанная набором реагентов «Проба-НК» (ООО «НПО ДНК-Технология», Россия) согласно инструкции производителя.

Генотипирование однонуклеотидной замены в гене каппа-казеина (rs43703017) реализовали методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) с использованием амплификатора «DTprime» (ООО «НПО ДНК-технология», Россия) и технологии HRM-анализа (high resolution melting). Для амплификации целевых фрагментов CSN3 применяли праймеры, исключающие образование неспецифических ПЦР-продуктов. В качестве флуоресцентного ДНК-интеркалирующего красителя в составе ПЦР-смеси использовали «EvaGreen®» («Biotium»).

CSN3_A 5'-GATGGATAAATTAATCTGT-3',
CSN3_G 5'-GATGGATAAATTAACCTGT-3',
CSN3_for 5'-GCAAAATGAATAACAGCCAAG-3',
CSN3_rev 5'-TCTGCAATTTTACTCATTTTG-3'.

Плавление продуктов амплификации проводили в диапазоне от 70 °C до 90 °C с увеличением температуры на 0,2 °C каждые 10 с.

Учет и анализ результатов проводили с помощью ПО «RealTime_PCR» с применением модуля HRM-анализа. При анализе учитывали данные равномерности нагрева термоблока амплификатора (то есть к результатам кластеризации дополнительно применена опциональная настройка температурной коррекции).

Результаты предварительных HRM-протоколов были верифицированы методом прямого секвенирования по Сэнгеру с применением пар праймеров, позволявших амплифицировать более длинные фрагменты целевых последовательностей CSN3, чем праймеры для HRM-исследований.

Частоту генотипов рассчитывали по формуле 1:

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

где P — частота генотипа;

m — количество особей, имеющих определенный генотип,

N — общее число особей.

Частоту аллелей рассчитывали по формуле 2:

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

где p — частота аллеля А,

q — частота аллели В,

n_{AA} , n_{AB} , n_{BB} — число особей с генотипом АА, АВ и ВВ соответственно,

N — общее число особей.

Генное равновесие в популяции рассчитывали, используя уравнение Харди — Вайнберга 3:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1, \quad (3)$$

где p — частота аллели А,

q — частота аллели В.

С целью установить наличие и степень влияния гена CSN3 на молочную продуктивность коров была проведена серия расчетов однофакторных комплексов с использованием линейной модели 4 [26]:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i, \quad (4)$$

Таблица 2. Объем выборки в разрезе пород, разводимых в племенных хозяйствах Костромской области

Table 2. Sample size in the context of breeds bred in breeding farms of the Kostroma region

Племенное хозяйство	Порода			Всего
	костромская	ярославская	черно-пестрая	
СПК «Колхоз "Родина"»	18	—	—	
СПК «Гридино»	14	—	—	
СПК «Расловское»	—	—	48	
СПК «Яковлевское»	—	—	57	
ООО «Ладыгино»	—	57	—	
ИТОГО	32	57	105	194

Таблица 3. Распределение аллелей и генотипов гена CSN3 у подопытных коров
Table 3. Distribution of alleles and genotypes of the CSN3 gene in experimental cows

Порода, хозяйство	n, голов	Генотипы			Аллели		Гетерозиготность		χ^2	F_{IS}
		AA	AB	BB	A	B	H _{obs}	H _{exp}		
СПК «Колхоз «Родина»	18	0,056	0,000	0,944	0,056	0,944	0,000	0,105	18***	1,00***
СПК «Гридино»	14	0,071	0,214	0,714	0,179	0,821	0,214	0,293	1,02	0,27
Всего по костромской породе	32	0,063	0,094	0,844	0,109	0,891	0,094	0,194	8,61*	0,65***
СПК «Расловское»	48	0,188	0,229	0,583	0,302	0,698	0,229	0,422	10**	0,46***
СПК «Яковлевское»	57	0,211	0,175	0,614	0,298	0,702	0,175	0,419	19,2***	0,58***
Всего по черно-пестрой породе	105	0,200	0,200	0,600	0,300	0,700	0,200	0,42	28,8***	0,52***
Ярославская порода (ООО «Ладыгино»)	57	0,105	0,211	0,684	0,211	0,789	0,211	0,332	7,66**	0,37**
Всего	194	0,149	0,186	0,665	0,278	0,722	0,186	0,367	47,4***	0,53***

Примечание. Статистическая значимость параметров: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$

где y_i — это i -е значение зависимой количественной переменной y ;

x_i — значение количественного предиктора x , соответствующее i -му значению y ;

β_0 — значение, которое принимает y при $x = 0$;

β_1 — коэффициент регрессии, который показывает, насколько изменяется y при изменении x на одну единицу;

ϵ_i — остатки, то есть разница между наблюдаемыми значениями y_i и средними значениями, предсказанными моделью для каждого x_i .

Силу влияния фактора определяли по формуле 5 [27]:

$$\eta = \frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{общ}}} 100, \quad (5)$$

где $C_{\text{факт}}$ — сумма квадратов отклонений групповых средних от общей средней по выборке;

$C_{\text{общ}}$ — сумма квадратов отклонений всех членов выборки от общей выборочной средней.

Расчеты популяционно-генетических параметров проводились при помощи расширения «GenAlEx» для табличного процессора «Microsoft Excel 2016» [28].

Статистическая обработка результатов исследования проводилась при помощи языка статистического программирования R (версия 4.0.6) в среде разработки «RStudio» (версия 1.4.1106) с использованием функций mean (), sd (), t.test (), lm () и anova ().

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты генотипирования коров костромской, черно-пестрой и ярославской пород представлены в таблице 3.

Проверка справедливости уравнения Харди — Вайнберга с помощью найденных практически путем частот встречаемости генотипов CSN3 у подопытных коров и рассчитанных ожидаемых значений показала достоверное смещение частот встречаемости во всех изученных популяциях, кроме стада СПК «Гридино». При этом во всех группах животных наблюдался дефицит гетерозигот, наиболее выраженный в черно-пестрой породе — как в популяции в целом, так и в отдельных субпопуляциях, где индекс фиксации F_{IS} находился на уровне 0,46–0,58. В популяции костромской породы общий индекс фиксации был больше, чем у черно-пестрой, на 0,13, при этом структуры популяций, судя по индексам фиксации отдельных субпопуляций, различаются.

Если в СПК «Расловское» и СПК «Яковлевское» дефицит гетерозигот ярко выражен в обоих стадах, то разница между субпопуляциями в СПК «Гридино» и СПК «Колхоз «Родина», судя по кардинально различающимся коэффициентам фиксации, более существенна.

Данные о распределении генотипов и аллелей гена CSN3, полученные в ходе исследования, выходят за рамки результатов, полученных другими авторами. Так, если по черно-пестрой породе частота аллели CSN3^B указывалась в пределах 0,158–0,254, то в нашем исследовании частота аллели CSN3^B в популяции коров черно-пестрой породы составила 0,700 [13–16]. Это превышает показатели даже по голштинской породе (0,21–0,39) по данным ряда исследователей [12, 13].

Так, в ярославской породе крупного рогатого скота частота аллели CSN3^B по литературным данным колеблется от 0,3 до 0,545, а в результате проведенного нами генотипирования популяции коров в ООО «Ладыгино» — 0,978 [13, 16, 18]. Частота аллели CSN3^B в костромской породе, по данным Г.Е. Сулимовой с соавторами и А.В. Перчуна с соавторами, находилась в пределах 0,595–0,624, однако, по данным проведенного нами генотипирования, частота аллели CSN3^B составила 0,891 [10, 11]. При этом у коров изученных популяций наибольшую частоту встречаемости аллели CSN3^B имели коровы костромской породы, наименьшую — черно-пестрой породы, а коровы ярославской породы занимали промежуточное положение, что в целом соответствует литературным данным.

Рассматривая изученные популяции коров, нельзя не отметить значительное и достоверное ($p < 0,05$ – $0,001$) смещение генетического равновесия в сторону дефицита гетерозигот во всех популяциях и почти во всех субпопуляциях, кроме стада СПК «Гридино». В сочетании с высоким коэффициентом фиксации F_{IS} это свидетельствует о сильном давлении различных факторов на распределение генотипов гена CSN3 в изучаемых популяциях крупного рогатого скота. Согласно В.М. Кузнецову, такими факторами могут являться: 1) жесткий отбор по признакам, ассоциированным с конкретными генотипами CSN3 — эффект генетического хичхайкинга; 2) разделение популяций и субпопуляций на группы, между которыми затруднена миграция (поток) генов — эффект Воланда; 3) интенсивное использование близкородственного спаривания (инбридинга) при осуществлении подбора животных для

разведения [19]. Вероятно, в рассматриваемых популяциях совместно действуют все три обозначенных фактора, поскольку все изучаемые стада коров являются племенными, что влечет за собой: а) селекцию животных по признакам, ассоциированным с сыропригодностью молока, следовательно, косвенно влияющими на распределение генотипов CSN3; б) генетическое обособление внутри стад групп коров согласно их принадлежности к генеалогическим линиям вследствие применяемой практики линейного разведения; в) применение инбридинга при реализации внутрилинейного подбора.

Сравнивая между собой популяции и субпопуляции подопытных коров, можно подметить некоторые особенности. Так, дефицит гетерозигот в популяции коров ярославской породы выражен значительно меньше, чем в костромской и черно-пестрой породах, что может обуславливаться разделением популяций коров костромской и черно-пестрой породы на субпопуляции и проявлением эффекта Воланда. При этом, изучаемые стада в костромской породе сильно различаются по распределению генотипов CSN3: среди коров из стада СПК «Колхоз "Родина"» регистрировалось полное отсутствие гетерозигот, в то время как в СПК «Гридино» — соблюдение генетического равновесия, что говорит о беспрепятственном распределении генотипов и аллелей гена CSN3 между животными данной субпопуляции. В то же время, различия в F_{IS} между субпопуляциями в черно-пестрой породе значительно меньше, что может говорить о большем генетическом сходстве между стадами внутри породы.

Для более подробного изучения структуры популяций костромской и черно-пестрой пород в Костромской области рассчитаны популяционно-генетические параметры, отражающие структуру популяций: субпопуляционный индекс фиксации Райта (F_{IT}), индекс дифференциации популяций Райта (F_{ST}), генетическое расстояние между субпопуляциями (d), поток генов между субпопуляциями, выраженный в количестве мигрантов за одно поколение (N_m) и индекс информации (разнообразия) Шеннона (I). Все эти данные представлены в таблице 4.

По данным таблицы 4 можно судить о различии между структурой популяций костромской и черно-пестрой пород на территории Костромской области. Если генотипические различия между породными популяциями в рамках региона существенны и статистически значимы ($p < 0,001$), то дивергенция в самих породных популяциях между субпопуляциями не преодолевает порог достоверности ни в костромской, ни в черно-пестрой породах. В то же время, величина F_{ST} между субпопуляциями костромской породы значительно выше, чем между стадами черно-пестрой породы, что указывает на более выраженную их дифференциацию. Однако дифференциация субпопуляций как в костромской,

так и в черно-пестрой породах по этому показателю не выходит за рамки «слабой, но заслуживающей внимание» [19].

Кроме того, можно констатировать, что в рамках костромской породы миграция генов происходит с гораздо меньшей интенсивностью, чем в черно-пестрой породе, о чем свидетельствует более низкий популяционный коэффициент фиксации (F_{IT}) и субпопуляционной дифференциации (F_{ST}), а также более значительное количество мигрантов за поколение (N_m).

Количество мигрантов на поколение (N_m) в обеих популяциях не позволяет говорить о достаточной степени генетической дифференциации между стадами, при этом поток генов в черно-пестрой породе на несколько порядков больше, чем в костромской. Настолько большие различия между породами, очевидно, являются следствием разных подходов к селекционно-племенной работе внутри пород. В работе с черно-пестрой породой распространена практика массового применения племенного материала голштинской породы, генеалогическая структура которой редуцирована фактически до двух линий, что привело к размыванию генетической структуры черно-пестрой породы. В костромской породе, несмотря на активное использование быков-производителей родственной швицкой породы, генетические различия между генеалогическими группами животных выражены более четко благодаря направленной работе по сохранению и совершенствованию линий и родственных групп.

Следует отметить, что наряду с показателями F-статистики Райта, информацию о структуре популяции можно получить из показателей генетического разнообразия Шеннона. Общий информационный индекс Шеннона (I) показывает, что генетическое разнообразие в целом в популяции коров черно-пестрой породы выше, чем в костромской породе, но при этом не учитывается структура популяций [26].

Исходя из рассчитанных значений индекса Шеннона наибольшее генетическое разнообразие отмечается в популяции скота черно-пестрой породы, а значительно меньшее — в популяции коров костромской породы. Но получить более точный ответ на вопрос, за счет чего наблюдается такое различие в значениях индекса Шеннона можно, воспользовавшись инструментами информационной статистики Шеннона (рис. 1–2).

На рисунке 1 представлены индексы генетического разнообразия и генетического совпадения Шеннона внутри субпопуляций и между ними в костромской породе, а на рисунке 2 — аналогичные данные для популяции коров черно-пестрой породы. Как видно на рисунках 1 и 2, генетическое разнообразие внутри стад черно-пестрой породы гораздо выше, чем внутри субпопуляций костромской породы. Однако при этом генетические различия между субпопуляциями в костромской породе более выражены, чем в черно-пестрой. Это указывает на более выраженную консолидацию генетического материала в костромской породе в отношении гена каппа-казеина, что во многом предопределяет генетическую предрасположенность коров данной породы производить сыропригодное молоко.

Также в рамках исследования проводили изучение влияния гена CSN3 на молочную продуктивность и продуктивное долголетие коров.

Таблица 4. Популяционно-генетические параметры структуры изученных популяций коров

Table 4. Population-genetic parameters of the structure of the studied cow populations

Порода	n	F_{IS}	F_{IT}	F_{ST}	d	N_m	I
Костромская	32	0,65	0,557	0,012	0,012	20,4	0,330
Черно-пестрая	105	0,52	0,518	0,0001	0,0001	14262,7	0,611
Всего	137	0,53	0,498	0,050***	0,051	4,8	0,494

Примечание. Статистическая значимость параметров:

* — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$.

Рис. 1. Индексы генетического разнообразия (D') и совпадения (O') Шеннона для популяции молочного скота костромской породы

Fig. 1. Shannon indices of genetic diversity (D') and coincidence (O') for a population of dairy cattle of the Kostroma breed

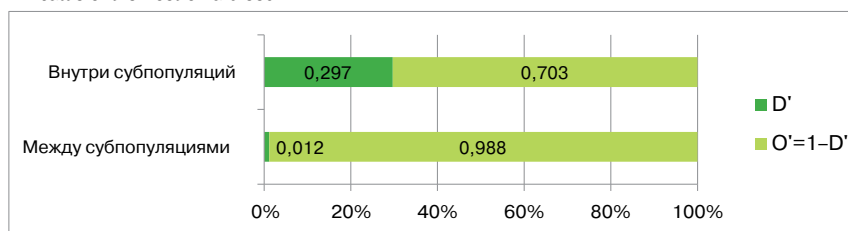
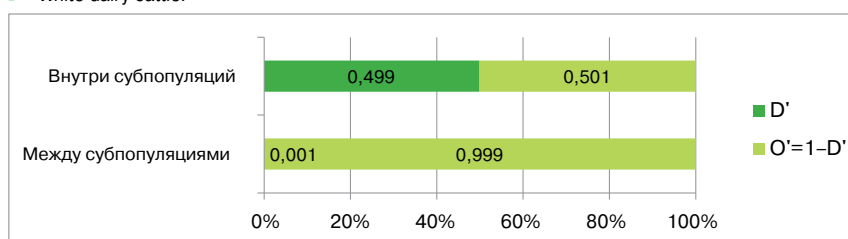


Рис. 2. Индексы генетического разнообразия (D') и совпадения (O') Шеннона для популяции молочного скота черно-пестрой породы.

Fig. 2. Shannon indices of genetic diversity (D') and coincidence (O') for a population of Black-and-White dairy cattle.



Для определения силы влияния фактора генотипа CSN3 на показатели молочной продуктивности и функциональное долголетие была проведена серия расчетов методом однофакторного дисперсионного анализа, в котором в качестве предиктора использовались данные о распределении генотипов коров по гену CSN3. При этом в качестве зависимой переменной выступали данные об удое, содержании жира и белка за первую лактацию и в среднем за первые три лактации, а также сведения о количестве завершенных лактаций. Результаты расчетов приведены в таблице 5.

(13,9%), достоверное влияние предиктора на другие изучаемые признаки в данном поголовье не выявлено.

В популяции ярославского скота (ООО «Ладыгино») выявлено статистически значимое влияние генотипа CSN3 на удой и содержание белка в молоке, как в возрасте первой лактации, так и в среднем за первые три лактации ($p < 0,05$). Сила влияния предиктора на данные переменные составила от 13,1% до 15,2%.

В ходе исследования была проанализирована разность по молочной продуктивности между коровами разных генотипов (таблица 6).

Таблица 5. Влияние генотипа CSN3 на молочную продуктивность и функциональное долголетие коров

Table 5. Impact of CSN3 genotype in cow dairy productivity and functional longevity

Показатели	Зависимая переменная						
	удой за 1-ю лактацию	МДЖ за 1-ю лактацию	МДБ за 1-ю лактацию	средний удой за первые 3 лактации	средняя МДЖ за первые 3 лактации	средняя МДБ за первые 3 лактации	количество законченных лактаций
Костромская порода (СПК «Колхоз "Родина"»)							
F-критерий	0,0928	0,1769	1,0689	0,0226	0,016	0,0001	0,5806
Сила влияния, %	0,6	1,1	6,3	0,1	0,1	0,0004	3,5
Костромская порода (СПК «Гридино»)							
F-критерий	4,461	0,8278	0,301	1,7491	0,3799	1,0756	1,6355
Сила влияния, %	44,8*	13,1	5,2	24,1	6,5	16,3	22,9
Черно-пестрая порода (СПК «Расловское»)							
F-критерий	0,1292	0,1063	0,3763	0,3845	0,3189	0,228	5,3065
Сила влияния, %	0,6	0,5	1,6	1,7	1,4	1,0	19,1**
Черно-пестрая порода (СПК «Яковлевское»)							
F-критерий	1,8091	4,2711	0,7233	1,0777	3,2516	2,5111	0,5113
Сила влияния, %	6,4	13,9*	2,7	3,9	10,9	8,7	1,9
Ярославская порода (ООО «Ладыгино»)							
F-критерий	4,409	2,32	4,831	4,078	2,396	4,44	2,3224
Сила влияния, %	14,0*	7,9	15,2*	13,1*	8,1	14,1*	7,9

Примечание. Уровни статистической значимости: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$

Таблица 6. Молочная продуктивность и срок хозяйственного использования коров с разными генотипами CSN3

Table 6. Milk productivity and economic usage duration in cows with different CSN3 genotypes

Генотип	n, голов	1-я лактация			Среднее за 1–3-ю лактации			Количество законченных лактаций
		удой, кг	жир,%	белок,%	удой, кг	жир,%	белок,%	
		Костромская порода (СПК «Колхоз "Родина"»)						
AA	1	4946	3,98	3,14	5396	3,95	3,22	3
AB	–	–	–	–	–	–	–	–
BB	17	4604±227	3,93±0,02	3,23±0,02	5205±258	3,94±0,02	3,22±0,01	4,76±0,47
		Костромская порода (СПК «Гридино»)						
AA	1	3335	4,64	3,2	4692	4,52	3,19	8
AB	3	6094±35	4,35±0,06	3,30±0,04	6572±168	4,48±0,02	3,33±0,02	3,67±0,24
BB	10	5847±192	4,45±0,03	3,32±0,03	6073±184	4,54±0,02	3,30±0,02	4,20±0,48
		Черно-пестрая порода (СПК «Расловское»)						
AA	9	5956±136	3,92±0,05	3,27±0,03	6448±147	4,05±0,05	3,27±0,028	2,56±0,15 2**
AB	11	5962±181	3,88±0,07	3,30±0,02	6707±156	4,09±0,07	3,27±0,02	1,64±0,10
BB	28	5836±163	3,92±0,05	3,26±0,02	6685±146	4,13±0,06	3,25±0,02	2,29±0,13 2**
		Черно-пестрая порода (СПК «Яковлевское»)						
AA	12	8109±392	3,96±0,10	3,12±0,03	8611±274	3,96±0,09	3,15±0,04	2,0±0,25
AB	10	7171±461	4,28±0,14 3*	3,18±0,04	8034±432	4,17±0,12 3*	3,21±0,04 3*	2,3±0,21
BB	34	7975±206	3,92±0,05	3,13±0,02	8576±176	3,87±0,13	3,10±0,05	2,23±0,026
		Ярославская порода (ООО «Ладыгино»)						
AA	6	4524±329	3,85±0,13	3,05±0,06	5148±420	3,84±0,15	3,09±0,06	2,67±0,33
AB	12	5384±278 3*	3,76±0,05	3,12±0,08	5705±233 3*	3,76±0,05	3,14±0,02	2,83±0,55
BB	34	4614±123	3,91±0,03 2*	3,18±0,02	4993±111	3,89±0,38 2*	3,19±0,02	4,10±0,01 2**

Примечание. Уровни статистической значимости: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$). Цифровые обозначения показывают достоверность разности текущей группы с носителями генотипов: 1 — CSN3^{AA}, 2 — CSN3^{AB}, 3 — CSN3^{BB}.

Поскольку распределение генотипов в хозяйствах с костромской породой коров оказалось сильно смещено в сторону аллели CSN3^B, статистический анализ продуктивности животных в данных популяциях не дал достоверных результатов. В то же время, у коров черно-пестрой породы наблюдались достоверные различия по некоторым показателям. Так, в группе животных из СПК «Расловское» носительницы генотипов CSN3^{AA} и CSN3^{BB} достоверно превосходили гетерозигот CSN3^{AB} по числу законченных лактаций — на 0,92 и 0,65 лактации соответственно ($p < 0,01$). В группе животных из СПК «Яковлевское» носительницы генотипа CSN3^{AB} достоверно превосходили гомозигот CSN3^{BB} по содержанию жира за 1-ю лактацию на 0,36%, а также по среднему содержанию жира и белка за первые три лактации — на 0,3% и 0,11% соответственно ($p < 0,05$).

Популяция коров ярославской породы, представленная животными из ООО «Ладыгино», характеризовалась более высокими удоєм у гетерозиготных (CSN3^{AB}) первотелок по сравнению с CSN3^{BB}-гомозиготами — на 770 кг, однако по содержанию жира в молоке носительницы генотипа CSN3^{BB} имели значимое превосходство над гетерозиготными сверстницами на 0,15% ($p < 0,05$). Средний удой за первые три лактации у гетерозиготных коров также был достоверно выше, чем у носительниц CSN3^{BB}, — на 712 кг, однако по содержанию жира в молоке, напротив, CSN3^{BB}-гомозиготы достоверно превосходили гетерозигот на 0,13% ($p < 0,05$). Кроме того, по количеству законченных лактаций коровы с генотипом CSN3^{AB} достоверно уступали носительницам генотипа CSN3^{BB} на 1,27 лактации ($p < 0,01$).

Таким образом, положительное влияние генотипа CSN3^{BB} на удой, содержание жира и белка в молоке, отмеченное рядом ученых, в наших исследованиях частично подтвердилось относительно содержания жира в молоке [7, 9, 17, 18, 20–23]. Возможно, имеют место породные особенности влияния генотипов гена каппа-казеина на показатели молочной продуктивности коров, что согласуется с исследованиями Е.В. Белой и М.Е. Михайловой [25].

Выводы/Conclusion

В ходе исследования полиморфизма гена каппа-казеина у коров костромской, черно-пестрой и ярославской пород в племенных хозяйствах Костромской области установлено следующее.

Частота желательного аллеля CSN3^B у всех трех пород значительно выше, чем было установлено ранее другими исследователями для этих же пород. При этом ранжирование пород по частоте встречаемости данного аллеля соответствует возрастающему ряду «черно-пестрая — ярославская — костромская».

Изученная популяция коров костромской породы отличается значительно большей консолидацией генотипов по сравнению с животными черно-пестрой породы. Это позволяет предполагать более высокую эффективность селекционно-племенной работы с костромской породой с использованием гена каппа-казеина в качестве генетического маркера сыропригодности молока.

Ген каппа-казеина оказывает значимое влияние на параметры молочной продуктивности и функциональное долголетие коров, определяя 13,1–44,8% изменчивости по удою, 13,9% — по массовой доле жира, 14,1–15,2% —

по массовой доле белка в молоке ($p < 0,05$), а также 19,1% изменчивости по количеству законченных лактаций.

Высокий удой в большинстве случаев ассоциирован с гетерозиготным генотипом CSN3^{AB}, однако по функциональному долготелю коровы с данным генотипом уступают гомозиготам CSN3^{AA} и CSN3^{BB}. При этом ассоциация генотипов гена каппа-казеина с параметрами молочной продуктивности имеет породные особенности: в черно-пестрой породе с жирномолочностью связан генотип CSNAB, а в ярославской — CSN3BB.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Работа выполнена при поддержке Департамента Костромской области 16.06.2021–30.10.2021. Инв. № 0841200000721000833.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шайдунлин Р.Р., Шарафутдинов Г.С., Москвичева А.Б. Межлинейный полиморфизм гена каппа-казеина и его влияние на молочную продуктивность коров. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;5(33): 51-54.
2. 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 (81): 193-197.
3. Гатилова Е.В., Ефимова Л.В., Иванова О.В. Встречаемость генотипов каппа-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров разных пород. *Вестник АПК Ставрополя*. 2020;4(40):42-47.
4. Чаицкий А.А., Лемякин А.Д., Тяжченко А.Н. [и др.] Влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2022;2(58):33-43.
5. Зырянова А.А., Севостьянов М.Ю., Шевкунов О.А. Генетическая структура симментальского скота по гену каппа-казеина и ее влияние на молочную продуктивность. *Вестник Курганской ГСХА*. 2022;1(41):26-31.
6. Тюлькин С.В., Гильманов Х.Х., Вафин Р.Р. Молочная продуктивность и качество молока коров с разными генотипами каппа-казеина и тиреоглобулина. *Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность: сборник материалов II Национальной (Всероссийской) конференции ученых в рамках III международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии»*, Кемерово. 2021; 268-270.
7. Neamt R.I., Saplacan Gh., Acatincai S., Csiszter L.T., Gavojdian D., Ilie D.E. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle. *Acta Biochim Pol.* 2017;64(3):493-497. doi: 10.18388/abp.2016.1454.
8. Miluchová, M., Gábor, M., Candrák, J., Trakovická, A., & Candráková, K. (2018). Association of HindIII-polymorphism in kappa-casein gene with milk, fat and protein yield in holstein cattle. *Acta biochimica Polonica*, 2018; 65(3): 403–407. Doi: https://doi.org/10.18388/abp.2017_2313
9. Марзанов Н.С., Попов А.Н., Фейзуллаев Ф.Р. Генодиагностика и популяционно-генетические параметры у коров бурой швейцарской породы и их влияние на качество айрана. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина»*. 2021;1:471-480.
10. 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.
11. Перчук А.В., Лазебная И.В., Белокуров С.Г., Рузина М.Н., Сулимова Г.Е. Полиморфизм генов CSN3, bPRL и bGH у коров костромской породы в связи с показателями молочной продуктивности. *Фундаментальные исследования*. 2012;11(2):304-308.
12. Юдина О.П., Ефимов И.А., Гегамян Н.С., Краковсевич Т.В. Репродуктивные показатели дочерей быков голштинской породы в зависимости от генотипа быка по гену каппа-казеина. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2018;4:140-144.
13. Чижова Л.Н., Суржикова Е.С., Чудновец А.И., Шарко Г.Н., Михайленко Т.Н. Межпородная дифференциация аллельного полиморфизма генов CSN3, PIT-1, PRL, GH, LEP молочного скота. *Вестник АПК Ставрополя*. 2020;1(37):34-38.
14. Афанасьева А.И., Сарычев В.А. Характеристика полиморфизма генов каппа-казеина (CSN3), бета-лактоглобулина (BLG), альфа-лактоальбумина (LALBA) и лептина (LEP) у крупного рогатого скота черно-пестрой породы. *Аграрная наука — сельскому хозяйству: Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Алтайский государственный аграрный университет*. 2022;1:92-93.
15. Митюгло И.Д. Полиморфизм гена каппа-казеина у коров разных пород в Украине. Достижения и актуальные проблемы генетики, биотехнологии и селекции животных: Материалы Международной научно-практической конференции. Витебск: Учреждение образования «Витебский ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2021;1:35-38.
16. Епишко О.А., Пешко В.В., Танана Л.А., Пешко Н.Н., Мазурек Б.Г. Генетическая структура крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы по генам CSN2 и CSN3 // Вклад науки и практики в обеспечение продовольственной безопасности страны при техногенном ее развитии : Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Брянск, 18–19 марта 2021 года. — Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2021;114-117.
17. Чижова Л.Н., Суржикова Е.С., Михайленко Т.Н. Оценка генетического потенциала молодняка молочного скота по маркерным генам CSN3, GH, pit-1, PRL. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020;6:40-46.

Исходя из вышеуказанного, считаем необходимым направить все возможные усилия на сохранение и развитие костромской породы крупного рогатого скота как отечественной породы, наиболее подходящей для производства сыра высокого качества. Использование в этом качестве черно-пестрой породы отбросит селекционный процесс на несколько поколений назад, что в условиях низкой обеспеченности племенными ресурсами совершенно недопустимо.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific 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 work was carried out with the support of the Department of the Kostroma region on 16.06.2021–30.10.2021. No. 0841200000721000833.

REFERENCES

1. Shaidullin R.R., Sharafutdinov G.S., Moskvicheva A.B. Characteristics of kappa-casein gene and its influence on milk productivity. *Achievements of science and technologies of agriculture*. 2019;5(33):51-54. (in Russian)
2. Harlamov A.V., Panin V.A., Kosilov V.I. Influence of kappa-casein and lactoglobulin genes on dairy productivity of cows and protein composition of milk. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2020; 1 (81): 193-197. (in Russian)
3. Gatilova E.V., Efimova L.V., Ivanova O.V. The occurrence of genotypes of kappa-casein and its impact on milk productivity of cows of various breeds. *Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol*. 2020;4(40):42-47. (in Russian)
4. Chaitskiy A.A., Lemyakin A.D., Tyazhchenko A.N. Impact of genotypes of kappa-casein gene to cheese producing properties of cow's milk. *Bulletin of the Agroindustrial complex of the Upper Volga region*. 2022;2(58):33-43. (in Russian)
5. Zyryanova A.A., Sevastyanov M.Y., Shevkunov O.A. Genetics structure of simmental cattle by kappa-casein gene and its effect to milk productivity. *Bulletin of Kurgan government agricultural academy*. 2022;1(41):26-31. (in Russian)
6. Tyulkin S.V., Gilmanov H.H., Vafin R. R. Milk productivity and milk quality of cows with different genotypes of kappa-casein and thyroglobulin. *Current directions of scientific research: technologies, quality and safety: collection of materials of the II National (All-Russian) conference of scientists within the III International Symposium "Innovations in food biotechnology"*, Kemerovo. 2021; 268-270. (in Russian)
7. Neamt R.I., Saplacan Gh., Acatincai S., Csiszter L.T., Gavojdian D., Ilie D.E. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle. *Acta Biochim Pol.* 2017;64(3):493-497. doi: 10.18388/abp.2016.1454.
8. Miluchová, M., Gábor, M., Candrák, J., Trakovická, A., & Candráková, K. (2018). Association of HindIII-polymorphism in kappa-casein gene with milk, fat and protein yield in holstein cattle. *Acta biochimica Polonica*, 2018; 65(3): 403–407. Doi: https://doi.org/10.18388/abp.2017_2313
9. Marzanov N. S., Popov A. N., Feyzullaev F. R. Genodiagnostics and population-genetic parameters in brown Swiss cows and their impact on the quality of ayran. Ministry of Agriculture of the Russian Federation; *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K.I. Scriabin"*. 2021;1:471-480. (in Russian)
10. Chatskiy A.A., Baranova N.S. Assessment of the level of realization of biological potential in Kostroma cattle with various allelic variants of the kappa-casein gene. *Bulletin of the Agroindustrial complex of the Upper Volga region*. 2021;4(56):33-37. (in Russian)
11. Perchun A.V., Lazebnaya I.V., Belokurov S.G., Ruzina M.N., Sulimova G.E. Polymorphism of CSN3, BGLH and BPRL genes in connection with milk quality traits in Kostroma cattle breed. *Fundamental researches*. 2012;11(2):304-308. (in Russian)
12. Yudina O.P., Efimov I.A., Geghamyan N.S., Krakovsech T.V. Reproductive indicators of daughters of Holstein bulls depending on the genotype of the bull by the kappa-casein gene. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2018;4:140-144. (in Russian)
13. Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Chudnovets A.I., Sharko G.N., Mikhailenko T.N. Interbreed differentiation of allelic polymorphism of CSN3, PIT-1, PRL, GH, LEP genes in dairy cattle. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2020;1(37):34-38. DOI 10.31279/2222-9345-2020-9-37-34-38. (in Russian)
14. Afanasieva A.I., Sarychev V.A. Characteristics of polymorphism of kappa-casein (CSN3), beta-lactoglobulin (BLG), alpha-lactalbumin (LALBA) and leptin (LEP) genes in black-and-white cattle. *Agrarian science — agriculture: Collection of materials of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Altai State Agrarian University. 2022;1:92-93. (in Russian)
15. Mitioglo I.D. Polymorphism of the kappa-casein gene in cows of different breeds in Ukraine. *Achievements and actual problems of genetics, biotechnology and animal breeding: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Vitebsk: Educational institution "Vitebsk Order "Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine". 2021;1:35-38. (in Russian)
16. Epishko O.A., Peshko V.V., Tanana L.A., Peshko N.N. Genetic structure of cattle Belarusian black-mottled breed of genes CSN2 and CSN3. *Book of abstracts of Int. conf. "The contribution of science and practice to ensuring the country's food security during its technogenic development"* 18-19 Mar. 2021. Bryansk, Russia. 2021;114-117. (in Russian)
17. Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Mikhailenko T.N. Assessment of the genetic potential of young dairy cattle by marker genes CSN3, GH, pit-1, PRL. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020;6:40-46. (in Russian)

18. Илья А.В., Абрамова М.В., Зырянова С.В. Аллельный полиморфизм крупного рогатого скота Ярославской породы по генам молочной продуктивности. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2018;4(53):55-62.
19. Кузнецов В.М. Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;2(22):167-187.
20. Ünal, H., & Kozuplu, S. The relationships between κ -casein (CSN3) gene polymorphism and some performance traits in Simmental cattle. *Archives animal breeding*. 2022;65(1):129-134. <https://doi.org/10.5194/aab-65-129-2022>
21. Веселова В.Р., Коптев В.В., Илья А.В., Ковалева М.И. Изучение генетического полиморфизма аллельных вариантов генов CSN2 и CSN3 у крупного рогатого скота Ярославской породы. Интеграция науки и высшего образования, как основа инновационного развития аграрного производства. *Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием*, Ярославль. 2019;1:36-38.
22. Шайдуллин Р.Р., Шарафутдинов Г.С., Москвичева А.Б. Сыропригодность молока черно-пестрых коров с разными генотипами каппа-казеина и диацилглицерол о-ацилтрансферазы. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; 2:59-63.
23. Часовщикова М.А. Качество молока-сырья и выход сыра в зависимости от генотипа коров. Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса в реализации Государственной программы развития сельского хозяйства до 2020 года: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева, Курган, 18-19 апреля 2019 года. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. 2019;1:799-802.
24. Юдина О.П., Делян А.С., Ермилов А. Н. и др. Влияние генотипов гена каппа-казеина и страны происхождения быков-производителей голштинской породы на основные хозяйственно-полезные признаки их дочерей. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020;1:76-94.
25. Тамарова Р.В., Егорашина Е. В. Влияние разных генотипов каппа-казеина и бета-лактоглобулина на продуктивность коров айрширской, голштинской и Ярославской пород. *Главный зоотехник*. 2021;2(221):9-27.
26. Fagaway J.J. Однофакторный дисперсионный анализ как линейная модель [Электронный ресурс] URL: <https://r-analitics.blogspot.com/2013/02/blog-post.html> (дата обращения: 31.03.2022).
27. Лакин Г.Ф. Биометрия. Г.Ф. Лакин. Изд. 4, перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1990.
28. Кузнецов В.М. Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом (аналитический обзор). *Аграрная наука евро-северо-востока*. 2021;22(2):167-187.
29. Ilyina A.V., Abramova M. V., Zyryanova S. V. Allelic polymorphism of Yaroslavl cattle by genes of dairy productivity. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*. 2018;4(53):55-62. (in Russian)
30. Kuznetsov V.M. Evaluation of genetic differentiation of populations by molecular dispersion analysis (analytical review). *Agrarian science of the Euro-North-East*. 2021.2(22):167-187. (in Russian)
31. Ünal, H., & Kozuplu, S. The relationships between κ -casein (CSN3) gene polymorphism and some performance traits in Simmental cattle. *Archives animal breeding*. 2022;65(1):129-134. <https://doi.org/10.5194/aab-65-129-2022>
32. Veselova V.R., Koptev V.V., Ilyina A.V., Kovaleva M.I. Study of genetic polymorphism of allelic variants of CSN2 and CSN3 genes in Yaroslavl cattle. Integration of science and higher education as the basis for innovative development of agricultural production. *Materials of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation*, Yaroslavl. 2019;1:36-38. (in Russian)
33. Shaidullin R.R., Sharafutdinov G.S., Moskvicheva A.B. Cheese suitability of milk of black-and-white cows with different genotypes of kappa-casein and diacylglycerol o-acyltransferase. *Izvestiya Samara State Agricultural Academy*. 2020; 2:59-63.
34. Chasovshchikova M.A. The quality of raw milk and the yield of cheese depending on the genotype of cows. Scientific and technical support of the agro-industrial complex in the implementation of the State Program for the development of agriculture until 2020: A collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev, Kurgan, April 18-19. 2019;1:799-802. (in Russian)
35. Yudina O.P., Delyan A.S., Ermilov A. N., etc. The influence of the genotypes of the kappa-casein gene and the country of origin of Holstein bulls on the main economically useful signs of their daughters. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*. — 2020;1:76-94. (in Russian)
36. Tamarova R.V., Egorashina E. V. The influence of different genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin on the productivity of cows of Ayrshire, Holstein and Yaroslavl breeds. *Animal science chief*. 2021;2(221):9-27. (in Russian)
37. Faraway J.J. Linear models with R. Chapman&Hall/CRC. 2009.
38. Lakin G.F. Biometrics Ed. 4, revised. and additional - M.: Higher School, 1990. (in Russian)
39. Kuznetsov V.M. Evaluation of genetic differentiation of populations by molecular dispersion analysis (analytical review). *Agrarian science of the Euro-North-East*. 2021;22(2):167-187. (in Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Павел Олегович Щеголев

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий
Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
34, ул. Учебный городок, Костромская обл., 156530, Российская Федерация
E-mail: bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Александр Дмитриевич Лемякин

магистрант 2 года очной формы обучения направления подготовки 36.04.02 Зоотехния, профиль «Технология производства продуктов животноводства», техник лаборатории генетики и ДНК технологий
Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
34, ул. Учебный городок, Костромская обл., 156530, Российская Федерация
E-mail: whichspecial@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Алексей Александрович Чацкий

младший научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий
Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
34, ул. Учебный городок, Костромская обл., 156530, Российская Федерация
E-mail: leha.chaitskiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Ксения Дмитриевна Сабетова

кандидат ветеринарных наук, заведующий лабораторией генетики и ДНК технологий
Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
34, ул. Учебный городок, Костромская обл., 156530, Российская Федерация
E-mail: kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Илья Андреевич Кофиади

доктор биологических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий
Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
34, ул. Учебный городок, Костромская обл., 156530, Российская Федерация
E-mail: kofiadi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9280-8282>

Сергей Гаврилович Белокуров

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий
Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
34, ул. Учебный городок, Костромская обл., 156530, Российская Федерация
E-mail: sgbelokurov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6404-0453>

ABOUT THE AUTHORS:

Pavel Olegovich Schiogolev

PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Genetics and DNA Technologies
Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma region, 156530, Russian Federation
E-mail: bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Alexander Dmitrievich Lemyakin

Master's student 2 years 36.04.02 Zootechnics, profile «Technology of production of livestock products», technician of the laboratory of genetics and DNA technologies
Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma region, 156530, Russian Federation
E-mail: whichspecial@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Alexey Alexandrovich Chaitskiy

Researcher at the Laboratory of Genetics and DNA Technology
Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma region, 156530, Russian Federation
E-mail: leha.chaitskiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Kseniya Dmitrievna Sabetova

PhD in Veterinary Sciences, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies in Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma region, 156530, Russian Federation
E-mail: kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Ilya Andreevich Kofiadi

Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Genetics and DNA Technologies in Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma region, 156530, Russian Federation
E-mail: kofiadi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9280-8282>

Sergey Gavrilovich Belokurov

PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Genetics and DNA Technologies in Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma region, 156530, Russian Federation
E-mail: sgbelokurov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6404-0453>