



Генетика и селекция животных Genetics and selection of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-324-336

EDN: IQHVVG


УДК 636.2.034:575.174.015.3

Научная статья / Research article

Влияние полиморфизма гена LGB на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы

Н.А. Худякова  , Е.Н. Щипакова , А.С. Кашин 

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

 nata070707hudyakova@yandex.ru

Аннотация. В современной селекционной работе уделяется немалое внимание генетическим ресурсам крупного рогатого скота (КРС), оценка которых при грамотном проведении скрещивания и отбора может повысить эффективность всей отрасли в целом. Один из способов реализации генетических ресурсов животных — оперирование информацией о полиморфизме генов молочной продуктивности. Цель исследования — определить полиморфизм гена бета-лактоглобулина у коров холмогорской породы и выявить его влияние на хозяйственно-ценные показатели молока. Исследования провели на маточном поголовье КРС холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». Генотип исследуемых животных по гену LGB определяли методом ПЦР ПДРФ с использованием эндонуклеазы рестрикции *NotI*. Установлено, что аллель В гена бета-лактоглобулина является доминирующим в генофонде исследуемой выборки коров и его частота встречаемости равна 68 %, при этом самый распространенный генотип — АВ (47,4 %). Для оценки влияния разных генотипов LGB на молочную продуктивность и качество молока коров холмогорской породы показатели продуктивности за последнюю завершённую лактацию объединили в подгруппы в зависимости от генотипов и сравнили между собой. Скорее всего, уникальность холмогорской породы, выраженная не только в показателях молочной продуктивности, экстерьера и конституции, но и в генофон-

© Худякова Н.А., Щипакова Е.Н., Кашин А.С., 2024



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

де, повлияла на расхождение полученных результатов с общими закономерностями. Во-первых, в нашем случае, аллель В положительно влияет не только на качественные и технологические характеристики молока, но и на количественные показатели молочной продуктивности. Во-вторых, наибольшая величина удоя и массовой доли сухих веществ принадлежит животным с генотипом АВ. Рекомендуется включение процедуры оценки полиморфизма гена LGB в комплекс мероприятий селекционной-производственной работы для повышения экономической эффективности предприятия. Подобный шаг также способствует дальнейшему комплексному изучению этого гена как селекционного маркера.

Ключевые слова: белок β -лактоглобулин, маточное поголовье, генотипирование, генотип, аллель, качественные характеристики молока, количественные характеристики молока

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственно-полезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (FUUW-2024–0006) (регистрационный номер — 1023032200133–8–4.2.1).

История статьи: поступила в редакцию 23 октября 2023 г., принята к публикации 7 марта 2024 г.

Для цитирования: Худякова Н.А., Щипакова Е.Н., Кашин А.С. Влияние полиморфизма гена LGB на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 324–336. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-324-336

The effect of LGB gene polymorphism on milk productivity indicators of Kholmogorsky cows

Natalya A. Khudyakova  , Ekaterina N. Shchipakova ,
Andrey S. Kashin 

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation
 nata070707hudyakova@yandex.ru

Abstract. In modern breeding work, considerable attention is paid to genetic resources of cattle, genetic assessment of which, with proper crossbreeding and selection, can increase efficiency of the entire industry. One way to realize the genetic resources of animals is to use information about polymorphism of milk productivity genes. The aim of the study was to determine polymorphism of β -lactoglobulin gene in Kholmogorsky cows and to identify its effect on economically valuable milk indicators. The experiments were carried out on the breeding stock of Kholmogorsky breed in “Kholmogorsky Plemzavod”. The genotype of the studied animals for LGB gene was determined by PCR RFLP using Hae III restriction endonuclease. It was established that the allele B of the β -lactoglobulin gene was dominant in the genome of the studied sample of cows and its frequency of occurrence was 68%, while the most common genotype was AB (47.4%). To assess the effect of different LGB genotypes on milk productivity and milk quality of Kholmogorsky cows, productivity indicators for the last completed lactation were combined into subgroups depending on the genotypes and compared with each other. Most likely, the uniqueness of the Kholmogorsky breed, expressed not only in terms of milk productivity, exterior and constitution, but also in the gene pool, influenced the discrepancy between the obtained results and general patterns. Firstly, in our case, B allele has a positive effect both on qualitative and technological

characteristics of milk, and on quantitative indicators of milk productivity. Secondly, the largest value of milk yield and the mass fraction of dry matter belongs to animals with the AB genotype. We recommended to include the procedure for assessing polymorphism of LGB gene in a set of breeding and production work activities to increase the economic efficiency of the enterprise. Such a step will also contribute to the further comprehensive study of this gene as a breeding marker.

Keywords: β -lactoglobulin protein, breeding stock, genotyping, genotype, allele, qualitative characteristics of milk, quantitative characteristics of milk

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Funding. The research was performed under the state task of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences ‘Molecular genetic assessment of farm animals for breeding and economically useful traits in the Arctic and subarctic territories of the Russian Federation’ (FUUW-2024–0006) (no. 1023032200133–8–4.2.1).

Article history: Received: 23 October 2023. Accepted: 7 March 2024.

For citation: Khudyakova NA, Shchipakova EN, Kashin AS. The effect of LGB gene polymorphism on milk productivity indicators of Kholmogorsky cows. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):324–336. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-324-336

Введение

Перерабатывающие предприятия молочной промышленности в Архангельской области заинтересованы в закупке качественного сырья для производства белково-молочной продукции, что в свою очередь мотивирует производителей молока изучать и использовать современные молекулярно-генетические диагностические методы в животноводстве для обнаружения предпочтительных генотипов животных, положительно влияющих на технологические свойства молока.

Одним из актуальных вопросов молочного скотоводства является увеличение количественных показателей молочной продуктивности и повышение качественных характеристик молока, от которых зависит дальнейшая рентабельность предприятий перерабатывающей промышленности и, как следствие, соотношение цена — качество конечных продуктов. Интеграция молекулярно-генетических методов в селекционную работу позволит оценить эти ресурсы непосредственно на уровне ДНК и мобилизовать их. Использование информации о полиморфизме генов молочной продуктивности может способствовать реализации генетических ресурсов животных.

Белок β -лактоглобулин — один из сывороточных молочных белков, составляющий до 12 % от их общего количества, традиционно учитываемого как качественный показатель молока [1]. Открытие полиморфизма гена LGB, кодирующего аминокислотную последовательность β -лактоглобулина, спровоцировало множество исследователей сделать его основным предметом своей научной деятельности. Целью этих работ ставилась оценка влияния полиморфизмов на конечные количественные и качественные, лактационные и технологические показатели молочной продуктивности [2–8]. В силу большей частоты встречаемости, наиболее изученными из полиморфных форм являются аллели А и В [9, 10].

Таким образом, сформировано следующее представление о влиянии этих аллелей на показатели молочной продуктивности: аллель А в большей степени влияет на количественные показатели, и в первую очередь на удой; а аллель В — на качественные и технологические характеристики молока, такие как повышенное содержание молочного белка и жира, а также содержание сухих веществ в молоке и коагуляционные свойства. Однако зачастую результаты исследований рознятся, что можно связать со следующими факторами: различные условия содержания скота; уникальные генетические особенности как отдельного животного, так и породы в целом; различные научные подходы к проведению исследования и методологические базы [11, 12].

Тем не менее, выявляются некоторые общие закономерности: большинство исследователей показывают рост величины удоев у животных с генотипом АА, при этом наибольшие значения содержания белка и жира в молоке установлены у животных с гомозиготным генотипом ВВ. В связи с тем, что полиморфизмы гена LGB могут оказывать различное влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота (КРС) в зависимости от аллеля и породы, проведение данных исследований становится актуальным.

Цель исследования — определить полиморфизм гена бета-лактоглобулина у коров холмогорской породы и выявить его влияние на хозяйственно-ценные показатели молока. На основе установленных закономерностей можно целенаправленно формировать генофонды молочного поголовья холмогорской породы КРС с требуемыми показателями молочной продуктивности.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на маточном поголовье КРС холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». Всего отобрали 209 образцов крови: кровь, полученную из яремной вены животных, отбирали в пробирки с ЭДТА до конечной концентрации 100 мМ. Экстракцию ДНК проводили по ручной методике с использованием центрифугирования набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ» (НекстБио). Аллель А и В гена LGB определяли ПЦР ПДРФ методом с использованием эндонуклеазы рестрикции *NotI* (табл. 1–3). Визуализацию результатов рестрикции осуществляли путем электрофоретического разделения в 3% агарозном геле в течение 80 минут при напряжении электрического поля в 100 В.

Таблица 1

Смесь для амплификации на основе набора для проведения ПЦР с HS-Taq (+MgCl₂) (Биолабмикс)

Компонент смеси	Объем, мкл
5 × ПЦР буфер (+MgCl ₂)	5,0
50 × смесь dNTP	0,5
Прямой праймер (Синтол), 10 мкМ GTCTTGTGCTGGACCCGACTACA	1,2

Окончание табл. 1

Компонент смеси	Объем, мкл
Обратный праймер (Синтол), 10 мкМ CAGGACACCGGCTCCCGGTATATGA	1,2
ДНК-матрица	2,0
HS-Taq DNA-полимераза, 5 ед. акт./мкл	0,5
Стерильная вода	14,6

Table 1

Amplification mixture based on the PCR kit with HS-Taq (+MgCl₂) (Biolabmix)

Components	Volume, µL
5 × PCR buffer (+MgCl ₂)	5.0
50 × dNTP mixture	0.5
Direct primer GTCCTGTGCTGGACACCGACTACA (Synthol), 10 µmol	1.2
Reverse primer CAGGACACCGGCTCCCGGTATATGA (Synthol), 10 µmol	1.2
DNA template	2.0
HS-Taq DNA polymerase, 5 U/µL	0.5
Sterile water	14.6

Таблица 2

Процедура амплификации с горячим стартом

Стадия	Режим	Повторность
Первичная денатурация	5 мин при 95 °С	1
Денатурация	40 с при 95 °С	38
Отжиг	40 с при 60 °С	
Элонгация	40 с при 72 °С	
Заключительная элонгация	10 мин при 72 °С	1

Table 2

Hot Start amplification procedure

Stage	Mode	Replication
Primary denaturation	5 min at 95 °C	1
Denaturation	40 sec at 95 °C	38
Annealing	40 sec at 60 °C	
Elongation	40 sec at 72 °C	
Final elongation	10 min at 72 °C	1

Смесь для рестрикции на основе набора эндонуклеазы рестрикции Hae III (SibEnzyme)

Компонент смеси	Объем, мкл
10 × SE-буфер G	2
Эндонуклеаза рестрикции Hae III, 10000 е. а./мл	1
Амплификат ДНК-матрицы	8
Стерильная вода	9

Table 3

Restriction mixture based on Hae III restriction endonuclease kit (SibEnzyme)

Components	Volume, μL
10 × SE-buffer G	2
Hae III restriction endonuclease, 10000 U/mL	1
Amplicon of DNA template	8
Sterile water	9

Для статистической обработки данных использовали расчетные формулы. Частоту встречаемости генотипов рассчитывали по формуле

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

где p — частота определенного генотипа; n — количество особей, имеющих определенный генотип; N — общее число особей.

Также определяли частоту встречаемости отдельных аллелей по формуле

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

где p_A — частота встречаемости аллеля A; n_{AA} , n_{AB} — количество животных, несущих аллель A; N — общее число животных.

Состояние генного равновесия определяли с помощью закона Харди — Вайнберга. Ожидаемую гетерозиготность рассчитывали по формуле

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

где H_e — ожидаемая гетерозиготность; p — частота аллеля A; q — частота аллеля B.

Для сопоставления фактического и ожидаемого распределения частот генотипов использовали критерий соответствия хи-квадрат:

$$\chi^2 = \sum \frac{(p_{\text{эмп}} - p_{\text{теор}})^2}{p_{\text{теор}}} \quad (4)$$

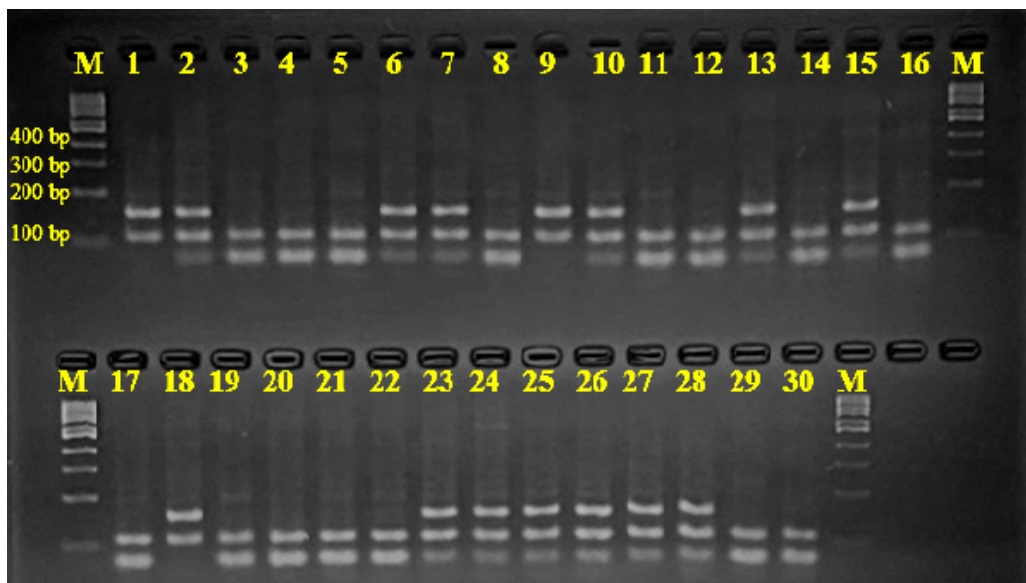
где χ^2 — отклонение эмпирического распределения частот генотипов от теоретического; $p_{\text{эмп}}$ — фактическое количество особей данного генотипа; $p_{\text{теор}}$ — теоретически ожидаемое количество особей данного генотипа.

Статистический анализ данных осуществлялся в программе Microsoft Excel 2021. Для анализа различий между показателями в сравнительных группах применялся параметрический *t*-критерий Стьюдента. Результаты представлены в виде $Me \pm m$ (ошибка среднего и стандартное отклонение). Критический уровень *p* при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Результаты исследования и обсуждение

При проведении ПЦР-ПДРФ методики с использованием эндонуклеазы рестрикции *NotI* в зависимости от генотипа исследуемого животного по гену LGB образуются фрагменты 153, 109 и 79/74 п.н. Генотипу LGB^{AA} соответствует наличие двух фрагментов длиной 153 и 109 п.н., для генотипа LGB^{BB} — наличие двух фрагментов длиной 109 и 79/74 п.н., а для LGB^{AB} — все три фрагмента 153, 109 и 79/74 п.н. [13].

Мы определяли генотип LGB у 209 особей маточного поголовья холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». В исследуемой выборке выявили все три генотипа LGB аллелей А и В (рис.). Общая генетическая структура поголовья представлена далее (табл. 4).



Визуализация результатов ПЦР-ПДРФ гена LGB: М – ДНК-маркер; 1, 9, 18 – генотип AA; 2, 6, 7, 10, 13, 15, 23–28 – генотип AB; 3–5, 8, 11, 12, 14, 16, 17, 19–22, 29, 30 – генотип BB

Источник: фото выполнили Н.А. Худякова, Е.Н. Щипакова, А.С. Кашин с помощью системы гель-документирования «Взгляд»

Visualization of PCR-PDRF results of the LGB gene: M-DNA marker; 1, 9, 18 – AA genotype; 2, 6, 7, 10, 13, 15, 23–28 – genotype AB; 3–5, 8, 11–12, 14, 16–17, 19–22, 29–30 – BB genotype

Source: photo taken by N.A. Khudyakova, E.N. Shchipakova, A.S. Kashin using the 'Vzglyad' gel documentation system

Таблица 4

Полиморфизм локуса бета-лактоглобулина у коров холмогорской породы

Показатель	n	Частота встречаемости генотипов						Частота встречаемости аллелей, %		χ^2
		AA		AB		BB		A	B	
		n	%	n	%	n	%			
Наблюдаемое распределение	209	18	8,6	99	47,4	92	44,0	32	68	1,445
Ожидаемое распределение		22	10,4	91	43,7	96	45,8			

Table 4

Polymorphism of β -lactoglobulin locus in Kholmogorsky cows

Parameter	n	Frequency of genotype occurrence						Frequency of alleles occurrence, %		χ^2
		AA		AB		BB		A	B	
		n	%	n	%	n	%			
Observed distribution	209	18	8.6	99	47.4	92	44.0	32	68	1.445
Expected distribution		22	10.4	91	43.7	96	45.8			

Выявлено доминирование аллеля В гена LGB в генофонде исследуемой выборки коров и его частота встречаемости, равная 68 %. Соответственно, частота встречаемости аллеля А составила 32 %. При этом самым распространенным генотипом оказался АВ — 47,4 % (99 из 209 голов).

При оценке наблюдаемого и ожидаемого распределения генотипов гена LGB по закону Харди — Вайнберга разница между AA-, АВ- и ВВ-генотипами соответствовала средним значениям — 1,8...3,7 %. Значение варибельности хи-квадрат χ^2 по гену LGB — 1,445, что меньше его стандартного значения 9,2. Исходя из этого, можно сделать вывод о сбалансированном состоянии генного равновесия по гену бета-лактоглобулина.

Для выявления взаимосвязи разных генотипов LGB и показателей молочной продуктивности коров холмогорской породы сформировали подгруппы животных по последней завершённой лактации в зависимости от генотипов и сравнены между собой (табл. 5).

Таблица 5

Молочная продуктивность животных с разными генотипами LGB по последней законченной лактации

Показатель		Удой за 305 дней лактации, кг	Массовая доля жира (МДЖ), %	Количество молочного жира, кг	Массовая доля белка (МДБ), %	Количество молочного белка, кг
1 лактация (n = 42)	AA (n = 6)	5317 ± 323*	3,67 ± 0,16*	195 ± 8	3,17 ± 0,04	169 ± 12*
	AB (n = 22)	6356 ± 232*/*	3,86 ± 0,10	246 ± 12	3,16 ± 0,04	201 ± 8*
	BB (n = 14)	5465 ± 276*	4,15 ± 0,13*	227 ± 18	3,28 ± 0,05	179 ± 9

Окончание табл. 5

Показатель		Удой за 305 дней лактации, кг	Массовая доля жира (МДЖ), %	Количество молочного жира, кг	Массовая доля белка (МДБ), %	Количество молочного белка, кг
2 лактация (n = 6)	AB (n = 3)	6818 ± 497	4,07 ± 0,07	277 ± 19	3,17 ± 0,11	216 ± 9
	BB (n = 3)	6797 ± 658	4,13 ± 0,25	281 ± 44	3,07 ± 0,10	209 ± 22
3 и более лактации (n = 88)	AA (n = 8)	7108 ± 338	3,76 ± 0,13	267 ± 15	3,02 ± 0,05	215 ± 13
	AB (n = 41)	7032 ± 161	4,12 ± 0,10	290 ± 9	3,05 ± 0,03	215 ± 5
	BB (n = 39)	6844 ± 168	3,99 ± 0,09	273 ± 8	3,09 ± 0,03	211 ± 6
Итого (n = 136)	AA (n = 14)	6340 ± 335	3,73 ± 0,10*	236 ± 13*	3,08 ± 0,04	195 ± 11
	AB (n = 66)	6797 ± 134	4,04 ± 0,07	274 ± 7	3,09 ± 0,02	210 ± 4
	BB (n = 56)	6496 ± 161	4,03 ± 0,07*	262 ± 8*	3,13 ± 0,03	203 ± 5

Примечание. Различия достоверны по t-критерию Стьюдента * – $p \leq 0,05$. Полу жирным начертанием выделены наибольшие показатели молочной продуктивности в подгруппе.

Table 5

Productivity of dairy animals with different LGB genotypes according to the last completed lactation

Parameter		Milk yield for 305 days of lactation, kg	Mass fraction of fat, %	Amount of milk fat, kg	Mass fraction of protein, %	Amount of milk protein, kg
1st lactation (n = 42)	AA (n = 6)	5317 ± 323*	3.67 ± 0.16*	195 ± 8	3.17 ± 0.04	169 ± 12*
	AB (n = 22)	6356 ± 232*/*	3.86 ± 0.10	246 ± 12	3.16 ± 0.04	201 ± 8*
	BB (n = 14)	5465 ± 276*	4.15 ± 0.13*	227 ± 18	3.28 ± 0.05	179 ± 9
2nd lactation (n = 6)	AB (n = 3)	6818 ± 497	4.07 ± 0.07	277 ± 19	3.17 ± 0.11	216 ± 9
	BB (n = 3)	6797 ± 658	4.13 ± 0.25	281 ± 44	3.07 ± 0.10	209 ± 22
3 or more lactations (n = 88)	AA (n = 8)	7108 ± 338	3.76 ± 0.13	267 ± 15	3.02 ± 0.05	215 ± 13
	AB (n = 41)	7032 ± 161	4.12 ± 0.10	290 ± 9	3.05 ± 0.03	215 ± 5
	BB (n = 39)	6844 ± 168	3.99 ± 0.09	273 ± 8	3.09 ± 0.03	211 ± 6
Total (n = 136)	AA (n = 14)	6340 ± 335	3.73 ± 0.10*	236 ± 13*	3.08 ± 0.04	195 ± 11
	AB (n = 66)	6797 ± 134	4.04 ± 0.07	274 ± 7	3.09 ± 0.02	210 ± 4
	BB (n = 56)	6496 ± 161	4.03 ± 0.07*	262 ± 8*	3.13 ± 0.03	203 ± 5

Note. The differences are significant according to the Student's *t*-test * – $p \leq 0.05$. The highest indicators of milk productivity in the subgroup are highlighted in bold.

В исследуемую выборку животных входило 136 коров с завершённой лактацией, 42 из которых лактировали впервые, 6 — во второй раз и 88 — в третий и более раз.

В первой подгруппе животных (1-я лактация) преобладали коровы с генотипом АВ ($n = 22$), реже встречались коровы с генотипом ВВ ($n = 14$), наименьшая численность была у коров с генотипом АА ($n = 6$). Наилучшие показатели по удою за 305 дней лактации установили у особей с LGB^{AB} — 6356 кг, что на 1042 кг больше ($p \leq 0,05$), чем у коров с LGB^{AA} , и на 891 кг больше ($p \leq 0,05$), чем с LGB^{BB} . Также количество молочного жира и молочного белка было наибольшим у представителей генотипа АВ — 246 кг и 201 кг соответственно. При этом показатели МДЖ и МДБ преобладали у коров с ВВ — 4,15 и 3,28 % соответственно.

Вторая подгруппа (2-я лактация) была наименьшей по численности ($n = 6$) и в ее состав входило 3 представителя LGB^{AB} и 3 представителя LGB^{BB} . Показатели по удою за 305 дней лактации, МДБ и количеству молочного белка были выше у коров с генотипом АВ. Остальные показатели (МДЖ и количество молочного жира) наоборот оказались больше у коров с генотипом ВВ.

Третья подгруппа (3-я и более лактация) была самой многочисленной в исследуемой выборке — 88 голов. По генетической структуре разделение было следующим: LGB^{AA} — 8 голов, LGB^{AB} — 41 голова и LGB^{BB} — 39 головы. Удой за 305 дней лактации был больше у коров с генотипом АА — 7108 кг. МДЖ, количество молочного жира и молочного белка наибольшими были у представительниц генотипа АВ — 4,12 %, 290 кг и 215 кг соответственно. При этом МДБ выше у коров с ВВ — 3,09 %.

В общей сумме в исследуемой выборке коров с завершённой лактацией присутствовало 14 голов с генотипом АА, 66 голов — АВ и 56 голов — ВВ. Наибольшие показатели молочной продуктивности выявлены у коров с генотипом АВ: удой — 6797 кг, МДЖ — 4,04 %, количество молочного жира — 274 кг и количество молочного белка — 210 кг. За исключением показателя МДБ, который лучше проявился у коров с ВВ — 3,13 %.

Холмогорская порода — одна из самых широко распространенных и используемых отечественных пород. Эти животные являются непревзойденными производителями молока в условиях сурового климата северных регионов России [14]. Скорее всего, уникальность этой породы, выраженная не только в показателях молочной продуктивности, экстерьера и конституции, но и в генофонде, повлияла на расхождение полученных результатов с общими закономерностями. Во-первых, в нашем случае, аллель В положительно влияет не только на качественные и технологические характеристики молока, но и на количественные показатели молочной продуктивности. Во-вторых, наибольшая величина удоя и массовой доли сухих веществ принадлежит животным с генотипом АВ.

Заключение

Выявлено влияние полиморфизма гена LGB на хозяйственно-ценные показатели молочной продуктивности маточного поголовья КРС холмогорской породы АО «Холмогорский Племязавод». Установлено доминирование В аллеля в генофонде

поголовья, ассоциируемое с увеличением этих показателей. При этом наибольшую величину этих показателей обеспечивает экспрессия гетерозиготного генотипа АВ.

Для дальнейшего планирования селекционно-племенной работы особенно интересно установление ассоциативных связей генотипов гена LGB с показателями молочной продуктивности именно на период 3-й и более лактации, так как именно в данный период корова достигает максимальной молочности и окупает произведенные на нее затраты. При сопоставлении результатов ежемесячного производственного контроля качества молока с генотипом гена LGB соответствующих молочных коров выявлены следующие тенденции: экспрессия генотипа АА связана с повышением удоя, так удой коров с LGB^{AA} составил 7108 кг, что на 1,1 % больше, чем у коров с LGB^{AB} (7032 кг), и на 3,9 % — чем у коров с LGB^{BB} (6844 кг); экспрессия генотипа АВ связана с повышением МДЖ в молоке, так МДЖ в молоке коров с LGB^{AB} составила 4,12 %, что на 9,6 % превышает показатели коров с LGB^{AA} (3,76 %) и на 3,3 % — с LGB^{BB} (3,99 %); экспрессия генотипа ВВ связана с повышением МДБ в молоке, МДБ в молоке коров с LGB^{BB} составила 3,09 %, данное значение больше на 2,3 % показателей коров с LGB^{AA} (3,02 %) и на 1,3 % — с LGB^{BB} (3,05 %).

Общая картина по стаду представлена следующими тенденциями: экспрессия генотипа АВ связана с повышением удоя, удой от коров с LGB^{AB} составил 6797 кг, что на 6,6 % больше, чем у коров с LGB^{AA} (6340 кг) и на 4,0 % чем у коров с LGB^{BB} (6496 кг), а также с повышением МДЖ в молоке. МДЖ молока коров с LGB^{AB} составила 3,73 %, что превышает данный показатель в молоке коров с LGB^{AA} (3,73 %) и с LGB^{BB} (4,03 %) на 8,3 и 0,2 % соответственно; экспрессия генотипа ВВ связана с повышением МДБ в молоке, так МДБ молока коров с LGB^{BB} составила 3,13 %, что больше на 1,6 %, чем в молоке коров с LGB^{AA} (3,08 %), и на 1,3 %, чем в молоке коров с LGB^{AB} (3,09 %).

Рекомендуется включение процедуры оценки полиморфизма гена LGB в комплекс мероприятий селекционной-производственной работы для повышения экономической эффективности предприятия. Подобный шаг также поспособствует дальнейшему, более комплексному изучению этого гена как селекционного маркера.

Библиографический список

1. 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
2. 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.
3. 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.
4. 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.

5. 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.
6. 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. Vol. 71. P. 1–5. doi: 10.1016/j.idairyj.2016.11.001
7. 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. Vol. 7. № 1. P. 38–42. doi: 10.1016/j.bgm.2014.07.001
8. Kyselová J, Ječmínková K, Matějčková 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. Vol. 32. P. 14–22. doi: 10.5713/ajas.17.0924
9. 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.
10. 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. Vol. 51. P. 369–381. doi/10.1111/age.12922
11. 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.
12. Тюлькин С.В. Влияние генотипа коров на их продуктивность и качество молока // Пищевые системы. 2018. Т. 1. № 3. С. 38–43. doi: 10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43
13. Павлова Н.И., Филиппова Н.П., Чугунов А.В., Додохов В.В. Полиморфизм генов CSN3, LGB и PRL у крупного рогатого скота, разводимого в Республике Саха (Якутия) // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 103–106.
14. Калашиникова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Багаль И.Е., Ялуга В.Л., Прожерин В.П. Оценка полиморфизма комплексных генотипов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP и молочной продуктивности у холмогорских коров // Молочное и мясное скотоводство. 2019. № 2. С. 14–17.

References

1. 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
2. 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.).
3. 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.).
4. Ahmetov TM, Tjulkin SV, Zaripov OG. Beta-lactoglobulin gene polymorphism in livestock herds. *Scientific notes Kazan Bauman state academy of veterinary medicine*. 2010;202:36–41. (In Russ.).
5. Tyulkin SV. Milk productivity and milk quality of cows with different beta-lactoglobulin genotypes. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati Vasiliya Matveevicha Gorbatova*. 2018;(1):258–259. (In Russ.).
6. 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
7. 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;7(1):38–42. doi: 10.1016/j.bgm.2014.07.001
8. Kyselová J, Ječmínková K, Matějčková J, Hanuš O, Kott T, Štípková M, et al. 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 Journal of Animal Sciences*. 2019;32(1):14–22. doi: 10.5713/ajas.17.0924

9. Dolmatova IY, Gareeva IT, Ilyasov AG. Effects of genetic variants of beta-lactoglobulin gene in cattle milk production. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2010;(1):18–22. (In Russ.).

10. 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: 10.1111/age.12922

11. Rachkova EN. The heritability of milk productivity depending on polymorphism gene beta-lactoglobulin. *Scientific notes Kazan Bauman state academy of veterinary medicine*. 2016;226(2):209–213. (In Russ.).

12. Tyulkin SV. The effect of cows genotype on their productivity and milk quality. *Food systems*. 2018;1(3):38–43. (In Russ.). doi: 10.21323/2618–9771–2018–1–3–38–43

13. Pavlova NI, Filippova NP, Chugunov AV, Dodokhov VV. Polymorphism of CSN3, LGB and PRL genes of cattle, bred in the Sakha (Yakutia) republic. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2016;30(11):103–106. (In Russ.).

14. Kalashnikova LA, Khabibrakhmanova YA, Bagal IE, Yaluga VL, Prozherin VP. Assessment of polymorphism of complex genotypes CSN3, LGB, PRL, GH, LEP and dairy productivity in Kholmogory cows. *Dairy and meat cattle breeding*. 2019;(2):14–17. (In Russ.).

Об авторах:

Худякова Наталья Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, 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

Щипакова Екатерина Николаевна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, 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: schipakova.katerina@yandex.ru
ORCID: 0009–0007–6952–9665 SPIN: 8931–0882

Кашин Андрей Сергеевич — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, 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: a9523005321@yandex.ru
ORCID: 0009–0004–1155–0339 SPIN: 8130–4713

About authors:

Khudyakova Natalya Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoi vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru
ORCID: 0000–0003–1302–2965 SPIN-code: 3906–2286

Shchipakova Ekaterina Nikolaevna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoi vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: schipakova.katerina@yandex.ru
ORCID: 0009–0007–6952–9665 SPIN-code: 8931–0882

Kashin Andrey Sergeevich — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoi vil., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: a9523005321@yandex.ru
ORCID: 0009–0004–1155–0339 SPIN-code: 8130–4713