

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.75-81>

УДК 636.082.2

**Частота встречаемости генотипов к-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров холмогорской породы**

© 2024. Н. А. Худякова, И. С. Кожевникова, Е. Н. Щипакова,

А. А. Кондакова✉, М. С. Калмыкова

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация

Для повышения объемов отечественной молочной продукции необходимо использовать современные методы селекции и отбор животных проводить с высоким генетическим потенциалом. Для определения генетического потенциала животных используют молекулярно-генетические маркеры, которые позволяют изучать, как конкретный генетический вариант или комбинация генов влияют на желаемый признак. Цель исследования – выявить частоту встречаемости аллельных вариантов гена каппа-казеина (CSN3) у коров холмогорской породы и их взаимосвязи с молочной продуктивностью. Объект исследования – 195 коров. Для определения генотипов каппа-казеина использован метод полимеразной цепной реакции полиморфизма длин рестрикционных фрагментов. Исследования проводили в 2023 г. на базе АО «Холмогорский племязавод» (Архангельская область). В результате исследований установлено – в стаде доминирует аллель А гена каппа-казеина – 80 %, аллель В составила 20 %. Преобладающий генотип – AA – 63,08 % (n = 123), реже встречающийся генотип AB – 33,33 % (n = 65), наименее распространенный генотип – BB – 3,59 % (n = 7). Для оценки молочной продуктивности и качества молока у коров с разными генотипами CSN3 сравнили показатели продуктивности за последнюю законченную лактацию. Общее количество коров с законченной лактацией в исследуемой выборке составило 130 голов из них: 37 коров-первотелок, 6 – по второй лактации и 87 – по третьей и более лактации. В совокупности по результатам сравнения наивысшие показатели имели коровы с генотипом BB: удой – 6916±275 кг, массовая доля жира – 4,14±0,22 %, массовая доля белка – 3,16±0,07 %, количество молочного жира – 286±19 кг, количество молочного белка – 219±12 кг. Таким образом, желательным генотипом по гену CSN3 является BB. На данный момент носителей этого гена крайне мало, поэтому необходимо вести селекционно-племенную работу, направленную на увеличение их численности.

Ключевые слова: каппа-казеин, аллель, холмогорская порода, крупный рогатый скот, Архангельская область

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (тема № FUUW-2024-0006, регистрационный номер 1023032200133-8-4.2.1).

Авторы благодарят руководство и специалистов АО «Холмогорский племязавод» за содействие в сборе материалов, рецензентов журнала – за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Худякова Н. А., Кожевникова И. С., Щипакова Е. Н., Кондакова А. А., Калмыкова М. С. Частота встречаемости генотипов к-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров холмогорской породы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(1):75–81. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.75-81>

Поступила: 01.09.2023

Принята к публикации: 25.01.2024

Опубликована онлайн: 28.02.2024

Frequency of occurrence of k-casein genotypes and their effect on the milk productivity of Kholmogory cows

© 2024. Natalia A. Khudyakova, Irina S. Kozhevnikova,

Ekaterina N. Shchipakova, Alena A. Kondakova✉, Maria S. Kalmykova

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation

To increase the volume of domestic dairy products, it is necessary to use modern breeding methods and select animals with high genetic potential. To determine the genetic potential of animals, molecular genetic markers are used, which make it possible to study how a specific genetic variant or combination of genes affects the desired trait. The purpose of the study is to identify the frequency of occurrence of allelic variants of the kappa-casein gene (CSN3) in Kholmogory cows and their relationship with milk production. The object of the study is 195 cows. To determine the genotypes of kappa-casein, the method of polymerase chain reaction of restriction fragment length polymorphism was used. The research was carried out in 2023 on the basis of JSC Kholmogorsky Breeding Plant (Arkhangelsk region). Results: in the studied herd, allele A of the kappa-casein gene dominates – 80 %, respectively, allele B was 20 %. The predominant genotype is AA – 63.08 % (n = 123), the less common genotype AB is 33.33 % (n = 65), the least common genotype is BB – 3.59 % (n = 7). To assess milk productivity and

milk quality in cows with different CSN3 genotypes, productivity indicators for the last completed lactation were compared. The total number of cows with completed lactation in the study sample was 130 heads, of which: 37 cows were first-calf heifers, 6 cows in the second lactation and 87 cows in the third or more lactation. In total, according to the comparison results, cows with the BB genotype had the highest indicators: milk yield – 6916 ± 275 kg, mass fraction of fat – 4.14 ± 0.22 %, mass fraction of protein – 3.16 ± 0.07 %, amount of milk fat – 286 ± 19 kg, amount of milk protein – 219 ± 12 kg. Thus, the desired genotype for the CSN3 gene is BB. At the moment, there are very few carriers of this gene, so it is necessary to carry out selection and breeding work aimed at increasing their numbers.

Key words: kappa-casein, allele, Kholmogory breed, cattle, Arkhangelsk region

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. of theme FUUW-2024-0006, registration number –1023032200133-8-4.2.1).

The authors thank the management and specialists of JSC Kholmogorsky Breeding Plant for their help in collecting the material. The authors also thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Khudyakova N. A., Kozhevnikova I. S., Shchipakova E. N., Kondakova A. A., Kalmykova M. S. Frequency of occurrence of k-casein genotypes and their effect on the milk productivity of Kholmogory cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(1):75–81. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.75-81>

Received: 01.09.2023

Accepted for publication: 25.01.2024

Published online: 28.02.2024

В настоящее время молочная промышленность испытывает необходимость в увеличении объёмов поставляемого высококачественного сырья для производства молочной продукции. Достичь этой цели представляется возможным путём улучшения хозяйственно ценных показателей у крупного рогатого скота через определение наиболее благоприятных генотипов животных [1, 2, 3].

Несмотря на то, что ещё в 1991 году генотип каппа-казеина был признан, как экономически ценный селекционный маркер при оценке молочной продуктивности коров, споры о его влиянии на хозяйственно ценные признаки до сих пор актуальны.

Многие авторы утверждают, что аллель В гена CSN3 положительно влияет на количественные и качественные показатели молока у крупного рогатого скота в рамках доминантных, рецессивных и аддитивных генетических моделей [4, 5].

Известно, что генотип ВВ имеет превосходство над АА и АВ по выходу готовой продукции (сыр), технологическим свойствам молока, содержанию белка, сухого вещества и лактозы. Для производства сыра и творога гораздо больше подходит молоко коров с генотипом ВВ, так как они обладают лучшими органолептическими свойствами и композицией. В то же время, многие исследователи считают молоко животных с генотипом АА более подходящим для реализации в качестве питьевого молока или сырья для производства других молочных продуктов [6, 7, 8].

В отечественной литературе также наблюдается расхождение мнений по поводу влияния генотипов к-казеина на хозяйственно полезные признаки. Так, например, ряд авторов обнаружил, что удой молока, содержание жира и белка в молоке увеличивается у животных с генотипом АА CSN3 [9, 10, 11].

При этом многие ученые утверждают, что генотип ВВ по CSN3 чаще всего характеризуется более высокими показателями содержания белка и жира, удоя и технологическими свойствами молока у коров разных пород, поэтому производство молока от коров с генотипом ВВ является наиболее выгодным [12, 13, 14]. Также было установлено, что аллель В связана с более высоким содержанием белка и лучшими свойствами свертываемости молока. Вследствие чего было показано, что высококачественный твердый сыр может быть получен только из молока коров с генотипом ВВ каппа-казеина [15, 16, 17].

Таким образом, генотип ВВ по CSN3 является прибыльным для производства молока и молочной продукции высокого качества. Коровы с таким генотипом обладают лучшими технологическими свойствами молока и способны давать больший удой. Кроме того, генотип ВВ по каппа-казеину является ключевым для производства высококачественных твердых сыров.

Цель исследования – выявить частоту встречаемости различных аллельных вариантов CSN3 у коров холмогорской породы и их взаимосвязи с молочной продуктивностью.

Научная новизна – исследовано маточное поголовье (195 голов) одного из ведущих племенных хозяйств Архангельской области на частоту встречаемости генотипов CSN3 каппа-казеина и его влияние на молочную продуктивность коров холмогорской породы.

Материал и методы. В ходе исследований изучен полиморфизм CSN3 крупного рогатого скота в одном из старейших племенных заводов Архангельской области АО «Холмогорский племзавод» (с. Холмогоры).

Исследования проводили в лаборатории инновационных технологий в АПК на базе Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (ФГБУН ФИЦКИА УРО РАН) в 2023 году. В работе анализировали образцы ДНК маточного поголовья голштинизированного крупного рогатого скота холмогорской породы ($n = 195$), доля кровности которых составляет до 70 %.

Биологический материал (кровь) для выделения ДНК отбирали из яремной вены в вакуумные пробирки с ЭДТА КЗ. Выделение ДНК проводили из цельной крови коров с помощью набора реагентов для экстракции ДНК/РНК из биологического материала животных и продуктов питания животного происхождения «МагноПрайм ВЕТ», производитель «НекстБио» (Россия).

Для определения аллелей А и В каппа-казеина использовали метод ПЦР-ПДРФ (полимеразная цепная реакция полиморфизма длин рестрикционных фрагментов).

Для проведения ПЦР применяли специфичные праймеры производства ЗАО «Синтол»: прямой праймер – 5'-АТАГССАААТАТАТСССААТТСAGT-3'; обратный праймер – 5'-ТТТАТТААТАAGTCCATGAATCTTG-3'.

Амплификацию гена CSN3 проводили с праймерами на ДНК-амплификаторе Applied Biosystems MiniAmp Plus (США) в объеме 25 мкл с помощью набора для проведения ПЦР с HS-Taq (+MgCl₂) от «Биолабмикс» по следующей программе: горячий старт – 5 мин при 95 °С; последующие 40 циклов: денатурация – 30 с при 95 °С, отжиг – 45 с при 60 °С, синтез – 30 с при 72 °С; элонгация – 5 мин при 72 °С.

Для оценки полноты проведения ПЦР полученный продукт помещали в 2%-ный агарозный гель и проводили горизонтальный

электрофорез в течение 40 минут при 100 В. Затем для окрашивания и визуализации фрагментов агарозный гель после электрофореза выдерживали в 0,005%-ном растворе бромистого этидия в течение 15 минут и просматривали в системе гель-документирования «Взгляд» с помощью трансиллюминатора «КвантМ-312Б» при длине волны 310 нм. Положительным результатом амплификации являлось наличие фрагментов ДНК длиной 530 пар нуклеотидов.

Полученные амплификаты подвергали рестрикции с помощью эндонуклеазы рестрикции Hind III «SibEnzyme» согласно рекомендациям производителя. После рестрикции фрагменты амплификатов разделяли с помощью горизонтального электрофореза в 3%-ном агарозном геле в течение 40 минут при 100 В, и детектировали результат в системе «Взгляд».

В зависимости от генотипа исследуемого животного по гену CSN3 образовывались фрагменты 530, 400 и 130 пар нуклеотидов. Генотипу АА соответствует наличие одного фрагмента длиной 530 пар нуклеотидов, для генотипа ВВ – наличие двух фрагментов длиной 400 и 130 пар нуклеотидов, для АВ – все три фрагмента 530, 400 и 130 пар нуклеотидов.

Частоту встречаемости генотипов рассчитывали согласно Е. К. Меркурьевой¹ по формуле:

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

где P – частота определенного генотипа, n – количество животных, имеющих определенный генотип, N – общее число животных.

Частоту отдельных аллелей определяли по формулам:

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

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

где P^A – частота аллеля А, Q^B – частота аллеля В, n_{AA} , n_{AB} , n_{BB} – количество животных с определенным генотипом, N – общее число животных.

Результаты и их обсуждение. Для определения полиморфизма гена CSN3 у маточного поголовья коров одного из ведущих племенных хозяйств по разведению холмогорской породы АО «Холмогорский Племзавод» в Архангельской области провели ДНК-тестирование 195 голов (табл. 1).

¹Меркурьева Е. К., Шангин-Березовский Г. Н. Генетика с основами биометрии. Серия: Учебники и учебные пособия для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М: Колос, 1983. 400 с.

Таблица 1 – Полиморфизм локуса каппа-казеина у голштинизированных коров холмогорской породы /
Table 1 – Polymorphism of the kappa-casein locus in holsteinized Kholmogory cows

Показатель / Index	n	Частота встречаемости генотипов / Frequency of occurrence of genotypes						Частота встречаемости аллелей, % / Allele frequency, %		χ^2
		AA		AB		BB		A	B	
		n	%	n	%	n	%			
Наблюдаемое распределение / Observed Distribution	195	123	63,08	65	33,33	7	3,59	79,74	20,26	0,197
Ожидаемое распределение / Expected Distribution		124	63,6	63	32,3	8	4,1			

Анализ полученных данных генотипирования показал, что аллель А гена каппа-казеина является доминирующей в исследуемой выборке коров и ее частота встречаемости равна 79,74 %, частота встречаемости аллеля В составила 20,26 %.

Частота встречаемости генотипов в данной выборке по гену к-казеина распределилась следующим образом: генотип АА составил 63,08 % (123 из 195 голов), реже встречался генотип АВ – 33,33 % (65 из 195) и наименьшая частота проявилась у генотипа ВВ – 3,59 % (7 из 195). Генетическое равновесие по закону Харди-Вайнберга сохранено, и наблюдаемая частота генотипов соответствует ожидаемой.

Для оценки молочной продуктивности и качества молока у коров холмогорской породы с разными генотипами CSN3 сравнили показатели продуктивности за последнюю законченную лактацию (удой, содержание и количество жира в молоке, содержание и количество белка в молоке за 305 дней) (табл. 2). Общее количество коров с законченной лактацией в исследуемой выборке составило 130 голов из них: 37 коров-первотелок, 6 – по второй лактации и 87 – по третьей лактации и старше.

Таким образом, в результате проведенного анализа было установлено, что у всех исследуемых коров преобладающим является гомозиготный генотип АА. Средний удой у 77 коров с генотипом АА составил 6793 кг, что на 382 кг молока больше, чем у животных с генотипом АВ и на 123 кг меньше, чем с генотипом ВВ. Массовая доля жира у животных с генотипом АА составила 4,04 %, что на 0,09 % больше, чем с генотипом АВ, но на 0,1 % меньше, чем у коров с генотипом ВВ. Массовая доля белка у коров с генотипом АА составила 3,09 %, что на 0,03 % меньше, чем с генотипом АВ и на 0,07 % меньше по сравнению с генотипом ВВ.

В связи с тем, что в исследуемой выборке преобладали коровы с третьей лактацией и старше, показатели молочной продуктивности были проанализированы в разрезе генотипов. Наивысшие показатели продуктивности выявлены у коров с генотипом ВВ каппа-казеина – удой составил 7163±308 кг, массовая доля жира – 4,19±0,24 % и белка – 3,11±0,04 %. В результате проведенных исследований было установлено положительное влияние генотипов ВВ и АВ на показатели массовой доли жира и белка в молоке коров изучаемого поголовья. Статистическая обработка полученных данных показала достоверную разницу между животными с генотипами АА и АВ по третьей лактации и старше по удою, количеству молочного жира и молочного белка.

Заключение. Результаты исследований показали разнообразие генетических вариантов гена каппа-казеина, оказывающего влияние на хозяйственно ценные признаки молочной продуктивности коров холмогорской породы, разводимой в условиях Европейского Севера России. Однако оценивать это влияние следует для каждого стада отдельно с учётом единообразия технологии содержания и кормления животных. Генотип ВВ каппа-казеина в данной выборке показал себя как наиболее ценный для проведения отбора при формировании стад высокопродуктивных животных. В настоящий момент носителей данного генотипа в стаде АО «Холмогорский племязавод» мало, как следствие необходимо вести отбор коров для увеличения численности животных с генотипом ВВ. Рекомендуется проводить молекулярно-генетическое тестирование популяции холмогорской породы крупного рогатого скота по изучаемому гену для выявления и накопления генотипов животных, способствующих повышению качественных и количественных показателей молока.

Таблица 2 – Характеристика молочной продуктивности голштинизированных коров холмогорской породы с разными генотипами каппа-казеина (за 305 дней последней законченной лактации) /
Table 2 – Characteristics of milk productivity of holsteinized cows of the Kholmogory breed with different kappa-casein genotypes (for 305 days of the last completed lactation)

Показатель / Index	Генотип / Genotype											
	1 лактация (n = 37) / 1 lactation (n = 37)			2 лактация (n = 6) / 2 lactation (n = 6)			3 и более лактации (n = 87) / 3 or more lactations (n = 87)			Итого (n = 130) / Total (n = 130)		
	AA (n = 16)	AB (n = 19)	BB (n = 2)	AA (n = 5)	AB (n = 1)	BB (n = 0)	AA (n = 56)	AB (n = 28)	BB (n = 3)	AA (n = 77)	AB (n = 48)	BB (n = 5)
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	5606±280	6102±288	6545±380	7032±430*	5687±0	0	7110±147*	6646±166	7163±309	6793±143	6411±155	6916±275
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	3,89±0,14	3,94±0,10	4,05±0,40	4,10±0,15	4,07±0	0	4,06±0,08	3,96±0,11	4,19±0,24	4,04±0,06	3,95±0,08	4,14±0,22
Количество молочного жира, кг / The amount of milk fat, kg	218±14	240±15	265±42	288±27	231±0	0	289±8*	263±8	300±7**	274±7	253±8	286±19
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	3,18±0,05	3,22±0,04	3,24±0,15	3,07±0,06*	3,46±0	0	3,07±0,03	3,05±0,03	3,11±0,04	3,09±0,02	3,12±0,03	3,16±0,07
Количество молочного белка, кг / The amount of milk protein, kg	178±9	197±10	212±22	216±14	197±0	0	218±5*	202±5	223±12	210±5	200±5	219±12

Примечание: Различия достоверны по отношению к животным с аналогичной лактацией с генотипом AB при *p≤0,05, **p≤0,01 /
Note: The differences are significant in relation to animals with similar lactation with the AB genotype at *p<0.05, **p<0.01

References

1. Alipanah M., Kalashnikova L. A., Rodionov G. V. Kappa-casein and PRL-Rsa I genotypic frequencies in two Russian cattle breeds. *Archivos de zootecnia*. 2008;57(218):131–138. URL: https://www.researchgate.net/publication/28317609_Kappa-casein_and_PRL-RSAI_genotypic_frequencies_in_two_Russian_cattle_breeds
2. Botaro B. G., Lima Y., Cortinhas C. S., Silva L. F. P. Effect of the kappa-casein gene polymorphism, breed and seasonality on physicochemical characteristics, composition and stability of bovine milk. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2009;38(12):2447–2454. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001200022>
3. Bankar P. S., Kuralkar S., Dhore R., Manwar S., Ingawale M., Sajid Ali S. Impact of kappa casein gene polymorphism on milk components of Gaolao cattle. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2018;7(5):1520–1527. URL: https://www.researchgate.net/publication/328028124_IMPACT_OF_KAPPA_CASEIN_GENE_POLYMORPHISM_ON_MILK_COMPONENTS_OF_GAOLAO_CATTLE
4. Čítek J., Hanusová L., Lískovcová L., Samková E., Hanuš O., Hasoňová L., Křížová Z., Večerek L. Polymorphisms in CSN3, CSN2 and LGB genes and their relation to milk production in dairy cattle in the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2019;67(1):19–24. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun201967010019>
5. Djedović R., Bogdanović V., Perišić P., Stanojević D., Popović J., Brka M. Relationship between genetic polymorphism of k-casein and quantitative milk yield traits in cattle breeds and crossbreds in Serbia. *Genetika*. 2015;47(1):23–32. DOI: <https://doi.org/10.2298/GENSR1501023D>
6. Neamt R., Saplacan G., 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 Biochimica Polonica*. 2017;64(3):493–497. DOI: https://doi.org/10.18388/abp.2016_1454
7. Awad A., El Araby I. E., El-Bayomi Kh. M., Zagloul A. W. Association of polymorphisms in kappa casein gene with milk traits in Holstein Friesian cattle. *Japanese Journal of Veterinary Research*. 2016;64(2):S39–S43. URL: <http://hdl.handle.net/2115/62028>
8. Di Gregorio P., Di Grigoli A., Di Trana A., Alabiso M., Maniaci G., Rando A., Valluzzi G., Finizio D., Bonanno A. Effects of different genotypes at the CSN3 and LGB loci on milk and cheese-making characteristics of the bovine Cinisara breed. *International Dairy Journal*. 2017;71:1–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.11.001>
9. Крупин Е. О., Шакиров Ш. К., Тагиров М. Ш. Молочная продуктивность и качество молока коров в зависимости от генотипа. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017;(4(44)):120–125. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32541968> EDN: YQXNBJ
10. Крупин Е. О., Шакиров Ш. К., Тагиров М. Ш. Dairy productivity and quality of cow milk depending on genotype. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2017;(4(44)):120–125. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32541968>
11. Тюлькин С. В. Влияние генотипа коров на их продуктивность и качество молока. *Пищевые системы*. 2018;1(3):38–43. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43> EDN: YBSZML
12. Tyulkin S. V. The effect of cows genotype on their productivity and milk quality. *Pishchevye sistemy* = Food systems. 2018;1(3):38–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43>
13. Шайдуллин Р. Р. Физико-химические показатели молока коров-первотёлок с разными генотипами по генам CSN3 и DGAT1. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2018;(2):140–144. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35424032> EDN: XWDVID
14. Shaydullin R. R. Physical and chemical parameters of milk of first-calf cows with different genotypes by CSN3 and DGAT1 genes. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(2):140–144. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35424032>
15. Heck J. M. L., Bovenhuis H., Schennink A., Van Valenberg H. J. F., Visker M. H. P. W. Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. *Journal of dairy science*. 2009;92(3):1192–1202. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1208>
16. 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>
17. Molee A., Mernkrathoke P., Poompramun C. Effect of casein genes-beta-LGB, DGAT1, GH, and LHR on milk production and milk composition traits in crossbred Holsteins. *Genetics and Molecular Research*. 2015;14(1):2561–2571. DOI: <https://doi.org/10.4238/2015.March.30.15>

15. Anggraeni A., Andreas E., Sumantri C., Anneke A., Nury H. S. Genetic variants of κ -Casein and β -Lactoglobulin genes and their association with protein and milk components of Holstein Friesian cows at small farmers in Lembang, West Java. *KnE Life Sciences*. 2017;2(6):86–94. DOI: <https://doi.org/10.18502/kl.v2i6.1023>
16. Bartonova P., Vrtková I., Kaplanová K., Urban T. Association between CSN3 and BCO2 gene polymorphisms and milk performance traits in the Czech Fleckvieh cattle breed. *Genetics and Molecular Research*. 2012;11(2):1058–1063. DOI: <https://doi.org/10.4238/2012.April.27.4>
17. Bugeac T., Balteanu V. A., Creanga S. Kappa-casein genetic variants and their relationships with milk production and quality in Montbéliarde dairy cows. Conference: The 12th International Symposium «Prospects for the Third Millennium Agriculture». At: Cluj-Napoca County, Romania, 2013. pp. 193–194. URL: https://www.researchgate.net/publication/274083438_Kappa-Casein_Genetic_Variants_and_their_Relationships_with_Milk_Production_and_Quality_in_Montbeliarde_Dairy_Cows

Сведения об авторах

Худякова Наталья Александровна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1302-2965>

Кожевникова Ирина Сергеевна, кандидат биол. наук, заведующая лабораторией, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д.20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

Щипакова Екатерина Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6952-9665>

✉ **Кондакова Алёна Андреевна**, младший научный сотрудник, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5261-3557>, e-mail: labinnovrazv@yandex.ru

Калмыкова Мария Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, пр. Никольский, д.20, г. Архангельск, Российская Федерация, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0404-4631>

Information about the authors

Natalia A. Khudyakova, PhD in Agricultural Science, researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1302-2965>

Irina S. Kozhevnikova, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnau-ka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

Ekaterina N. Shchipakova, junior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6952-9665>

✉ **Alena A. Kondakova**, junior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky Ave., Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5261-3557>, e-mail: labinnovrazv@yandex.ru

Maria S. Kalmykova, junior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky Ave., 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020, e-mail: dirnauka@fciactic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0404-4631>

✉ – Для контактов / Corresponding author