

СВЯЗЬ АЛЛЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ *A* И *B* ГЕНА БЕТА-ЛАКТОГЛОБУЛИНА С МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

© 2023 г. Е. В. Парыгина^{1, 2, *}, И. С. Кожевникова^{1, 2}

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова
Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, 163069 Россия

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, 163002 Россия

*e-mail: pariginakaty@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.03.2022 г.

После доработки 14.06.2022 г.

Принята к публикации 07.07.2022 г.

Эффективность селекции крупного рогатого скота по количественным и качественным признакам, имеющим экономическое значение в молочном скотоводстве, во многом зависит от идентификации генов, контролирующих эти признаки, а также их аллельного полиморфизма. Одним из таких генов является ген *LGB*, кодирующий белок бета-лактоглобулин. В обзоре приведена краткая информация о строении и биологической роли белка, полиморфизме гена. Проведен анализ литературных данных различных исследований, позволивших выявить и оценить влияние двух наиболее распространенных аллелей гена *LGB* (*A* и *B*) на показатели эффективности молочного производства.

Ключевые слова: бета-лактоглобулин, *LGB*, генетический полиморфизм, крупный рогатый скот, молочная продуктивность, молочный белок.

DOI: 10.31857/S0016675823020078, **EDN:** KXXOZD

В настоящее время одной из проблем молочного скотоводства является улучшение качественных и количественных показателей молока, от которых зависит рентабельность и экономичность работы во многом зависит от точности оценки племенной ценности животных. Интеграция же молекулярной генетики в прикладную сферу позволяет оценить потенциал продуктивных качеств крупного рогатого скота непосредственно на уровне ДНК. Одним из способов мобилизации генетических ресурсов животных с целью улучшения желаемых признаков является использование информации о полиморфизме генов, участвующих в формировании химического состава молока и оказывающих влияние на удои [1–4].

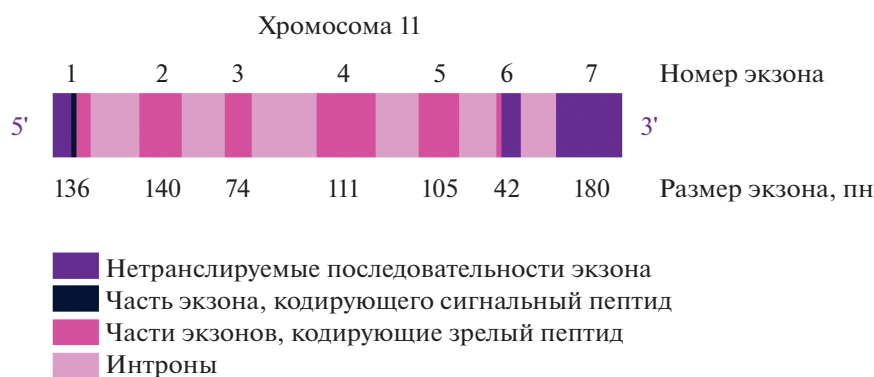
Традиционно учитываемый показатель качества молока – это количество молочного белка, включающего в себя две основные группы: казеин (80%) и сывороточные белки (20%) [5]. В число последних и входит бета-лактоглобулин (β -LG), составляющий до 12% от общего числа молочных белков [6–8].

β -LG представляет собой глобулярный белок из одной полипептидной цепи, насчитывающей 162 аминокислотных остатка [6, 9, 10]. Сигнальный пептид состоит из 16 аминокислот, таким образом полная последовательность молекулы β -LG

насчитывает 178 аминокислотных остатков [6]. В сыром молоке β -LG находится в виде димера, связанного за счет образования дисульфидных мостиков четырьмя из пяти остатков цистеина [6–8, 10, 11]. При нагревании свыше 30°C распадается на мономеры. Дальнейшая тепловая денатурация приводит к выпадению в осадок комплекса β -LG и каппа-казеина (κ -казеина). Молекулярная масса β -LG составляет 18 кДа, изоэлектрическая точка соответствует рН 5.1 [8, 10–12].

Биологическая роль β -LG до конца не ясна. В настоящее время установлено, что β -LG связывает жирные кислоты, витамин D, ретинол, а также участвует в транспорте последнего [6, 7]. Кроме того, β -LG стимулирует активность липазы и проявляет антиоксидантную активность в молоке [7, 13]. Однако интерес исследователей к данному белку объясняется также тем, что β -LG представляет собой основной аллерген молока, поскольку он не встречается в грудном молоке человека и вследствие этого может вызывать иммунные реакции у человека [10, 12].

β -LG кодируется геном *LGB* [12], также известным как *PAEP* (progesterone-associated endometrial protein) [4, 14, 15], который расположен на 11-й хромосоме крупного рогатого скота. Он включает в себя семь экзонов и шесть интронов. Об-

Рис. 1. Структура гена *LGB*.

щая длина гена составляет 4662 пн [4, 9, 16, 17]. Структура гена представлена на рис. 1 [18, 19].

В настоящее время известно 15 вариантов строения аминокислотной цепи, из которых 11 изучены наиболее полно и различаются одной или несколькими аминокислотами (табл. 1) [20–23].

Так, во втором экзоне наблюдается аминокислотная замена у β -LG вариантов С, D, F, W, в третьем – у А, Н, в четвертом – у А, G, Н, I, в пятом – у F, J, в шестом – у E, F, G [6]. Информация о нуклеотидных заменах *LGB* представлена в табл. 2 [14, 24, 25].

Из представленных полиморфных форм *LGB* аллели *A* и *B* наиболее изучены, так как отличаются большей частотой встречаемости по сравнению с остальными аллелями [6, 20–23, 26]. Сравнивая их между собой, можно отметить, что аллель *B* встречается несколько чаще, чем аллель *A*. Так, среди коров голштинской породы, которая является самой распространенной среди молочного скота, частота встречаемости аллелей *A* и *B* в среднем составляет 0.45 и 0.55% соответственно

[21, 27–31], хотя есть ряд исследований, приведших к противоположному результату: встречаемость аллеля *A* – 0.55%, *B* – 0.45% [3, 32, 33]. У черно-пестрой породы встречаемость аллеля *B* составляет 0.51% [34], при этом скрещивание с животными голштинской породы увеличивает этот показатель до 0.58–0.61% [20, 35, 36]. Такой же уровень частоты встречаемости установлен и для помесных животных пород гужера (*Guzerá*) и голштинской [37]. У холмогорских коров этот показатель также составляет около 0.6% [34, 38], а у датских красных доходит до 0.75% [36]. Для симментальской же породы характерна обратная тенденция: снижение частоты встречаемости аллеля *B* в среднем до 0.45% [23, 39, 40], а в некоторых популяциях даже до 0.32% [34].

Указанные варианты различаются двумя аминокислотными замещениями: в положениях 64 и 118 аллель *A* содержит аспарагиновую кислоту (Asp) и валин (Val), в то время как аллель *B* – глицин (Gly) и аланин (Ala) соответственно (табл. 1) [17, 20, 21].

Таблица 1. Некоторые варианты строения аминокислотной цепи β -LG

Варианты β -LG	Положение аминокислот											
	45	50	56	59	64	70	78	108	118	126	129	158
A					Asp				Val			
B	Glu	Pro	Ile	Gln	Gly	Lys	Ile	Glu	Ala	Pro	Asp	Glu
C				His								
D	Gln											
E		Ser										Gly
F											Tyr	Gly
G							Met					Gly
H					Asp	Asn			Val			
I								Glu				
J										Leu		
W			Leu									

Таблица 2. Информация об однонуклеотидном полиморфизме (SNP) гена *LGB*

RS ID	Позиция на хромосоме	Нуклеотидная замена		Вариант β -LG
		эталон	альтернатива	
rs211077340	103257028	G	C	D
rs209252315	103257061	A	C	W
rs210096472	103257072	G	T	C
rs110066229	103257950	G	A	A
rs109625649	103259232	C	T	B

После открытия полиморфизма *LGB* его влияние на количественные и качественные, лактационные и технологические свойства коровьего молока стало предметом многочисленных исследований [3, 21–23].

Так, к настоящему времени сложилось представление, что аллель *A* в большей степени влияет на повышение величины удоев, чем аллель *B*. В свою очередь показано, что аллель *B* положительно влияет на состав и качество молока [16, 21, 22, 26, 27]. Результаты исследований оценки влияния аллелей *A* и *B* *LGB* на молочную продуктивность не всегда совпадают. Вероятно, это связано с биологическими особенностями выбранного объекта изучения: породой крупного рогатого скота, периодом лактации, условиями его содержания и кормления и другими [41], а также с отсутствием единой методологической базы исследований.

При оценке влияния того или иного генотипа на качественный состав молока особое внимание уделяется таким показателям молочной продуктивности как величина удоев, содержание белка и жира [3, 26].

Удои – основная количественная характеристика производительности лактирующих сельскохозяйственных животных. В отношении влияния полиморфизма *LGB* на рассматриваемый показатель крупного рогатого скота большинство исследований отмечают увеличение удоев у животных с генотипом *AA* [21, 23, 27, 33, 39]. Например, И.А. Погорельский и М.В. Позовникова (2014) при изучении голштиinizированных коров черно-пестрой породы ($n = 105$), входящих в племенное ядро агрофирмы в Псковской области, установили, что коровы с генотипом *AA* имели преимущество над сверстницами с генотипами *AB* и *BB* по удою на 295 и 178 кг соответственно [16].

К похожим выводам пришли В. Soyudal и соавт. (2018), которые исследовали влияние полиморфизма *LGB* на молочную продуктивность на чистопородных голштинских коровах ($n = 189$). В результате было установлено, что для животных с генотипом *AA* такие показатели как общий удой, 305-дневный удой и пиковый удой составляют 8942, 8814 и 34.50 кг соответственно, для *AB* – 8694, 8497 и 34.88 кг, а для *BB* – 8320, 8039 и 33.76 кг

[21]. Проанализировав полученные данные, можно выявить некоторую тенденцию повышения удоев у коров, чей генотип *LGB* содержит аллель *A*. Однако F.F. Zinnatov с соавт. (2020), также проведя генотипирование животных голштинской породы и анализ зависимости величины удоев от генотипа, обнаружили, что наибольшее фактическое количество молока за 305 дней лактации характерно для особей с генотипом *BB* и составило 6634.40 кг, для генотипов *AA* и *AB* – 6432.40 и 6483.60 кг соответственно. Кроме того, было рассчитано, что экономическая эффективность носителей с генотипом *BB* выше на 19.4% [3].

Также имеются данные о статистически значимом влиянии генотипа *AB* на величину удоев. Так, Dragan Nikšić с соавт. (2021) проанализировали 157 симментальских коров и в результате установили, что самые высокие значения рассматриваемого показателя имели животные с генотипом *AB* по сравнению с гомозиготными вариантами *LGB*. Они дали 6624.29 кг молока за 305 дней, или на 338.29 и 120.94 кг больше, чем коровы генотипов *AA* и *BB* соответственно ($p \leq 0.001$) [23]. К такому же результату в своем исследовании на животных той же самой породы пришли Neamt Radu с соавт. (2017) ($p < 0.033$) [39]. Вероятно, повышение удоев у симментальских коров с генотипом *AB* по сравнению с другими полиморфными формами является видоспецифической особенностью.

Другой важный показатель молочной продуктивности крупного рогатого скота – содержание молочных белков, определяющих биологическую ценность молока и его производных [5]. Как уже было сказано, аллель *B* *LGB* в большей степени оказывает положительное влияние на выход указанного выше параметра, чем аллель *A* [16, 21–23, 27, 32]. Например, О.А. Епишко и соавт. (2018) в результате своего исследования на коровах белорусской черно-пестрой породы ($n = 102$) установили повышение содержания белка в третьей лактации у особей с генотипом *BB* на 15.7–18.6 кг по сравнению с показателями животных с генотипами *AA* и *AB* ($p < 0.05$; $p < 0.01$), при этом увеличение жирно- и белкомолочности составило 0.03–0.06% [42].

Некоторые же авторы в своих исследованиях пришли к выводу, что генотип *AB* *LGB* имеет пре-

имущество по сравнению с гомозиготными вариантами этих аллелей. Например, Dragan Nikšić с соавт. (2021), проведя исследование коров симментальской породы ($n = 157$), установили, что наибольший выход молочного белка за 305 дней лактации (214.66 кг) наблюдался у животных с генотипом *AB*, что больше по сравнению с генотипами *AA* и *BB* на 10.2 и 4.16 кг соответственно. Однако различия в процентном содержании белка в молоке незначительны и составляют 0.02%. При этом изменчивость признаков, обусловленная генетическим полиморфизмом *LGB*, была статистически достоверна ($p < 0.05$) [23]. Однако имеются и противоположные результаты. Так, Е.Н. Рачкова (2016), оценив влияние генотипа *LGB* на качественные характеристики 184 голов крупного рогатого скота, пришла к выводу, что животные с генотипом *AB* имели наименьшие показатели продуктивности. У таких особей выход молочного белка за стандартную лактацию был меньше на 26.8 кг (13.5%) по сравнению с генотипом *BB*, при этом существенных различий между полиморфными формами *AA* и *BB* выявлено не было [1].

Не менее важный показатель молочной продуктивности — содержание жира, который благодаря своим уникальным свойствам является концентрированным источником энергии [43, 44]. Сравнивая влияние полиморфных форм *LGB*, большинство авторов сходятся во мнении, что коровы, чей генотип содержит аллель *B*, характеризуются более высокими значениями рассматриваемого показателя [16, 21–23, 27, 32]. Например, О.А. Епишко, проведя исследование белорусской черно-пестрой породы ($n = 102$), пришел к выводу, что генотип *BB* оказывает наибольший положительный эффект на содержание жира, количество которого за третью лактацию для этого варианта превышает значения генотипов *AA* и *AB* на 17.0 и 18.7 кг соответственно ($p < 0.05$; $p < 0.01$) [42]. Dragan Nikšić и соавт. (2021), проведя исследования на коровах симментальской породы ($n = 157$), указывали на отсутствие значительной разницы в количестве молочного жира за стандартную лактацию между генотипами *BB* и *AB*, отмечая повышение этого показателя на 10 кг для обоих вариантов по сравнению с генотипом *AA*. Однако стоит отметить, что увеличение жирномолочности незначительно и составило 0.06% [23].

Другие же исследователи не обнаружили достоверной связи между качественными и количественными признаками молока и полиморфизмом *LGB* [21, 23]. Например, В. Soyudal и соавт. (2018) при обследовании чистопородных голштинских пород ($n = 189$), отобранных случайным образом из товарного стада в районе Южной Мармары, было установлено, что в зависимости от генотипа *LGB* различия в содержании молочного белка (*AA* — 3.19%, *AB* — 3.22%, *BB* — 3.24%), жира (*AA* — 3.41%, *AB* — 3.39%, *BB* — 3.33%), лактозы (*AA* — 4.88%, *AB* —

4.85%, *BB* — 4.90%) достоверно отсутствуют [21]. К такому же выводу, а именно отсутствию статистического значимого влияния того или иного генотипа *LGB* на молочную продуктивность, пришли А. Dokso и соавт. (2014), которые проводили исследование в Италии на трех породах крупного рогатого скота: голштинская ($n = 182$), симментальская ($n = 116$) и бурая ($n = 73$) [45].

Кроме рассмотренных выше традиционно учитываемых показателей молочной продуктивности, интерес исследователей представляют и некоторые другие качественные характеристики молока. Так, например, F. Cendron и соавт. (2021) в течение 10 лет (2012–2021 гг.) проводили исследование влияния полиморфных форм *LGB* на состав и коагуляционные свойства молока на голштино-фризских коровах ($n = 5316$) в стадах региона Венето в Италии. В результате авторы установили, что содержание мочевины было незначительно ниже у особей с генотипом *AA* (22.23 мг/дл), чем у *AB* (22.55 мг/дл) и *BB* (23.12 мг/дл). Также для генотипа *AA* был выявлен более низкий уровень соматических клеток (SCS) (2.91) по сравнению с вариантом *BB* (3.03) [32]. К такому же выводу пришли U. Singh с соавт. (2015), которые провели исследование на животных помесной породы Frieswal (голштино-фризская порода × Sahiwal — индийская коренная порода) ($n = 106$). В результате было установлено, что показатель SCS у животных с генотипом *LGB AA* (2.12 ± 1.63) достоверно ($p < 0.05$) ниже, чем у вариантов *AB* (3.98 ± 1.13) и *BB* (3.31 ± 1.98) [46]. Выявленная взаимосвязь, вероятно, связана с разной восприимчивостью к маститу или реакцией иммунной системы на инфекции вымени в зависимости от аллельного варианта *LGB* [32]. Однако есть данные, отрицающие достоверную связь между полиморфизмом рассматриваемого гена и показателем соматических клеток [47].

В отношении же генотипа *BB LGB* имеются данные, подтверждающие, что указанный вариант связан с увеличением содержания в молоке казеина, сухих веществ [23], а также благоприятно влияет на коагуляционные свойства молока [32].

Также стоит отметить, что при выявлении общей тенденции зависимости изменения различных параметров молочной продуктивности от полиморфных форм *LGB* стоит обратить внимание, что влияние аллелей на хозяйственно полезные признаки различно и зависит от породы крупного рогатого скота [21, 48]. Так, на основе метаанализа было установлено, что генотип *AA LGB* в среднем увеличивает удои коров голштинской (на 0.66%) и джерсейской (на 1.07%) пород по сравнению с другими аллельными вариантами ($p < 0.001$). Для симментальской и бурой швицкой пород выявлено возрастание молочной продуктивности на 1.77 и 1.05% у животных с генотипами *BB* и *AB* соответственно ($p < 0.001$) [48]. Таким образом, бы-

ло доказано, что различное влияние полиморфных вариантов *LGB* находится в некоторой зависимости от породы в соответствии с общей генетикой [21, 48].

Кроме того, даже внутри одной популяции один и тот же вариант полиморфизма определенного гена может оказывать различное воздействие на молочную продуктивность и состав молока в зависимости от генотипа самого животного. Так, для выявления связи между генами и количественными и качественными характеристиками молока было проведено обследование помесных голштинских коров. В результате было установлено, что вариант *AA LGB* оказывает положительное влияние на величину удоев, что подтверждается многими предыдущими исследованиями [16, 21, 22]. При анализе только гена гормона роста (*GH*) значимого эффекта на рассматриваемые показатели выявлено не было. Однако составной вариант по обоим указанным генам в гомозиготном состоянии (*VVA*) оказывает наибольшее влияние на увеличение молочной продуктивности и выход молочного белка по сравнению с другими комбинациями генов. Вероятно, такой эффект достигается за счет продукта гена гормона роста, который увеличивает поступление питательных веществ из запасов тела в молочную железу, стимулируя тем самым выработку молока и повышая количество аминокислот, используемых в процессе синтеза β -LG. Таким образом, это исследование доказывает плейотропное влияние генов и необходимость комплексного изучения их эффектов для повышения качества селекционных программ [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Профиль полиморфных вариантов *LGB* крупного рогатого скота вносит существенный вклад в формирование качественных и количественных характеристик молока. Наибольшей изученностью характеризуются аллели *A* и *B*, при этом частота встречаемости последней несколько выше у большинства пород и в среднем составляет 0.51–0.6%, а в отдельных случаях достигает 0.75%. Исключение составляют животные симментальской породы, для которых установлена обратная тенденция.

Результаты же исследований влияния аллелей *A* и *B* на показатели молочной продуктивности не всегда совпадают. Вероятно, это связано с условиями содержания скота, генетическими особенностями животных и изучаемой породы в целом, а также методологической базой и различными научными подходами к формированию макета исследования. Тем не менее выявление общих закономерностей влияния полиморфных вариантов *LGB* представляется возможным.

Большинство исследователей показывают рост величины удоев у животных с генотипом *AA*. Одна-

ко для симментальской породы наибольшее повышение данного показателя присуще для генотипа *AB*, что, вероятно, является видоспецифической особенностью. Кроме того, аллель *A*, согласно некоторым исследованиям, связан со снижением количества мочевины и соматических клеток (SCS) в молоке.

Повышение содержания молочного белка и жира, напротив, связано с аллелем *B*, при этом наибольшие значения этих органических веществ также установлены для гомозиготных генотипов. Также наличие аллеля *B* связывают с увеличением содержания в молоке казеина, сухих веществ, а также благоприятным влиянием на коагуляционные свойства.

Различное влияние *LGB* на показатели молочной продуктивности крупного рогатого скота в зависимости от аллеля и породы животного, т.е. его генотипа в целом, обосновывает необходимость продолжения исследований этого маркера для оценки генетической основы параметров молочной продуктивности, при этом для повышения качества селекционных программ более пристальное внимание стоит уделить комплексному изучению эффектов генов.

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).

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием в качестве объекта животных.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием в качестве объекта людей.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рачкова Е.Н. Наследуемость молочной продуктивности в зависимости от полиморфизма гена бета-лактоглобулина // Уч. зап. Казанской гос. академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2016. Т. 226. № 2. С. 209–213.
2. Милостивый Р.В., Карлова Л.В., Санжара Р.А. Качественный состав молока голштинских коров в зависимости от паратипических и генетических факторов // Наук. вісник львівського нац. університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені с.з. гжицького. 2017. Т. 19. № 82. С. 125–131. <https://doi.org/10.15421/nvlvet8226>
3. Zinnatov F.F., Zinnatova F.F., Volkov A.H. et al. Studying the association of polymorphic variants of LEP, TG5, CSN3, LGB genes with signs of dairy productivity of cattle // Intern. J. Res. Pharmaceutical Sci. 2020. V. 11.

- № 2. P. 1428–1432.
<https://doi.org/10.26452/ijrps.v11i2.2013>
4. *Kolenda M., Sitkowska B., Kamola D., Lambert B.D.* Composite genotypes of progesterone-associated endometrial protein gene and their association with composition and quality of dairy cattle milk // *Animal Biosci.* 2021. V. 34. № 8. P. 1283–1289.
<https://doi.org/10.5713/ab.20.0596>
 5. *Bielecka M., Cichosz G., Czczot H.* Antioxidant, antimicrobial and anticarcinogenic activities of bovine milk proteins and their hydrolysates – A review // *Intern. Dairy J.* 2022. V. 127. P. 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105208>
 6. *Ельчанинов В.В.* Номенклатура и биохимические свойства основных сывороточных белков. Бета-лактоглобулин // *Сыроделие и маслоделие.* 2009. № 2. С. 38–39.
 7. *Kazimierska K., Kalinowska-Lis U.* Milk proteins-their biological activities and use in cosmetics and dermatology // *Molecules.* 2021. V. 26. № 3253. P. 1–22.
<https://doi.org/10.3390/molecules26113253>
 8. *Bologa M., Vrabie E., Paladii I. et al.* Peculiarities of extraction of β -lactoglobuline in protein mineral concentrates at electroactivation of whey // *One Health & Risk Management.* 2021. V. 1. № 1. P. 52–68.
<https://doi.org/10.38045/ohrm.2021.1.06>
 9. *Сафина Н.Ю., Гайнутдинова Э.Р., Зиннатова Ф.Ф. и др.* Влияние комплексных генотипов генов каппа-казеин (*CSN3*) и бета-лактоглобулин (*LGB*) на молочную продуктивность голштинского скота // *Аграрный науч. журн.* 2020. № 5. С. 64–67.
<https://doi.org/10.28983/asj.y2020i5pp64-67>
 10. *Zlotkowska D., Stachurska E., Fuc E. et al.* Differences in regulatory mechanisms induced by β -lactoglobulin and κ -casein in cow's milk allergy mouse model—in vivo and ex vivo studies // *Nutrients.* 2021. V. 13. № 349. P. 1–16.
<https://doi.org/10.3390/nu13020349>
 11. *McSweeney P.L.H., Fox P.F.* *Advanced Dairy Chemistry. Volume 1A: Proteins: Basic Aspects*, 4th ed. Boston: Springer, 2013. 548 p.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4714-6>
 12. *Bosman G.P., Oliveira S., Simons P.J. et al.* Limited lactosylation of beta-lactoglobulin from cow's milk exerts strong influence on antigenicity and degranulation of mast cells // *Nutrients.* 2021. V. 13. № 2041. P. 1–13.
<https://doi.org/10.3390/nu13062041>
 13. *Bogahawaththa D., Chandrapala J., Vasiljevic T.* Thermal denaturation of bovine β -lactoglobulin in different protein mixtures in relation to antigenicity // *Intern. Dairy J.* 2019. V. 91. P. 89–97.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.10.004>
 14. *Chessa S., Nicolazzi E.L., Nicoloso L. et al.* Analysis of candidate SNPs affecting milk and functional traits in the dual-purpose Italian Simmental cattle // *Livestock Sci.* 2015. V. 173. P. 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.12.015>
 15. *Bohlouli M., Halli K., Yin T. et al.* Genome-wide associations for heat stress response suggest potential candidate genes underlying milk fatty acid composition in dairy cattle // *J. Dairy Sci.* 2022. V. 105. № 4.
<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21152>
 16. *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.
 17. *Долматова И.Ю., Валитов Ф.Р.* Оценка генетического потенциала крупного рогатого скота по маркерным генам // *Вестник Башкирского ун-та.* 2015. Т. 20. № 3. С. 850–853.
 18. *Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J.* Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition // *J. Dairy Sci.* 2009. V. 92. № 11. P. 5335–5352.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2461>
 19. *Трубицина Т.П., Рябых В.П., Колоскова Е.М. и др.* Использование гена бета-лактоглобулина при получении рекомбинантных белков – от старых технологий трансгенеза к новым методам редактирования генома (обзор) // *Проблемы биологии продуктивных животных.* 2018. № 3. С. 15–34.
<https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.3.15-34>
 20. *Ахметов Т.М., Тюлькин С.В., Зарипов О.Г.* Полиморфизм гена бета-лактоглобулина в стадах крупного рогатого скота // *Уч. зап. Казанской гос. акад. ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана.* 2010. Т. 202. С. 36–41.
 21. *Soyudal B., Ardicli S., Samli H. et al.* Association of polymorphisms in the *CSN2*, *CSN3*, *LGB* and *LALBA* genes with milk production traits in Holstein cows raised in Turkey // *J. Hellenic Veterinary Med. Soc.* 2018. V. 69. № 8. P. 1271–1282.
<https://doi.org/10.12681/jhvms.19617>
 22. *Barbosa S.B.P., de Araújo Í.I.M., Martins M.F. et al.* Genetic association of variations in the kappa-casein and β -lactoglobulin genes with milk traits in girolando cattle // *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal.* 2019. V. 20. № e0312019. P. 1–12.
<https://doi.org/10.1590/S1519-9940200312019>
 23. *Nikšić D., Pantelić V., Ostojić Andrić D. et al.* The influence of genetic β -lactoglobulin polymorphism on the quantity and quality of milk of the simmental breed in Serbia // *Genetika.* 2021. V. 53. № 1. P. 263–270.
<https://doi.org/10.2298/GENSR2101263N>
 24. *AgReg-SNPdb: A database of regulatory SNPs for agricultural species.* Режим доступа: <https://azifi.tz.agrar.uni-goettingen.de/agreg-snpdb/snps.php?page=welcome>
 25. *Sanchez M.P., Fritz S., Patry C. et al.* Frequencies of milk protein variants and haplotypes estimated from genotypes of more than 1 million bulls and cows of 12 French cattle breeds // *J. Dairy Sci.* 2020. V. 103. № 10. P. 9124–9141.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-18492>
 26. *Asmaa W.Z., Ashraf A., Iman E., Khairy M.E.-B.* Association of β -lactoglobulin gene polymorphism with milk yield, fat and protein in holstein-friesian cattle // *World's Veterinary J.* 2016. V. 6. № 3. P. 117–122.

27. Molee A., Poompramin C., Mernkrathoke P. Effect of casein genes – beta-LGB, DGAT1, GH, and LHR – on milk production and milk composition traits in crossbred Holsteins // Genet. Mol. Res. 2015. V. 14. № 1. P. 2561–2571.
<https://doi.org/10.4238/2015.March.30.15>
28. Сафина Н.Ю., Зиннатова Ф.Ф., Юльметьева Ю.П. и др. Полиморфизм гена β-лактоглобулина (LGB) и его взаимосвязь с экономически важными признаками голштинского скота // Зоотехния и ветеринария. 2018. Т. 32. № 9. С. 78–80.
29. Morkūnienė K., Miceikienė I., Kerzienė S. et al. Genetic diversity of milk protein beta-lactoglobulin and association with production traits genomic values among Holstein cattle // Indian J. Animal Sci. 2018. V. 88. № 11. P. 1289–1293.
30. Ardicli S., Samli H., Soyudal B. et al. Evaluation of candidate gene effects and environmental factors on reproductive performance of Holstein cows // South African J. Animal Sci. 2019. V. 49. № 2. P. 380–394.
<https://doi.org/10.4314/sajas.v49i2.17>
31. Şahin Semerci E., Balcioğlu M.S. The effects of κ-casein, β-lactoglobulin, prolactin and DGAT1 polymorphisms on milk yields in Turkish Holstein cows // Turkish J. Veterinary and Animal Sci. 2022. V. 46. № 1. P. 9–17.
<https://doi.org/10.3906/vet-2105-10>
32. Cendron F., Franzoi M., Penasa M. et al. Effects of β- and κ-casein, and β-lactoglobulin single and composite genotypes on milk composition and milk coagulation properties of Italian Holsteins assessed by FT-MIR // Italian J. Animal Sci. 2021. V. 20. № 1. P. 2243–2253.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2011442>
33. Heidari M., Azari M.A., Hasani S. et al. Effect of polymorphic variants of GH, Pit-1, and β-LG genes on milk production of Holstein cows // Rus. J. Genet. 2012. V. 48. № 4. P. 417–421.
34. Kochnev N., Goncharenko G., Mager S. et al. Genotyping of selection-significant polymorphisms of cattle of the Western Siberia // Intern. Sci. and Pract. Conf. “Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad”. 2020. V. 222. № 03019. P. 1–8.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022203019>
35. Глазко В.И., Андрейченко И.Н., Ковальчук С.Н. и др. Гены-кандидаты контроля характеристик молочной продуктивности крупного рогатого скота // Рос. с.-х. наука. 2016. № 5. С. 45–50.
36. Smiltina D., Grislis Z. Molecular genetic analysis of milk protein gene polymorphism of dairy cows and breeding bulls in Latvia // Agronomy Res. 2018. V. 16. № 3. P. 900–909.
<https://doi.org/10.15159/AR.18.084>
37. Ferreira J.B., Guilhermino M.M., Leite J.H.G.M. et al. Polymorphisms of leptin, β-lactoglobulin and pituitary transcription factor have no effect on milk characteristics in crossbred cows // Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia. 2019. V. 71. № 2. P. 715–719.
<https://doi.org/10.1590/1678-4162-10785>
38. Ялуга В.Л., Прожерин В.П., Хабибрахманова Я.А. и др. Полиморфизм генов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP у холмогорских коров // Молочное и мясное скотоводство. 2018. № 4. С. 5–8.
39. Neamt R., Saplacan G., Acatincai S. et al. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle // Acta Biochimica Polonica. 2017. V. 64. № 3. P. 493–497.
https://doi.org/10.18388/abp.2016_1454
40. Kyselova J., Ječmínková K., Matějčková J. 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-Australasian J. Animal Sci. 2019. V. 1. № 1. P. 14–22.
<https://doi.org/10.5713/ajas.17.0924>
41. Huang W., Peñagaricano F., Ahmad K.R. et al. Association between milk protein gene variants and protein composition traits in dairy cattle // J. Dairy Sci. 2012. V. 95. № 1. P. 440–449.
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4757>
42. Енушко О.А., Пешко В.В., Пешко Н.Н. Использование генов LGB, PRL и GH в качестве маркеров молочной продуктивности в селекции крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы // Уч. зап. учреждения образования Витебская орден “Знак почета” гос. академия ветеринарной медицины. 2018. Т. 54. № 2. С. 84–88.
43. Cichosz G., Czczot H., Bielecka M. The anticarcinogenic potential of milk fat // Annals Agricultural and Environmental Med. 2020. V. 27. № 4. P. 512–518.
<https://doi.org/10.26444/aaem%2F116095>
44. Ганиева Е.С., Канарейкина С.Г., Хабирова Ф.А., Канарейкин В.И. Сравнительный анализ биологической и пищевой ценности молока разных сельскохозяйственных животных // Вестник БГАУ. 2021. № 1. С. 49–55.
<https://doi.org/10.31563/1684-7628-2021-57-1-49-55>
45. Dokso A., Ivanković A., Brka M. et al. Utjecaj genetskih varijanti β-laktoglobulina, κ-kazeina i αs1-kazei na na količinu i kvalitetu mlijeka holstein, simentalske i smeđe pasmine goveda u Hrvatskoj // Mljekarstvo. 2014. V. 64. № 1. P. 49–56.
46. Singh U., Deb R., Kumar S. et al. 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. № 1. P. 38–42.
<https://doi.org/10.1016/j.bgm.2014.07.001>
47. Čitek J., Brzákova M., Hanusová L. et al. Somatic cell score: Gene polymorphisms and other effects in Holstein and Simmental cows // Animal Bioscience. 2022. V. 35. № 1. P. 13–21.
<https://doi.org/10.5713/ab.20.0720>
48. Zepeda-Batista J.L., Saavedra-Jiménez L.A., Ruíz-Flores A. et al. Potential influence of κ-casein and β-lactoglobulin genes in genetic association studies of milk quality traits // Asian-Australasian J. Animal Sci. 2017. V. 30. № 12. P. 1684–1688.
<https://doi.org/10.5713/ajas.16.0481>

Association of Allelic Variants *A* and *B* of the Beta-Lactoglobulin Gene with Dairy Productivity of Cattle

E. V. Parygina^{a, b, *} and I. S. Kozhevnikova^{a, b}

^aLaverov Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, 163069 Russia

^bLomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, 163002 Russia

*e-mail: pariginakaty@yandex.ru

The effectiveness of cattle selection for quantitative and qualitative traits that are of economic importance in dairy cattle breeding largely depends on the identification of the genes that control these traits, as well as their allelic polymorphism. One such gene is the gene *LGB* encoding the protein beta-lactoglobulin. The review provides brief information about the structure and biological role of this protein, gene polymorphism. An analysis of the literature data of various studies was carried out, which made it possible to identify and evaluate the effect of the two most common alleles of the gene *LGB* (*A* and *B*) on the efficiency indicators of dairy production.

Keywords: beta-lactoglobulin, *LGB*, genetic polymorphism, cattle, dairy productivity, milk protein.