



Генетика и селекция животных Genetics and selection of animals







DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-399-410

EDN: NKKQSA


УДК 575.174.015.3

Обзорная статья / Review article

Частота встречаемости аллелей гена бета-лактоглобулина у разных пород крупного рогатого скота

Н.А. Худякова¹ , И.С. Кожевникова^{1,2}  , А.О. Ступина¹ ,
И.А. Классен¹ , И.В. Селькова¹ 

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация

²Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Российская Федерация
 kogevnikovais@yandex.ru

Аннотация. Представлены и обобщены результаты научных исследований частоты встречаемости генотипов AA, AB, BB и аллелей A и B молочного белка бета-лактоглобулина у крупного рогатого скота различных пород с 2010 по 2022 г. На территории РФ изучено маточное поголовье и быки-производители Республики Башкортостан, Татарстан, Псковской, Самарской и Архангельской областей, также быки-производители в Алтайском крае. Рассмотрено поголовье зарубежных стран: Италии, Индии и Чехии. К наиболее изученным относится черно-пестрая порода, имеются данные по симментальской и холмогорской породам крупного рогатого скота. Частота встречаемости в хозяйствах аллеля В среди маточного поголовья черно-пестрой породы составляет от 0,21 до 0,64, симментальской породы — от 0,42 до 0,65, холмогорской породы — от 0,60 до 0,70. Частота встречаемости аллеля В среди быков-производителей черно-пестрой породы составляет от 0,43 до 0,69. В большинстве хозяйств по качественным показателям молочной продуктивности лидирует генотип BB, а по количественным — генотип AB. Однако в некото-

© Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Ступина А.О., Классен И.А., Селькова И.В., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

рых хозяйствах по показателям удоя и белка превалирует генотип АА, также отмечается связь данного генотипа с высоким содержанием сухого обезжиренного молочного остатка и с устойчивостью к маститу. Необходимо дальнейшее углубленное изучение гена бета-лактоглобулина, так как новые данные позволят расширить представление о влиянии этого гена на хозяйственно-полезные признаки животных и позволит устранить противоречия в имеющихся данных.

Ключевые слова: молочное скотоводство, генотипирование, генотип, коровы, быки-производители, молочный белок

Заявление о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование. Благодарности. Работа подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Разработка системы производства полноценной и экологически безопасной продукции отрасли молочного животноводства в АЗ РФ на основе использования генотипированных племенных животных» (FUUW-2021–0005) (регистрационный номер — 121122800216–6).

Вклад авторов: Н.А. Худякова — анализ данных; И.С. Кожевникова, И.В. Селькова — написание статьи; А.О. Ступина, И.А. Классен — сбор данных.

История статьи: поступила в редакцию 28 февраля 2023 г.; принята к публикации 14 июля 2023 г.

Для цитирования: Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Ступина А.О., Классен И.А., Селькова И.В. Частота встречаемости аллелей гена бета-лактоглобулина у разных пород крупного рогатого скота // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 3. С. 399–410. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-399-410

Allelic frequency of beta-lactoglobulin gene in different cattle breeds

Natalya A. Khudyakova¹ , Irina S. Kozhevnikova^{1,2}  
Alexandra O. Stupina¹ , Inga A. Klassen¹ , Iya V. Selkova¹ 

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, *Arkhangelsk, Russian Federation*

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, *Arkhangelsk, Russian Federation*

 kogevnikovais@yandex.ru

Abstract. The results of research on the frequency of genotypes AA, AB, BB and alleles A and B of milk protein beta-lactoglobulin in various cattle breeds over the past decades were presented and summarized. The livestock of the following foreign countries was considered: Italy, India and the Czech Republic. Also, on the territory of the Russian Federation, breeding stock and sires of the Republic of Bashkortostan, Tatarstan, Pskov, Samara and Arkhangelsk regions, as well as sires in the Altai Territory, were studied. Black-and-White breed is the most studied one. Moreover, there are data on the Simmental and Kholmogory breeds of cattle. The frequency of allele B among the breeding stock of Black-and-White breed in farms ranged from 0.21 to 0.64. The frequency of allele B among the breeding stock of Simmental breed in farms ranged from 0.42 to 0.65. The frequency of

allele B among the breeding stock of Kholmogory breed in farms was from 0.60 to 0.70. The frequency of allele B among sires of Black-and-White breed ranged from 0.43 to 0.69. In most farms, BB genotype leads in terms of quality indicators of milk productivity, and AB genotype leads in quantitative indicators of milk productivity. However, in some farms, AA genotype prevails in terms of milk yield and protein, and this genotype is also associated with a high content of dry skimmed milk residue and resistance to mastitis. Thus, further in-depth study of the beta-lactoglobulin gene is necessary, since new data will expand the understanding of the effect of this gene on economically useful traits of animals and will eliminate contradictions in the available data.

Key words: dairy cattle breeding, genotyping, genotype, cows, sires, milk protein

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgements. The research was prepared as part of the state task of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences «Development of a system for the production of full-fledged and environmentally safe dairy products in the arctic zone of Russian Federation based on the use of genotyped breeding animals» (FUUW-2021–0005) (no. 121122800216–6).

Author contributions: N.A. Khudyakova analyzed the data; I.S. Kozhevnikova, I.V. Selkova wrote the paper; A.O. Stupina, I.A. Klassen performed the experiments.

Article history: Received: 28 February 2023. Accepted: 14 July 2023.

For citation: Khudyakova NA, Kozhevnikova IS, Stupina AO, Klassen IA, Selkova IV. Allelic frequency of beta-lactoglobulin gene in different cattle breeds. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023;18(3):399—410. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-399-410

Введение

Применение актуальных генетических методов диагностики в отношении популяции крупного рогатого скота способствует повышению стандартов не только качества, но и пищевой ценности, а также технологических характеристик молочной продукции.

Использование зашифрованной в ДНК информации о полиморфизме генов, которые влияют на физические и химические показатели молока, представляет собой один из подходов к улучшению его состава и технологических свойств. Метод генотипирования, применяемый при селекционном отборе животных, обеспечивает возможность формирования поголовья с генетически предпочтительными вариантами генов, имеющими хозяйственную ценность.

Несомненно, на состав и биологические свойства влияет также и порода животного, условия ее содержания, кормления, стадия лактации и многое другое, однако генетические варианты, встречающиеся у животного, являются основой, на которой базируются все остальные эпигенетические факторы, что подтверждается в [1, 2].

Одним из изучаемых хозяйственно полезных генов молочных белков, вызывающий интерес у исследователей является ген бета-лактоглобулина [1].

Бета-лактоглобулин (LGB) является одним из основных белков молочной сыворотки. Он представляет собой глобулярный липокалиновый белок с молекулярной массой 18,4 кДа, который состоит из 162 аминокислотных остатков

и является доминирующим сывороточным белком в коровьем молоке при концентрации 2...4 г/л обезжиренного молока, что составляет примерно 60 % от общего количества сывороточного белка. Он синтезируется в эпителиальных клетках молочной железы из предшественников крови и обычно встречается в коровьем молоке, преимущественно в аллельных вариантах А и В, каждый из которых отличается двумя отдельными аминокислотными остатками. Физиологические функции бета-лактоглобулина остаются спорными, но могут включать транспорт и поглощение гидрофобных лигандов, регуляцию ферментов и неонатальный пассивный иммунитет, хотя его сверхэкспрессия у многих видов предполагает, что его основная роль в молоке может быть и питательной [3].

Аллели LGB А и В отличаются двумя аминокислотными заменами, а именно аспарагиновая кислота (А) в 64 позиции заменяется на глицин (В) и валин (А) в 118 позиции заменяется на аланин (В). Встречаемость аллельных вариантов у разных пород примерно одинакова и имеет различное влияние на свойства молока. Это связано с отличиями физико-химических свойств и более высокой экспрессией аллеля А [4].

Цель исследования — обобщение научных данных о частоте встречаемости генотипов и аллелей молочного белка бета-лактоглобулина у крупного рогатого скота различных пород, полученных исследователями за последние годы.

Нами был проведен анализ данных научных трудов российских и зарубежных ученых о полиморфных вариантах гена бета-лактоглобулина у крупного рогатого скота и частоты встречаемости аллелей А и В, а также частоты встречаемости генотипов АА, АВ, ВВ, по результатам составлены таблицы, где частота встречаемости генотипов указана в процентах, а частота встречаемости аллелей в долях. Результаты исследования представленных авторов охватывали 3 породы: черно-пеструю (n = 813 коров и 84 быка-производителя) [5–10, 11]; симментальскую (n = 177) [4, 12]; холмогорскую (n = 349) [12–14].

Методология обзора. Поиск осуществлялся в базах данных: Elibrary, Science Direct, Google Scholar — по следующим ключевым словам: крупный рогатый скот, порода, бета-лактоглобулин, генотип, аллель. Используемые статьи российских и зарубежных источников находятся в открытом доступе.

Наибольшее количество данных в доступной нам российской научной литературе представлено по черно-пестрой породе крупного рогатого скота. В исследованиях Н.В. Федотова и Г.С. Лозовой были получены результаты по частоте встречаемости аллеля гена бета-лактоглобулина в стаде СПК «Красное Знамя»: значительное преобладание гетерозиготного генотипа над гомозиготными у маточного поголовья. Частота встречаемости аллеля А составила 0,69. Самый высокий показатель содержания белка в молоке за все лактации выявили у коров с генотипом ВВ [5].

Наиболее масштабное исследование коров черно-пестрой породы в четырех хозяйствах провели В.А. Грашин и А.А. Грашин. В трех хозяйствах Самарской области: ЗАО «Луначарск», ПЗ «Дружба», АО «ПЗ «Кряж» преобладает генотип АВ (42,37, 58,57 и 58,34 % соответственно). Генотип АА (73,58 %) преобладал

в СПК им. Куйбышева. Авторы рассмотрели молочную продуктивность коров с разными генотипами, преимущество имели коровы с генотипом АА в ЗАО «Луначарск» и генотипом АВ в остальных хозяйствах. Самые высокие показатели по содержанию жира в молоке отмечены у животных с генотипом ВВ во всех хозяйствах, кроме ЗАО «Луначарск», здесь генотип АВ показал самые высокие значения. А по содержанию белка в молоке лидировали коровы с генотипом ВВ во всех представленных хозяйствах [6].

По данным И.А. Погорельского и М.В. Позовниковой, самый высокий показатель встречаемости показали генотип АВ (50,50 %) и аллель В (0,60). Гетерозиготный генотип лидировал по удою и содержанию жира, но имел самый низкий показатель белка в молоке [7].

Т.М. Ахметов и соавторы изучили полиморфизм гена бета-лактоглобулина среди маточного поголовья. Высокий показатель отмечен у коров с генотипом АВ, частота встречаемости аллеля В превышала частоту встречаемости А [8]. В другом исследовании Т.М. Ахметов получил следующие результаты: преобладание генотипа АВ и аллеля В [9].

М.А. Парамонова и Ф.Р. Валитов показали преобладание частоты встречаемости аллеля А (0,73) и генотипа АА (53,00 %), также у данного генотипа выявлены самая высокая доля белка в молоке, содержание и плотность сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), а массовая доля жира наивысшей была у коров с генотипом ВВ [10].

В исследовании И.Ю. Долматовой и соавторов по симментальской породе показано преобладание генотипа АВ (65,00 %), а гомозиготные генотипы между собой практически не различались. При этом авторы отметили наибольший удой у животных с генотипом АА, наименьший показатель — у генотипа ВВ, их разница составила 444 кг. Также авторы указали на отсутствие больших различий содержания белка в молоке во всех трех изучаемых группах [4].

Н.И. Павлова, В.В. Додохова с соавторами рассмотрели несколько пород: холмогорскую, симментальскую местной селекции, симментальскую австрийской селекции. Исследователи установили, что частота встречаемости аллеля В преобладает у холмогорской (0,60) и симментальской местной селекции (0,65) пород. У всех представленных пород выявлено преобладание генотипа АВ [12].

С.В. Тюлькин исследовал первотелок холмогорской породы и показал преобладание животных с генотипом АВ, а также, преобладание аллеля В. Наибольший удой имели коровы с генотипом АА, самое высокое содержание жира и белка — у животных с генотипом АВ, ВВ [14].

Авторы [13] изучали полиморфизм гена бета-лактоглобулина у коров холмогорской породы одного из хозяйств Архангельской области. Исследовано 147 голов, из которых 48 % оказались животными с генотипом ВВ. Аллель В доминировал над аллелем А.

Основные данные из проанализированных источников, касающихся исследований маточного поголовья, мы свели в табл. 1.

Таблица 1

Частота встречаемости аллелей гена бета-лактоглобулина у маточного поголовья крупного рогатого скота в различных хозяйствах Российской Федерации

Хозяйство, регион	Количество животных	Частота встречаемости генотипов, %			Частота встречаемости аллелей, доля от общего		Ссылка в списке литературы, авторы статьи
		AA	AB	BB	A	B	
<i>Черно-пестрая порода</i>							
СПК «Красное Знамя», Псковская область	132	51,50	34,10	14,10	0,69	0,31	[5], Федотова Н.В., Лозовая Г.С.
ЗАО «Луначарск», Самарская область	59	25,42	42,37	32,91	0,47	0,53	[6], Грашин В.А., Грашин А.А.
ПЗ «Дружба», Самарская область	70	28,57	58,57	12,86	0,58	0,42	
СПК им. Куйбышева, Самарская область	53	73,58	11,32	15,10	0,79	0,21	
АО «ПЗ «Кряж», Самарская область	60	6,67	58,34	35,00	0,36	0,64	
ЗАО Агрофирма «Победа», Псковская область	105	14,20	50,50	35,30	0,40	0,60	[7], Погорельский И.А., Позовникова М.В.
ООО «Дусым», Республика Татарстан	158	38,00	46,20	15,80	0,39	0,61	[8], Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Зарипов О.Г.
ООО им. Тукая, Республика Татарстан	107	13,10	56,10	30,80	0,41	0,59	[9], Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Валиуллина Э.Ф.
ООО «Агрофирма «Правда», Республика Башкортостан	69	53,00	39,00	8,00	0,73	0,27	[10], Парамонова М.А.
<i>Симментальская порода</i>							
ОПХ «Баймакское», Республика Башкортостан	71	18,00	65,00	17,00	0,51	0,49	[4], Долматова И.Ю., Гареева И.Т., Ильясов А.Г.
ООО «Агрофирма Немюгю» Хангаласского района	20	30,00	55,00	15,00	0,58	0,42	[12], Павлова Н.И., Додохов В.В., Филиппова Н.П., Куртанов Х.А.
СХПК Наяхы и СХПК «Усть-Алдан» Усть-Алданского района	86	13,00	44,00	43,00	0,35	0,65	
<i>Холмогорская порода</i>							
ООО «Агрофирма Холмогорская» Архангельская область	147	8,00	44,00	48,00	0,30	0,70	[13], Худякова Н.А., Кудрина М.А., Ступина А.О.
ООО «Кладовая Олекмы» Олекминского района и КФХ «Дайына» Намского района	38	18,00	42,00	40,00	0,40	0,60	[12], Павлова Н.И., Додохов В.В., Филиппова Н.П., Куртанов Х.А.
Республика Татарстан	164	12,20	48,20	39,60	0,36	0,64	[14], Тюлькин С.В.

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены доминирующие генотипы и аллели.

Источник: составлено авторами данной статьи на основе проанализированных источников, ссылки на которые представлены в списке литературы.

**Allelic frequency of beta-lactoglobulin gene
in breeding stock of cattle in various farms of the Russian Federation**

Farm, region	Number of animals	Genotype frequency, %			Allelic frequency, percentage of total		Link in the list of references, authors of the article
		AA	AB	BB	A	B	
<i>Black Pied breed</i>							
'Krasnoe Znamya', Pskov region	132	51.50	34.10	14.10	0.69	0.31	[5], Fedotova N.V., Lozovaya G.S.
'Lunacharsk', Samara region	59	25.42	42.37	32.91	0.47	0.53	[6], Grashin V.A., Grashin A.A.
'Druzhba', Samara region	70	28.57	58.57	12.86	0.58	0.42	
SPK im. Kujbysheva, Samara region	53	73.58	11.32	15.10	0.79	0.21	
'Kryazh', Samara region	60	6.67	58.34	35.00	0.36	0.64	
'Pobeda', Pskov region	105	14.20	50.50	35.30	0.40	0.60	[7], Pogorelskiy I.A., Pozovnikova M.V.
'Dusym', Republic of Tatarstan	158	38.00	46.20	15.80	0.39	0.61	[8], Ahmetov T.M., Tjulkin S.V., Zaripov O.G.
OOO im. Tukaya, Republic of Tatarstan	107	13.10	56.10	30.80	0.41	0.59	[9], Ahmetov T.M., Tjulkin S.V., Valiullina E.F.
'Pravda', Republic of Bashkortostan	69	53.00	39.00	8.00	0.73	0.27	[10], Paramonova M.A.
<i>Simmental breed</i>							
'Baymakscoe', Republic of Bashkortostan	71	18.00	65.00	17.00	0.51	0.49	[4], Dolmatova I., Gareeva I., Iliysov A.
'Agrofirma Nemyugyu' Khangalassky district	20	30.00	55.00	15.00	0.58	0.42	[12], Pavlova N., Dodokhov V., Filippova N., Kurtanov K.
'Ust'-Aldan' Ust-Aldansky district	86	13.00	44.00	43.00	0.35	0.65	
<i>Kholmogorskaya breed</i>							
'Agrofirma Holmogorskaya', Arkhangelsk region	147	8.00	44.00	48.00	0.30	0.70	[13], Khudyakova N.A., Kudrina M.A., Stupina A.O.
'Kladovaya Olekmy' Olekminsky district, 'Dajyyna', Namsky district	38	18.00	42.00	40.00	0.40	0.60	[12], Pavlova N., Dodokhov V., Filippova N., Kurtanov K.
Republic of Tatarstan	164	12.20	48.20	39.60	0.36	0.64	[14], Tyulkin S.V.

Note. Dominant genotypes and alleles are highlighted in bold.

Source: compiled by the authors of this article on the basis of analyzed sources, references to which are presented in the list of references.

V.A. Сарычев и А.И. Афанасьева исследовали быков-производителей черно-пестрой породы по полиморфизму гена бета-лактоглобулина на Барнаульском племпредприятии Алтайского края: по частоте встречаемости генотипов: АВ (48,90 %) и аллели А (57,50 %) [13]. Т.М. Ахметов и соавторы изучили полиморфизм гена бета-лактоглобулина среди быков-производителей: преобладал генотип ВВ, частота встречаемости аллеля В выше [8]. Полученные в [8, 13] данные мы обобщили в таблице 2.

**Частота встречаемости аллелей гена бета-лактоглобулина
у быков-производителей**

Хозяйство, регион	Количество животных	Частота встречаемости генотипов, %			Частота встречаемости аллелей, доля от общего		Ссылка в списке литературы, авторы статьи
		AA	AB	BB	A	B	
<i>Черно-пестрая порода</i>							
АО «Племпредприятие «Барнаульское», Алтайский край	14	33,10	48,90	18,00	0,57	0,43	[11], Сарычев В.А., Афанасьева А.И.
ГУП ГПП «Элита», Республика Татарстан	70	12,90	37,10	50,00	0,31	0,69	[8], Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Зарипов О.Г.

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены доминирующие генотипы и аллели.

Источник: составлено авторами данной статьи на основе проанализированных источников, ссылки на которые представлены в списке литературы.

Table 2

Allelic frequency of beta-lactoglobulin gene in sires

Farm, region	Number of animals	Genotype frequency, %			Allelic frequency, percentage of total		Link in the list of references, authors of the article
		AA	AB	BB	A	B	
<i>Black Pied breed</i>							
'Plempredpriyatie Barnaul'skoe', Altai Territory	14	33.10	48.90	18.00	0.57	0.43	[11], Sarychev V.A.
'Elita', Republic of Tatarstan	70	12.90	37.10	50.00	0.31	0.69	[8], Ahmetov T.M., Tjulkin S.V., Zaripov O.G.

Note. Dominant genotypes and alleles are highlighted in bold.

Source: compiled by the authors of this article on the basis of analyzed sources, references to which are presented in the list of references.

Полиморфизм гена бета-лактоглобулина исследовали и зарубежные ученые.

В Италии Р. Di Gregorio и соавторы изучили 326 голов крупного рогатого скота породы чинисара (cinisara). Частота встречаемости генотипов возрастала в следующем порядке: AA (6,1 %), AB (29,8 %) и BB (64,1 %). Частота встречаемости аллеля В (0,79) превышала аллель А (0,21). Авторы обнаружили зависимость генотипа ВВ с более высоким уровнем белка в сыре и как следствие влияние этого генотипа на индекс казеина и на удержание казеина в твороге. Также установили, что животные с генотипом AA производят больше молока, чем коровы с генотипами ВВ и АВ [15].

В Индии исследователи Umesh Singh, Rajib Deb и др. изучили гибрид (сахивал × голштинская). Частота встречаемости генотипа ВВ (47,6 %) выше, чем генотипов AA (23,8 %) и АВ (28,6 %). Авторы отметили, что наилучший показатель

общего и пикового удоя наблюдался у коров с генотипом АВ и ВВ, что в свою очередь противоречит остальным рассмотренным результатам в нашей статье. Ученые рекомендуют для повышения молочной продуктивности отбирать коров с генотипами АВ и ВВ, однако, они также говорят о том, что генотип АА устойчив к маститу [16].

Авторы J. Kyselova, K. Jecminkova и др. из Чехии провели исследование на породе флекфи (fleckvieh). Они получили следующие результаты: наиболее часто встречающимся оказались генотип АВ (46,5) и аллель В (0,51) [17].

Заключение

В обзоре представлены результаты исследований учеными одного из ключевых генов-маркеров, влияющих на продуктивные качества коров — бета-лактоглобулина.

Полученные данные достаточно противоречивы, сложно отследить зависимость между генотипами и их влиянием на молочную продуктивность. Так, большинство авторов, исследуя ген бета-лактоглобулина, выявили наивысший уровень удоя у коров с генотипом АВ и выделили генотип АА как показатель, положительно влияющий на удой. Однако в одном из исследований отмечен наибольший удой у животных с генотипом ВВ.

Из представленных работ следует, что генотип ВВ в большинстве случаев оказывает благоприятное влияние на жировую и белковую составляющую сырого молока. У коров с генотипом АА молоко характеризуется высоким содержанием сухого обезжиренного молочного остатка, также данный генотип влияет на устойчивость к заболеванию вымени — маститу.

В процессе анализа научных данных мы отметили малую изученность гена бета-лактоглобулина в научной литературе с 2010 по 2022 г. Информация, представленная в открытых источниках, не столь однозначна. Следовательно, требуется углубленное изучение исследуемого гена для понимания его связи с продуктивными характеристиками молочного скота.

Библиографический список

1. Рачкова Е.Н. Наследуемость молочной продуктивности в зависимости от полиморфизма гена бета-лактоглобулина // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2016. Т. 226. № 2. С. 209–213.
2. Покусай О., Кутровский В. Технологические свойства молока коров черно-пестрой породы с различными генотипами каппа-казеина и бета-лактоглобулина // Молочное и мясное скотоводство. 2011. № 5. С. 39–40.
3. Indyk H.E., Hart S., Meerkerk T., Gill B.D., Woollard D.C. The β -lactoglobulin content of bovine milk: Development and application of a biosensor immunoassay // International Dairy Journal. 2017. Vol. 73. P. 68–73. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.05.010
4. Долматова И.Ю., Гареева И.Т., Ильясов А.Г. Влияние полиморфных вариантов гена бета-лактоглобулина крупного рогатого скота на молочную продуктивность // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2010. № 1. С. 18–22.
5. Федотова Н.В., Лозовая Г.С. Полиморфизм бета-лактоглобулина и оценка молочной продуктивности черно-пестрых коров разных генотипов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 6. С. 57–60.

6. Грашин В.А., Грашин А.А. Молочная продуктивность и технологические свойства молока, полученного от коров с разными генотипами по локусам генов каппа-казеина и бета-лактоглобулина // Проблемы биологии продуктивных животных. 2016. № 2. С. 20–31.
7. Погорельский И.А., Позовникова М.В. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина (BLG) в стаде крупного рогатого скота черно-пестрой породы и взаимосвязь его генотипов с показателями молочной продуктивности // Генетика и разведение животных. 2014. № 1. С. 45–47.
8. Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Зарипов О.Г. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина в стадах крупного рогатого скота // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2010. Т. 202. С. 36–41.
9. Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Валиуллина Э.Ф. Генотипирование коров по локусам каппа-казеина, бета-лактоглобулина и *blad*-мутации // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2011. Т. 205. С. 11–17.
10. Парамонова М.А. Роль полиморфизма генов молочных белков молока коров черно-пестрой породы Республики Башкортостан при производстве кисломолочного продукта ацидофилина // Агробиоинженерия 2021: сб. статей Всерос. конф.-конкурса молодых исследователей, Москва, 1 февраля — 30 апреля 2021 г. Москва: Мегapolis, 2021. С. 221–228.
11. Сарычев В.А., Афанасьева А.И. Взаимосвязь разных вариантов полиморфизма генов каппа-казеина (CSN3), бета-лактоглобулина (BLG), альфа лактоальбумина (LALBA) и лептина (LEP) с качественными и количественными показателями спермопродукции быков-производителей черно-пестрой породы // Проблемы репродуктивного здоровья животных и пути их решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. 95-летию каф. акушерства, гинекологии и биотехнологии размножения животных и 45-летию ветеринар. и науч.-практ. деятельности проф. Р.Г. Кузьмича, Витебск, 2–4 ноября 2022 г. Витебск: Витебская ордена «Знак Почета» гос. академия ветеринарной медицины, 2022. С. 126–130.
12. Павлова Н.И., Додохов В.В., Филиппова Н.П., Куртанов Х.А. Молекулярно-генетические исследования крупного рогатого скота Якутии для решения проблемы аллергии на молоко у детей // Амурский научный вестник. 2018. № 1. С. 65–69.
13. Худякова Н.А., Кудрина М.А., Ступина А.О. Частота встречаемости генотипов молочных белков у коров холмогорской породы // Молочная промышленность. 2022. № 12. С. 45–47. doi: 10.31515/1019-8946-2022-12-45-47
14. Тюлькин С.В. Молочная продуктивность и качество молока коров с разными генотипами бета-лактоглобулина // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2018. № 1. С. 258–259.
15. Di Gregorio P., Di Grigoli A., Di Trana A., Alabiso M., Maniaci G., Rando A., Valluzzi C., 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. V. 71. P. 1–5. doi: 10.1016/j.idairyj.2016.11.001
16. Singh U., Deb R., Kumar S., Singh R., Sengar G., Sharma A. Association of prolactin and beta-lactoglobulin genes with milk production traits and somatic cell count among Indian Frieswal (HF × Sahiwal) cows // Biomarkers and Genomic Medicine. 2015. V. 7. P. 38–42. doi: 10.1016/j.bgm.2014.07.001
17. Kyselová J., Ječmínková K., Matějčíková J., Hanuš O., Kott T., Štípková M., Krejčová M. Physiochemical characteristics and fermentation ability of milk from Czech Fleckvieh cows are related to genetic polymorphisms of β -casein, κ -casein, and β -lactoglobulin // Asian-Australas J Anim Sci. 2019. V. 32. P. 14–22. doi: 10.5713/ajas.17.0924

References

1. Rachkova EN. The heritability of milk productivity depending on polymorphism gene beta-lactoglobulin. *Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*. 2016;226(2):209–213. (In Russ.).
2. Pokusay O, Kutrovsky V. Technological properties of milk of high-productive golchтинизированный cows of black many-colored variety with different genotypes of kappa-kazeina and beta-lactoglobulina. *Journal of dairy and beef cattle breeding*. 2011;(5):39–40. (In Russ.).
3. Indyk HE, Hart S, Meerkerk T, Gill BD, Woollard DC. The β -lactoglobulin content of bovine milk: Development and application of a biosensor immunoassay. *International Dairy Journal*. 2017;73:68–73. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.05.010

4. Dolmatova I, Gareeva I, Iliysov A. Effects of genetic variants of beta-lactoglobulin gene in cattle milk production. *Vestnik Bashkir state agrarian university*. 2010;(1):18–22. (In Russ.).
5. Fedotova NV, Lozovaya GS. Beta-lactoglobulin polymorphism and evaluation of milk productivity of black-and-white cows of different genotypes. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011;(6):57–60. (In Russ.).
6. Grashin VA, Grashin AA. Dairy efficiency and technological properties of milk in cows with different genotypes at loci of kappa casein and beta-lactoglobulin. *Problems of productive animal biology*. 2016;(2):20–31. (In Russ.).
7. Pogorelskiy IA, Pozovnikova MV. Polymorphism of β -lactoglobulin gene in black and white cattle population and the effect of β -lactoglobulin gene on cow's milk productivity indicators. *Genetics and Breeding of Animals*. 2014;(1):45–47. (In Russ.).
8. Ahmetov TM, Tjulkin SV, Zaripov OG. Beta-lactoglobulin gene polymorphism in livestock herds. *Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*. 2010;202:36–41. (In Russ.).
9. Ahmetov TM, Tjulkin SV, Valiullina EF. Studying of genotypes cows on loci kappa-casein, beta-lactoglobulin and blad-mutation. *Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*. 2011;205:11–17. (In Russ.).
10. Paramonova MA. Role of genetic polymorphism of CSN3, ALA and LGB in black-and white cattle of Bashkortostan on yield and quality of acidophilin. In: *Agro Bio Engineering 2021: conference proceedings*. Moscow; 2021. p.221–228. (In Russ.).
11. Sarychev VA, Afanaseva AI. Relationship of different polymorphism variants of the kappa-casein (CSN3), beta-lactoglobulin (BLG), alpha-lactoalbumin (LALBA), and leptin (LEP) genes with qualitative and quantitative indicators of semen production of black-pied bulls. In: *Problems of reproductive health of animals and ways to solve them: conference proceedings*. Vitebsk; 2022. p.126–130. (In Russ.).
12. Pavlova N, Dodokhov V, Filippova N, Kurtanov K. Molecular genetic studies of Yakutia cattle for solving the problem of milk allergy in children. *Amurskii nauchnyi vestnik*. 2018;(1):65–69. (In Russ.).
13. Khudyakova NA, Kudrina MA, Stupina AO. Frequency of occurrence of milk protein genotypes in cows of the kholmogorsky breed. *Dairy industry*. 2022;(12): 45–47. (In Russ.). doi: 10.31515/1019-8946-2022-12-45-47
14. Tyulkin SV. Milk productivity and milk quality of cows with different beta-lactoglobulin genotypes. *International scientific-practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveyevich Gorbatov*. 2018;(1):258–259. (In Russ.).
15. Di Gregorio P, Di Grigoli A, Di Trana A, Alabiso M, Maniaci G, Rando A, et al. 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: 10.1016/j.idairyj.2016.11.001
16. Singh U, Deb R, Kumar S, Singh R, Sengar G, Sharma A. Association of prolactin and beta-lactoglobulin genes with milk production traits and somatic cell count among Indian Frieswal (HF \times Sahiwal) cows. *Biomarkers and Genomic Medicine*. 2015;7(1):38–42. doi: 10.1016/j.bgm.2014.07.001
17. Kyselova J, Jecminkova K, Matejickova J, Hanus O, Kott T, Stipkova M, et al. Physicochemical characteristics and fermentation ability of milk from Czech Fleckvieh cows are related to genetic polymorphisms of β -casein, κ -casein, and β -lactoglobulin. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2019;32(1):14–22. doi: 10.5713/ajas.17.0924

Об авторах:

Худякова Наталья Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN: 3906–2286

Кожевникова Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией инновационных технологий в АПК, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN: 2441–2363

Ступина Александра Олеговна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: sashastupina6@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7664-3684

Классен Инга Андреевна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: klassening@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4421-6087

Селькова Ия Витальевна — научный сотрудник лаборатории иммуногенетической экспертизы, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; selkova2458@bk.ru

ORCID: 0009-0001-5486-6120

About authors:

Khudyakova Natalya Alexandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agroindustrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: na-ta070707hudyakova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN: 3906–2286

Kozhevnikova Irina Sergeevna — Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Innovative Technologies in the Agroindustrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; Associate Professor, Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Severnoy Dviny embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN: 2441–2363

Stupina Alexandra Olegovna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agroindustrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: sashastupina6@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7664-3684

Klassen Inga Andreevna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agroindustrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: klassening@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4421-6087

Selkova Iya Vitalievna — Researcher, Laboratory of Immunogenetic Expertise, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: selkova2458@bk.ru

ORCID: 0009-0001-5486-6120