



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-7>

УДК: 636.082:636.034;577.21

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИНИЙ ПОРОДЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА СИБИРЯЧКА ПО ГЕНАМ *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* И ИХ СВЯЗЬ С МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ

✉ ¹Гончаренко Г.М., ¹Гришина Н.Б., ¹Шишкина М.А., ¹Хорошилова Т.С., ¹Халина О.Л., ²Шукюрова А.М., ²Авадани Д.А.

¹Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия

✉ e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Представлены результаты исследований по продуктивности и генотипической структуре коров ведущих линий породы крупного рогатого скота Сибирячка, ассоциативным связям генотипов *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* с экономически важными признаками. Сравнительная оценка показала, что наиболее высокий удой имели коровы линии быка Рефлекшн Соверинга – 6851 кг, содержание жира – 4,05%, белка – 3,15%. Формируемые сибирские линии быков Франка 937, Урагана 27 и Курса 1949 уступают им по удою, содержанию жира и белка с показателями 5246–5504 кг, 3,92–3,94%; 3,10–3,12% соответственно. Выявлена генотипическая структура стада и ведущих линий. Линия быка Вис Бэк Айдиала характеризуется более высокой частотой *CSN3^{AA}* и *LEP^{TT}* генотипов – на 18,2 и на 11,0% по сравнению с линией Рефлекшн Соверинга. По другим генотипам различия не достигают порога достоверности. Средний уровень гомозиготности по исследованным генам варьирует от 51,2 до 73,4%. Наиболее высокая гомозиготность отмечена по *CSN3* гену в линии Вис Бэк Айдиала – 79,6%. Число эффективно действующих аллелей составляет 1,66–1,72; степень генетической изменчивости – 40,2–42,7%. Коровы с *CSN3^{AB}* генотипом имели удой на 544,0 кг выше по сравнению с гомозиготными животными по аллелю А ($p < 0,05$). Наиболее высокий удой отмечен у животных *BLG^{AA}* – 6790,1 кг, что выше, чем у коров с альтернативным генотипом *BLG^{BB}*, на 947,2 кг ($p < 0,01$). Животные с *LEP^{CC}* генотипом превосходили по удою коров с *LEP^{TT}* на 718,7 кг. По гену *LALBA* приоритетных генотипов не выявлено. Также не установлена связь между генотипами и качественными показателями молока.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, линия, генотип, гомозиготность, продуктивность

CHARACTERISTICS OF THE LINES OF THE SIBIRYACHKA CATTLE BREED BY GENES *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* AND THEIR RELATIONSHIP WITH DAIRY PRODUCTIVITY

✉ ¹Goncharenko G.M., ¹Grishina N.B., ¹Shishkina M.A., ¹Khoroshilova T.S., ¹Khalina O.L., ²Shukurova A.M., ²Avadani D.A.

¹Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University
Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

The results of studies on productivity and genotypic structure of cows of the leading lines of Sibiryachka cattle breed, associative links of *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* genotypes with economically important traits are presented. Comparative evaluation showed that Reflection Sovering bull cows had the highest milk yield

of 6851 kg, fat content of 4.05% and protein content of 3.15%. The Siberian bull lines Frank 937, Uragan 27 and Kursa 1949 which are being shaped are inferior to them in milk yield, fat and protein content with values of 5246-5504 kg, 3.92-3.94%; 3.10-3.12% respectively. The genotypic structure of the herd and the leading lines is identified. The Vis Back Aydiala bull line is characterized by a higher frequency of *CSN3^{AA}* and *LEP^{TT}* genotypes by 18.2 and 11.0%, in comparison with the Reflection Sovering line. For other genotypes, the differences do not reach the confidence threshold. The average level of homozygosity for the genes studied varies from 51.2% to 73.4%. The highest homozygosity was found for the *CSN3* gene in the Vis Back Aydiala line at 79.6%. The number of effectively acting alleles is 1.66-1.72; the degree of genetic variability is 40.2-42.7%. The cows with *CSN3^{AB}* genotype had 544.0 kg higher milk yield than homozygous animals for the A allele ($p < 0.05$). The highest milk yield was observed in *BLG^{AA}* animals - 6790.1 kg, which is 947.2 kg higher than in cows with the alternative *BLG^{BB}* genotype ($p < 0.01$). Animals with the *LEP^{CC}* genotype outperformed *LEP^{TT}* cows in milk yield by 718.7 kg. No priority genotypes were identified for the *LALBA* gene. Also, no connection has been established between genotypes and the quality indicators of milk.

Keywords: cattle, line, genotype, frequency, homozygosity, productivity.

Для цитирования: Гончаренко Г.М., Гришина Н.Б., Шишкина М.А., Хорошилова Т.С., Халина О.Л., Шукюрова А.М., Авадани Д.А. Характеристика линий породы крупного рогатого скота Сибирячка по генам *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* и их связь с молочной продуктивностью // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 5. С. 58–67. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-7>

For citation: Goncharenko G.M., Grishina N.B., Shishkina M.A., Khoroshilova T.S., Khalina O.L., Shukyurova A.M., Avadani D.A. Characteristics of the lines of the Sibirychka cattle breed by genes *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* and their relationship with dairy productivity. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 5, pp. 58–67. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-7>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания 0533-2021-0014.

Acknowledgements

The work was carried out following the state order 0533-2021-0014.

ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность черно-пестрой породы крупного рогатого скота в хозяйствах Сибирского региона растет во многом благодаря использованию быков-производителей с высоким генетическим потенциалом, эффективной селекционно-племенной работе и повышению уровня кормления, обеспечивающего потребности животного. Новая порода крупного рогатого скота Сибирячка (патент № 9498 от 08.02.2018) имеет хорошую молочную продуктивность и продолжительное долголетие [1]. Для дальнейшего совершенствования породы целесообразно наряду с методами традиционной селекции использовать молекулярно-генетические маркеры, обеспечивающие более раннее прогнозирование генетического потенциала, эффективный отбор и подбор животных. В настоящее время в селекции животных отмечен устойчивый тренд распространения голштинской породы путем интенсивного

использования импортной племенной продукции. Это приводит не только к изменению фенотипических признаков, но и к обеднению генофонда местных пород, возникновению риска увеличения гомозиготности [2, 3]. Следует отметить, что изменение генотипической структуры, мониторинг гомозиготности, инбредности в ряду поколений на примере одного стада изучены недостаточно. Полиморфные структурные гены, выявляемые методом ПЦР-ПДРФ, служат не только потенциальными генетическими маркерами экономически важных признаков животных, но также могут использоваться для характеристики происходящих изменений селекционно-генетических параметров в стаде.

К наиболее информативным генам молочного скота можно отнести гены *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP*, где особое место занимает *CSN3*, благодаря доказанному влиянию его аллеля *B* на повышенное содержание белка в молоке и лучшей сыропригодности [4–6].

Другой не менее важный белок молока – бета-лактоглобулин (β -LG) – относится к сывороточным белкам жвачных животных, характеризуется кислотоустойчивостью с оптимумом pH 6,5. Содержание β -LG в молоке коз и крупного рогатого скота составляет около 4 г/л, или 13 и 11% от общего белка соответственно, в сыворотке – до 50% всех сывороточных белков [7]. В гене *BLG* выявлено и подтверждено 13 аллельных вариантов гена *BLG*. Наиболее часто встречающиеся у крупного рогатого скота и более широко изученные аллели *A* и *B* [8]. В ряде работ показана ассоциативная связь *BLG^{BB}* с содержанием жира и белка в молоке, *BLG^{AA}* – с высокими удоями коров [9, 10].

Ген лептин и его производные белки гормона лептина вырабатываются клетками жировой ткани и играют важную роль в регуляции энергетического обмена, оказывают влияние на синтез жировой ткани в организме животных и человека [11, 12]. В мясном скотоводстве ген *LEP* рассматривается как потенциальный маркер накопления жира в туше животного, связанного с качеством мяса, его мраморностью [13, 14]. В молочном скотоводстве выявлена ассоциативная связь некоторых генотипов с молочной продуктивностью и качественным составом молока¹ [15].

Альфа-лактальбумин (англ. Lactalbumin, alpha – *LALBA*) – важный белок сыворотки млекопитающих, кодируемый геном *LALBA*. В исследовании [16] показано, что α -лактальбумин – это белок, регулирующий выработку лактозы в молоке почти всех млекопитающих. Он играет функциональную роль в изменении объема синтезируемого молока, поэтому представляет интерес для оценки и прогнозирования молочной продуктивности коров.

Цель исследования – выявить генетическую структуру стада коров породы Сибирячка и отдельных генеалогических линий с использованием генов *CSN3*, *BLG*, *LALBA*,

LEP, определить гомозиготность других селекционно-генетических параметров, а также желательных генотипов молочной продуктивности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили коровы породы Сибирячка стада СПК «Кирзинский» (Новосибирская область) с удоем 6376 кг, содержанием жира и белка в молоке 4,11 и 3,13% соответственно. Сервис-период составлял 135 дней, выход телят 81%.

Молекулярно-генетические исследования коров проведены в лаборатории биотехнологии СибНИПТИЖа Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук. Геномную ДНК выделяли из крови с использованием набора экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-В» по прописи изготовителя ООО «НекстБио» (Москва).

Качество и концентрацию выделенной ДНК, идентификацию результатов ПЦР-ПДРФ оценивали в агарозном геле методом горизонтального электрофореза с использованием геледокументирующей системы E-Box-CX5.TS-20.M в проходящем ультрафиолетовом свете по флуоресценции бромистого этидия.

Полиморфизм генов *CSN3*, *BLG* выявляли по методике ПЦР-ПДРФ, разработанной во Всероссийском НИИ племенного дела². Полиморфизм гена *LALBA* определяли по методике ПЦР-ПДРФ, описанной в работе [17]. Генотипирование животных по гену *LEP* проводили согласно методике [18].

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью компьютерных программ Microsoft Excel, а также с использованием общепринятых методик [19]. Проверку соответствия фактического распределения частот генотипов теоретически ожидаемому распределению частот проводили с помощью критерия χ^2 [20].

¹Зиннатова Ф.Ф., Шамсова А.Р., Зиннатов Ф.Ф., Сафиуллиева А.Р., Хамитова Л.Л. Изучение связи гена лептин (*LEP*) с молочной продуктивностью у коров голштинской породы с применением ПДРФ-анализа // Фундаментальная наука и технология – перспективные разработки: материалы XII междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2017. С. 1–3.

²Калашишникова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б., Дунин И.М., Приданова И.В. Рекомендации по геномной оценке крупного рогатого скота. Лесные Поляны: НИИ племенного дела, 2015. 33 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Генеалогическая структура стада Сибирячка представлена в основном голштинскими линиями, среди которых на долю линии быка Вис Бэк Айдиала 1013415 приходится 60,7% коров, Рефлекшн Соверинга 198998 – 21,6%. Формируемые сибирские линии быков Франк 937, Урагана 27, Курса 1949 в настоящее время малочисленные и значительно уступают по продуктивности голштинским линиям (см. табл. 1). Самый высокий удой (6851 кг) по первой лактации отмечен у коров линии Рефлекшн Соверинга, что выше на 1347–1605 кг, чем у животных линий Франк 937, Урагана 27, Курса 1949 ($p < 0,001$). Несколько ниже удой коров линии быка Вис

Бэк Айдиала 1013415 – 5995 кг, однако он выше, чем у животных формируемых линий, на 491–749 кг ($p < 0,5$; $p < 0,001$). Кроме того, у коров голштинских линий молоко отличается повышенным на 0,11–0,13% содержанием жира в сравнении с сибирскими линиями ($p < 0,001$). По содержанию белка существенных различий между линиями не обнаружено.

При анализе генотипической структуры стада породы Сибирячка и ведущих линий по генам *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* выявлено в основном сходное соотношение генотипов, за исключением *CSN3^{AA}* и *LEP^{TT}*, частота которых в линии Вис Бэк Айдиала выше на 18,2 и 11,0 % по сравнению с линией Рефлекшн Соверинга ($p < 0,05$) (см. табл. 2).

Табл. 1. Молочная продуктивность коров основных линий

Table 1. Milk productivity of cows of the main lines

Линия	Голов	Первая лактация		
		Удой, кг	Жир, %	Белок, %
Вис Бэк Айдиал 1013415	334	5995 ± 55	3,97 ± 0,01	3,12 ± 0,002
Рефлекшн Соверинг 198998	119	6851 ± 98	4,05 ± 0,02	3,15 ± 0,006
Монтвик Чифтейн 95679	38	6221 ± 78	4,04 ± 0,02	3,14 ± 0,006
Франк 937	25	5504 ± 147	3,92 ± 0,01	3,11 ± 0,004
Ураган 27	22	5366 ± 178	3,94 ± 0,01	3,12 ± 0,004
Курс 1949	12	5246 ± 235	3,92 ± 0,02	3,10 ± 0,01

Табл. 2. Генотипическая характеристика коров черно-пестрой породы СПК «Кирзинский» по гену *CSN3* с учетом линейной принадлежности

Table 2. Genotypic characteristics of black-and-white cows of the "Kirzinsky" APC by the *CSN3* gene with respect to linear affiliation

Генотип	Линия			
	Вис Бэк Айдиал ($n = 78$)	Рефлекшн Соверинг ($n = 46$)	По стаду	χ^2
<i>CSN3^{AA}</i>	76,9 ± 4,77	58,7 ± 7,26	71,0 ± 3,96	0,020
<i>CSN3^{AB}</i>	23,1 ± 4,77	34,8 ± 7,02	26,7 ± 3,86	
<i>CSN3^{BB}</i>	0 ± 0,00	6,5 ± 3,64	2,3 ± 1,31	
<i>BLG^{AA}</i>	29,5 ± 5,16	43,5 ± 7,31	35,9 ± 4,19	1,555
<i>BLG^{AB}</i>	46,2 ± 5,64	39,1 ± 7,20	43,5 ± 4,33	
<i>BLG^{BB}</i>	24,4 ± 4,86	17,4 ± 5,59	20,6 ± 3,53	
<i>LEP^{CC}</i>	35,9 ± 5,43	54,4 ± 7,34	48,9 ± 4,37	1,367
<i>LEP^{CT}</i>	48,7 ± 5,66	41,3 ± 7,26	45,0 ± 4,35	
<i>LEP^{TT}</i>	15,4 ± 4,09	4,4 ± 3,01	6,1 ± 2,09	
<i>LALBA^{AA}</i>	52,6 ± 5,65	43,5 ± 7,31	41,2 ± 4,30	0,555
<i>LALBA^{AB}</i>	41,0 ± 5,57	52,2 ± 7,37	48,1 ± 4,36	
<i>LALBA^{BB}</i>	6,4 ± 2,77	4,35 ± 3,01	10,7 ± 2,70	

Следует подчеркнуть, что соотношение генотипов *CSN3* в основном соответствует полиморфизму этих генов в черно-пестрой породе. Как показали исследования³ [21, 22], гомозиготный генотип *CSN3^{AA}* выявлен у 55,2–73,2%, гетерозиготный генотип *CSN3^{AB}* имели 26,8–38,9% животных, на долю гомозиготного генотипа *CSN3^{BB}* приходилось 5,6–10,2%. Аналогичная частота генотипов *CSN3* отмечена и у коров симментальской породы: *CSN3^{AA}* – 0,626, *CSN3^{AB}* – 0,306 и *CSN3^{BB}* – 0,068 [23]. В целом по стаду обращает на себя внимание низкая частота желательного генотипа *CSN3^{BB}*, ассоциативная связь которого с содержанием белка в молоке и более высокая сыропригодность доказана многими авторами [3–5, 24].

Наши исследования показали, что частота *BLG^{AA}* составляет 35,9%, гетерозиготы – 43,5, гомозиготный генотип *BLG^{BB}* – 20,6%. В линиях отмечена вариативность частот генотипов, однако в связи с недостаточным объемом выборки достоверных различий не обнаружено. Выявленная нами генотипическая структура черно-пестрой породы по гену *BLG* совпадает с данными ряда авторов. В исследованиях [25–27] утверждается, что около половины животных – гетерозиготы, на долю гомозигот с *BLG^A* аллелем по разным источникам приходится 24–27%.

По частоте генотипов гена *LEP* существуют противоречивые данные. У коров голштинской породы частота генотипов следующая: *LEP^{CC}* – 10%, *LEP^{CT}* – 62, *LEP^{TT}* – 28% (см. сноску 1). У коров холмогорской породы татарстанского типа распределение генотипов несколько иное: *LEP^{CC}* – 25%, *LEP^{CT}* –

55,5, *LEP^{TT}* – 19,5% [15]. По нашим данным, наименьший удельный вес коров занимают животные с генотипом *LEP^{TT}* – 6,1%, в линии Рефлекшн Соверинг – 4,4%. Гомозиготный генотип *LEP^{CC}* выявлен у половины животных в целом по стаду, несколько меньше у животных, принадлежащих линии Вис Бэк Айдиала – 35,9%.

При анализе частот генотипов гена *LALBA* у коров черно-пестрой породы по литературным и нашим данным показана низкая частота генотипа *LALBA^{BB}* – от 3 до 20%, тогда как частота генотипов *LALBA^{AA}* и *LALBA^{AB}* отмечена до 50% [28, 29].

На основании частот генотипов вычислены селекционно-генетические параметры: *Ca* – гомозиготность, *SH* – коэффициент гомозиготности, *N_a* – число эффективно действующих аллелей, *V* – степень генетической изменчивости популяции. Средний уровень гомозиготности по исследованным генам варьирует от 51,2 до 73,4%, при этом наиболее высокая гомозиготность отмечена по *CSN3* в линии Вис Бэк Айдиала – 79,6%. Число эффективно действующих аллелей и степень генетической изменчивости в линиях находится примерно на одном уровне: 1,66–1,72 и 40,2–42,7% (см. табл. 3).

В исследованиях по использованию генетических маркеров в селекции особый интерес вызывает связь генотипов с продуктивностью. Нами установлено, что наиболее высоким удоом обладали гетерозиготные коровы *CSN3^{AB}*. Превышение составляло 544,0 кг по сравнению с коровами с гомозиготным *CSN3^{AA}* генотипом ($p < 0,05$). Литературные данные по этому вопросу неоднозначные.

Табл. 3. Селекционно-генетические параметры стада Сибирячка

Table 3. Breeding and genetic parameters of the Sibiryachka herd

Линия	<i>n</i>	<i>Ca</i> , %				<i>SH</i>	<i>N_a</i>	<i>V</i>
		<i>CSN3</i>	<i>BLG</i>	<i>LALBA</i>	<i>LEP</i>			
Вис Бэк Айдиал	78	79,6	50,2	52,2	60,6	0,100	1,66	40,2
Рефлекшн Соверинг	46	63,6	53,4	62,6	57,6	0,064	1,72	42,7
По стаду	127	73,4	51,2	55,0	59,4	0,08	1,67	40,6

³Lihodeevkaya O.E., Lihodeevkiy G.A., Gorelik O.V. et al. Effect of genetic and paratypil factors on milk production in cattle // III International scientific conference: agritech-iii-2020: agribusiness, environmental engineering and biotechnologies. Volgograd, Krasnoyarsk, 2020. 82009 p.

Табл. 4. Продуктивность коров черно-пестрой породы в зависимости от носительства генотипа *CSN3* (первая лактация)

Table 4. Productivity of black-and-white cows depending on the carriage of the *CSN3* genotype (first lactation)

Генотип	n	Показатель за первые 305 дней лактации		
		Удой, кг	Жир, %	Белок, %
<i>CSN3^{AA}</i>	70	6197,8 ± 164,80	4,00 ± 0,03	3,12 ± 0,01
<i>CSN3^{AB}</i>	21	6741,8 ± 207,70	4,03 ± 0,04	3,14 ± 0,02
<i>BLG^{AA}</i>	29	6790,1 ± 255,28	4,04 ± 0,04	3,13 ± 0,01
<i>BLG^{AB}</i>	40	6319,1 ± 209,88	4,01 ± 0,04	3,11 ± 0,01
<i>BLG^{BB}</i>	24	5842,9 ± 265,35	3,98 ± 0,03	3,12 ± 0,01
<i>LALBA^{AA}</i>	46	6404,2 ± 224,33	3,99 ± 0,03	3,11 ± 0,01
<i>LALBA^{AB}</i>	41	6248,8 ± 197,70	4,04 ± 0,04	3,13 ± 0,01
<i>LALBA^{BB}</i>	6	6519,2 ± 333,01	3,92 ± 0,03	3,12 ± 0,02
<i>LEP^{CC}</i>	39	6726,3 ± 193,73	4,06 ± 0,04	3,13 ± 0,01
<i>LEP^{CT}</i>	40	6086,8 ± 232,53	3,98 ± 0,03	3,12 ± 0,01
<i>LEP^{TT}</i>	14	6007,6 ± 300,98	3,94 ± 0,02	3,10 ± 0,01

Приоритетность генотипа *CSN3^{AB}* по удою установлена в работе [30]. Учитывая низкую частоту *CSN3^{BB}* генотипа в стаде, при анализе продуктивности этих животных не учитывали (см. табл. 4).

Среди коров с генотипами гена *BLG* наиболее высокий удой отмечен у животных *BLG^{AA}* – 6790,1 кг, что выше, чем у коров с альтернативным генотипом *BLG^{BB}*, на 947,2 кг ($p < 0,01$). При изучении ассоциативных связей этого гена с молочной продуктивностью у коров черно-пестрой породы получены несколько иные результаты. Коровы с *BLG^{AB}* имели преимущество над сверстницами с генотипами *BLG^{AA}* и *BLG^{BB}* на 295 и 178 кг молока, по содержанию жира и белка в молоке на 0,09 и 0,05 % соответственно [9].

При анализе ассоциативных связей генотипов *LEP* с молочной продуктивностью коров анализируемого стада установлено, что удой животных с *LEP^{CC}* был выше на 718,7 кг по сравнению с коровами с *LEP^{TT}* ($p < 0,05$). Подобные результаты по приоритетности генотипа *LEP^{CC}* по удою получены в работе [15].

В гене *LALBA* ассоциативных связей генотипов с показателями молочной продуктивности не выявлено. Также не установлена связь между генотипами и качественными показателями молока.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительная оценка показала, что наиболее высокий удой имеют коровы линии быка Рефлекшн Соверинга – 6851 кг, содержание жира составляло 4,05%, белка – 3,15%. Формируемые сибирские линии Франка 937, Урагана 27 и Курса 1949 уступают им по удою, содержанию жира и белка: 5246–5504 кг, 3,92–3,94%, 3,10–3,12% соответственно.

2. Частота генотипов *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* породы Сибирячка в целом соответствует черно-пестрой породе. Выявлена низкая частота генотипа *CSN3^{BB}* – 2,3% и высокая *CSN3^{AA}* – 71,0%. Соотношение генотипов в *BLG* гене: *BLG^{AA}* : *BLG^{AB}* : *BLG^{BB}* – 35,9 : 43,5 : 20,6%. В генах *LALBA* и *LEP* на долю гомозиготных генотипов *LALBA^{BB}* и *LEP^{TT}* приходится 6,1 и 10,7% соответственно, встречаемость двух других генотипов находится на уровне 41,2–48,9%. В ведущих линиях породы Сибирячка по генам *CSN3*, *BLG*, *LALBA*, *LEP* установлено сравнительно одинаковое соотношение генотипов, за исключением *CSN3^{AA}* и *LEP^{TT}*, частота которых в линии Вис Бэк Айдиала выше на 18,2 и 11,0% по сравнению с линией Рефлекшн Соверинга ($p < 0,05$).

3. Средний уровень гомозиготности по исследованным генам варьирует от 51,2 до 73,4%, при этом наиболее высокая гомозиготность наблюдается по *CSN3* в линии Вис Бэк Айдиала – 79,6%. Число эффективно действующих аллелей и степень генетической изменчивости в линиях находится примерно на одном уровне: N_a – 1,66–1,72, V – 40,2–42,7%.

4. Коровы породы Сибирячка с гетерозиготным генотипом *CSN3*^{AB} имели удой на 544,0 кг больше по сравнению с коровами с гомозиготным *CSN3*^{AA} генотипом ($p < 0,05$). Среди коров с генотипами гена *BLG* наиболее высокий удой отмечен у животных *BLG*^{AA} – 6790,1 кг, что выше, чем у коров с альтернативным генотипом *BLG*^B, на 947,2 кг ($p < 0,01$). Коровы с генотипом *LEP*^{CC} также имели удой на 718,7 кг выше, чем у коров с *LEP*^{TT} ($p < 0,05$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименок И.И., Герасимчук Л.Д., Яранцева С.Б., Шишкина М.А. Продолжительность продуктивного использования коров породы Сибирячка в Западной Сибири // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2016. № 4. С. 137–142.
2. Стрекозов Н.И. Оценка быков по качеству потомства и геному – основа успеха разведения пород молочного скота // Молочное и мясное скотоводство. 2018. № 6. С. 10–12.
3. Dotsev A.V., Sermyagin A.A., Shakhin A.V., Paronyan I.A., Plemashov K.V., Reyer H., Wimmers K., Brem G., Zinovieva N.A. Evaluation of current gene pool of kholmogor and black-and-white cattle breeds based on whole genome SNP analysis // Vavilov journal of genetics and breeding. 2018. N 6 (22). P. 742–747. DOI: 10.18699/VJ18.418.
4. Бигаева А.В., Кручинин А.Г., Гильманов Х.Х., Илларионова Е.Е. Влияние полиморфных вариантов гена *CSN3* на технологические свойства молока // Молочная промышленность. 2020. № 4. С. 54–55. DOI: 10.31515/1019-8946-2020-04-54-55.
5. Валитов Ф.Р., Долматова И.Ю., Ганиева И.Н., Кунафин И.Р. Качественный состав молока коров с разными генотипами по гену каппаказеина // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2019. Т. 219. № 3. С. 70–73.
6. Шайдуллин Р.Р., Шарафутдинов Г.С., Москвичёва А.Б. Белкомомолочность в течение лактации первотелок с разными генотипами *CSN3* и *DGAT* // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 5. С. 55–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10513.
7. Хаертдинов Р.А., Закирова Г.М., Камалдинов И.Н., Фатихов А.Г. Значение бета-лактоглобулина в белковом составе козьего молока // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины. 2017. Т. 229. № 1. С. 58–61.
8. Martin P., Bianchi L., Cebo C., Miranda G. Genetic polymorphism of milk proteins: Quantitative variability and molecular diversity // Advanced dairy chemistry. Springer Science + Business, Media. New York, 2013. Vol. 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th ed. P. 387–429. DOI: 10.1007/978-1-4614-4714-6.
9. Погорельский И.А., Позовникова М.Е. 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. № 5. С. 45–47.
10. Kopylov K.V., Kopylova K.V., Shelov A.V., Berezovsky O.V. Use of the Molecular-Genetic markers in the selection process of the Ukrainian animal husbandry // Agrikultural Science und Practice. 2014. N 12. P. 24–30.
11. Терещенко И.В. Лептин и его роль в организме // Проблемы эндокринологии. 2001. Т. 47. № 4. С. 40–46.
12. Stone R.T., Kappes S.M., Beattie C.W. The bovine homologue of the obese gene maps to chromosome 4 // Mamm Genome. 1996. N 7 (5). P. 399–400. DOI: 10.1007/s003359900119.
13. Герасимов Н.П., Колтаков В.И., Джуламанов К.М., Лапишина А.А. Влияние однонуклеотидных полиморфизмов *LEP* C528T и *LEP* C73T гена лептина на оценку качества туш и выход мясных отрубов у коров и телок абердин-ангусской породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 96–108. DOI: 10.33284/2658-3135-103-4-96.
14. Чижова Л.Н., Суржикова Е.С., Михайленко Т.Н. Оценка генетического профиля молодняка крупного рогатого скота мясных пород на основе ДНК-диагностики по генам *CAPN1*, *GH*, *TG*, *LEP* // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 5. С. 159–165.
15. Тюлькин С.В., Шайдуллин Р.Р., Гильманов Х.Х., Вафин Р.Р., Фаизов Т.Х. Влияние породы и ге-

- нотипа по гену лептина на молочную продуктивность и качество молока // Ветеринарный врач. 2019. № 3. С. 52–56.
16. Farrell H.M., Jimenez-Flores R., Bleck G.T., Brown E.M., Butler J.E., Creamer L.K., Hicks C.L., Hollar C.M., Ng-Kwai-Hang K.F., Swaisgood H.E. Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk – Sixth Revision // Journal of Dairy Science. 2004. Vol. 87. N 6. P. 1641–1674.
17. 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.
18. Corva P.M., Fernández Macedol G.V., Soria L.A., Papaleo Mazzucco J., Motter M., Villarreal E.L., Schor A., Mezzadra C.A., Melucci L.M., Mique M.C. Effect of leptin gene polymorphisms on growth, slaughter and meat quality traits of grazing Brangus steers // Genetics and molecular research. 2009. N 8 (1). P. 105–116.
19. Меркурьева Е.К. Генетические основы селекции в скотоводстве: монография. М: Колос, 1977. 198 с.
20. Кузнецов В.М. Основы научных исследований в животноводстве: монография. Киров, 2006. 568 с.
21. Зигадуллин Л.Р., Шайдуллин Р.Р., Ахметов Т.М., Тюлькин С.В. Полиморфизм генов каппа-казеина и диацилглицерол о-ацилтрансферазы у черно-пестрого скота // Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 1 (37). С. 24–34.
22. Юдина О.П., Деян А.С., Ермилов А.Н., Романенкова О.С., Соина О.Л., Усова Т.П., Сапегина Е.В. Влияние генотипов каппа-казеина и страны происхождения быков-производителей голштинской породы на основные хозяйственно ценные признаки их дочерей // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 76–94.
23. Панин В.А. Оценка генотипа по генам *CSN3* и *BLG*, влияющим на синтез молочного белка и жира в молоке симментальских коров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 8. С. 197–201.
24. Шайдуллин Р.Р., Шарафутдинов Г.С., Москвичёва А.Б. Сыропригодность молока черно-пестрых коров с разными генотипами каппа-казеина и диацилглицерол о-ацилтрансферазы // Известия Самарской сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 59–63.
25. Грибанова Ж.А., Курак О.П. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина и его влияние на молочную продуктивность и качественные показатели молока белорусской черно-пестрой породы // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2012. № 5. С. 119–124.
26. Гильманов Х.Х., Ржанова И.В., Вафин Р.Р. Характеристика быков-производителей с комплексными генотипами генов *BLG* и *INOS* по молочной продуктивности женских предков // Ученые записки Казанской государственной академии им. Н.Э. Баумана. 2020. Т. 243. № 3. С. 88–91.
27. Pavlova N.I., Filippova N.P., Dodokhov V.V., Khaldeeva M.N., Zakharova L.N., Kurtanov K.H.A., Stepanov N. The analysis of polymorphism of kappa-casein, β -lactoglobulin and prolactin genes among yakutian cattle and its influence on milk production // Journal of agriculture and environment. 2019. N 2 (10). P. 5–10.
28. Лупова Т., Ганджа А., Кулешевич Я. Генетическая структура коров черно-пестрой породы по лактопротеинам // Ştiinţa agricolă. 2020. № 1. С. 160–166.
29. Сельцов В.И., Костюнина О.В., Загороднев Ю.П., Гладырь Е.А. Оценка молочной продуктивности коров разных пород в связи с полиморфизмом по гену альфа-лактальбумина // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 3. С. 57–60.
30. Егорашина Е.В., Тамарова Р.В. Молочная продуктивность коров разных пород во взаимосвязи с генотипами по каппа-казеину и бета-лактоглобулину // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 2. С. 79–85.

REFERENCES

1. Klimenok I.I., Gerasimchuk L.D., Yarantseva S.B., Shishkina M.A. Duration of efficient usage of Sibiryachka cows in Western Siberia. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2016, no. 4, pp. 137–142. (In Russian).
2. Strekozov N.I. Evaluation of bulls for the quality offspring and the genome is the basis for the success of breeding dairy cattle. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Dairy Beef Cattle*, 2018, no. 6, pp. 10–12. (In Russian).
3. Dotsev A.V., Sermiyagin A.A., Shakhin A.V., Paronyan I.A., Plemyashov K.V., Reyer H., Wimmers K., Brem G., Zinovieva N.A. Evaluation of current gene pool of kholmogor and black-and-white cattle breeds based on whole genome SNP analysis. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov journal of genetics and breeding*, 2018, no. 6 (22), pp. 742–

747. DOI: 10.18699/VJ18.418.
4. Bigaeva A.V., Kruchinin A.G., Gil'manov Kh.Kh., Illarionova E.E. Influence of polymorphic *CSN3* gene types on technological traits of milk. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy industry*, 2020, no. 4, pp. 54–55. (In Russian). DOI: 10.31515/1019-8946-2020-04-54-55.
5. Valitov F.R., Dolmatova I.Yu., Ganieva I.N., Kunafin I.R. Qualitative composition of milk of cows with different genotypes by the Kappa-casein gene. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Bauman = Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 2019, vol. 219, no. 3, pp. 70–73. (In Russian).
6. Shaidullin R.R., Sharafutdinov G.S., Moskvicheva A.B. Protein content in the milk of first calf heifers of different *CSN3* and *DGAT*. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2019, vol. 33, no. 5, pp. 55–58. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10513.
7. Khaertdinov R.A., Zakirova G.M., Kamaldinov I.N., Fatikhov A.G. Importance of beta-lactoglobulin in the protein composition of goat milk. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Bauman = Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 2017, vol. 229, no. 1, pp. 58–61. (In Russian).
8. Martin P., Bianchi L., Cebo C., Miranda G. Genetic polymorphism of milk proteins: Quantitative variability and molecular diversity. *Advanced dairy chemistry. Springer Science + Business, Media*, New York, 2013, vol. 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th ed, pp. 387–429. DOI: 10.1007/978-1-4614-4714-6.
9. Pogorel'skii I.A., Pozovnikova M.E. Polymorphism of the beta-lactoglobulin [*BLG*] gene in a herd of black-and-white cattle and the interrelation of its genotypes with indicators of milk productivity. *Genetika i razvedenie zhivotnykh = Genetics and breeding of animals*, 2014, no. 5, pp. 45–47. (In Russian).
10. Kopylov K.V., Kopylova K.V., Shelov A.V., Berzovsky O.V. Use of the Molecular-Genetic markers in the selection process of the Ukrainian animal husbandry. *Agrikultural Science and Practice*, 2014, no. 12, pp. 24–30.
11. Tereshchenko I.V. Leptin and its role in the organism. *Problemy endokrinologii = Problems of endocrinology*, 2001, vol. 47, no. 4, pp. 40–46. (In Russian).
12. Stone R.T., Kappes S.M., Beattie C.W. The bovine homologue of the obese gene maps to chromosome 4. *Mamm Genome*, 1996, no. 7 (5), pp. 399–400. DOI: 10.1007/s003359900119.
13. Gerasimov N.P., Kolpakov V.I., Dzhulamanov K.M., Lapshina A.A. Influence of single nucleotide polymorphisms *LEP* C528T and *LEP* C73T of the leptin gene on the assessment of the quality of carcasses and the yield of meat cuts in the Angus cows. and heifers. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*, 2020, vol. 103, no. 4, pp. 96–108. (In Russian). DOI: 10.33284/2658-3135-103-4-96.
14. Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Mikhailenko T.N. Assessment of the genetic profile in horned young cattle of meat breeds based on DNA diagnostics for the *CAPN1*, *GH*, *TG*, *LEP* genes. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*, 2020, no. 5, pp. 159–165. (In Russian).
15. Tyul'kin S.V., Shaidullin R.R., Gil'manov Kh.Kh., Vafin R.R., Faizov T.Kh. Influence of breed and genotype for leptin gene on milk productivity and milk quality of cows. *Veterinarnyi vrach = The Veterinarnyi Vrach journal*, 2019, no. 3, pp. 52–56. (In Russian).
16. Farrell H.M., Jimenez-Flores R., Bleck G.T., Brown E.M., Butler J.E., Creamer L.K., Hicks C.L., Hollar C.M., Ng-Kwai-Hang K.F., Swaisgood H.E. Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk – Sixth Revision. *Journal of Dairy Science*, 2004, vol. 87, no. 6, pp. 1641–1674.
17. Tyul'kin S.V. The effect of cows genotype on their productivity and milk quality. *Pishchevye sistemy = Food systems*, 2018, vol. 1, no. 3, pp. 38–43. (In Russian). DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43.
18. Corva P.M., Fernández Macedo G.V., Soria L.A., Papaleo Mazzucco J., Motter M., Villarreal E.L., Schor A., Mezzadra C.A., Melucci L.M., Mique M.C. Effect of leptin gene polymorphisms on growth, slaughter and meat quality traits of grazing Brangus steers. *Genetics and molecular research*, 2009, no. 8 (1), pp. 105–116.
19. Merkur'eva E.K. *Genetic bases of breeding in cattle breeding*. Moscow, Kolos Publ., 1977, 198 p. (In Russian).
20. Kuznetsov V.M. *Principles of scientific research in animal husbandry*. Kirov, 2006. 568 p. (In Russian).
21. Zigadullin L.R., Shaidullin R.R., Akhmetov T.M., Tyul'kin S.V. Kappa-casein and diacyl-

- glycerol O-acyltransferase gene polymorphism in black-and-white cattle. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik = Dairy Bulletin*, 2020, no. 1 (37), pp. 24–34. (In Russian).
22. Yudina O.P., Delyan A.S., Ermilov A.N., Romanenkova O.S., Soinova O.L., Usova T.P., Sapagina E.V. Influence of genotypes of the kappa-casein gene and the country of origin of holstein bull-producers on the main economic characters of their female calves. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2020, no. 1, pp. 76–94. (In Russian).
23. Panin V.A. The genotype assessment by the *CSN3* and *LGB* genes, affecting the synthesis of milk protein and fat in the milk of Simmental cows. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg state agrarian university*, 2020, no. 8, pp. 197–201. (In Russian).
24. Shailullin R.R., Sharafutdinov G.S., Moskvicheva A.B. Milk of black-white cows with different genes of kappa casein and diacylglycerol of o-acyltransferase for cheesemaking. *Izvestiya Samarskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin Samara State Agricultural Academy*, 2020, no. 2, pp. 59–63. (In Russian).
25. Gribanova Zh.A., Kurak O.P. Polymorphism of beta-lactoglobulin gene and its effect on milk productivity and quality indicators of milk of the Belarusian black-and-white breed. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva = Actual problems of intensive development of livestock*, 2012, no. 5, pp. 119–124. (In Russian).
26. Gil'manov Kh.Kh., Rzhanova I.V., Vafin R.R. Characteristics of bull-producers with complex genotypes genes of *BLG* and *INOS* by milk productivity of female ancestors. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii im. N.E. Bauman = Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 2020, vol. 243, no. 3, pp. 88–91. (In Russian).
27. Pavlova N.I., Filippova N.P., Dodokhov V.V., Khaldeeva M.N., Zakharova L.N., Kurtanov K.H.A., Stepanov N. The analysis of polymorphism of kappa-casein, β -lactoglobulin and prolactin genes among yakutian cattle and its influence on milk production. *Journal of agriculture and environment*. 2019, no. 2 (10), pp. 5–10.
28. Lupova T., Gandzha A., Kuleshevich Ya. Genetic structure of black-and-white breed cows at lactoprotein loci. *Știința agricolă*, 2020, no. 1, pp. 160–166. (In Russian).
29. Sel'tsov V.I., Kostyunina O.V., Zagorodnev Yu.P., Gladyr' E.A. The estimate of cows milk productivity different breeds in view with alphasalalbumin gene polymorphism. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2013, no. 3, pp. 57–60. (In Russian).
30. Egorashina E.V., Tamarova R.V. Milk productivity of cows of different breeds in relation to the genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian journal of Upper Volga region*, 2019, no. 2, pp. 79–85. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Гончаренко Г.М.**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Гришина Н.Б., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Шишкина М.А., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Хорошилова Т.С., научный сотрудник

Халина О.Л., младший научный сотрудник

Шукюрова А.М., младший научный сотрудник

Авадани Д.А., младший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Galina M. Goncharenko**, Doctor of Science in Biology, Head Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Natalya B. Grishina, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Mariya A. Shishkina, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Tatyana S. Khoroshilova, Researcher

Olga L. Khalina, Junior Researcher

A.M. Shukyurova, Junior Researcher

D.A. Avadani, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 02.07.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 30.09.2021
Дата публикации / Published 25.11.2021