УДК 636.2.034/ 575.162

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-369-4-57-61

М.В. Позовникова, ✉
Е.А. Романова,
О.В. Тулинова

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

✉ *pozovnikova@gmail.com*

Поступила в редакцию:
19.01.2023

Одобрена после рецензирования:
15.02.2023

Принята к публикации:
15.03.2023

Полиморфные варианты генов CD62L и ACSL1 в связи с устойчивостью коров к маститу

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В условиях интенсивного ведения молочного скотоводства заболеваемость коров маститом продолжает оставаться актуальной проблемой. Количество соматических клеток (КСК) в молоке является селекционным показателем для улучшения состояния здоровья молочной железы коров. Изучение резистентности животных к заболеванию, в основе которой в том числе лежит и генетическая составляющая, позволит в перспективе повысить эффективность селекции. Цель работы — сравнительный анализ связи полиморфных вариантов генов ACS L1 (rs208522533) и CD62L (rs41803917 и rs41803917) с показателями молочной продуктивности и уровнем соматических клеток в молоке коров айрширской породы.

Методы. Сформирована выборка коров-первотелок айрширской породы (n = 191), принадлежащих одному из племенных хозяйств Ленинградской области. Генотипы животных определяли методом ПЦР-ПДРФ. Анализ частоты генотипов по rs208522533 гена ACSLI показал, что 99% животных были носителями генотипа GG.

Результаты. Результаты исследований гена CD62L показали, что по rs41803917 определена высокая частота аллеля G (80,4%) и в среднем более 60% животных имели генотип GG. По rs109966956 гена CD62L выявлена высокая частота аллеля C (80,1%) и 64,9% животных имели генотип CC. Установлены высокие значения ПЦ по БОКСК в малочисленных группах животных с генотипом AA по rs41803917 ($p \leq 0,05$) и генотипом TT по rs109966956 ($p \leq 0,001$). Особи с генотипом AG по rs41803917 гена CD62L имели высокие показатели процентного содержания белка ($p \leq 0,05$) и низким БОКСК ($p \leq 0,05$). Полученные результаты свидетельствуют о том, что SNPs rs41803917 и rs41803917 гена CD62L можно рассматривать как потенциальные маркеры резистентности к маститу у айрширских коров.

Ключевые слова: айрширская порода, количество соматических клеток, полиморфизм, SNP

Для цитирования: Позовникова М.В., Романова Е.А., Тулинова О.В. Полиморфные варианты генов CD62L и ACSL1 в связи с устойчивостью коров к маститу. *Аграрная наука*. 2023; 369(4): 57–61. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-57-61

© Позовникова М.В., Романова Е.А., Тулинова О.В.

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-369-4-57-61

Marina V. Pozovnikova,
Elena A. Romanova,
Olga V. Tulinova ✉

The All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals is a branch of the Federal Research Center of Animal Husbandry — VIZ Academician L.K. Ernst, St. Petersburg, Pushkin, Russia

✉ *pozovnikova@gmail.com*

Received by the editorial office:
19.01.2023

Accepted in revised:
15.02.2023

Accepted for publication:
15.03.2023

Polymorphic variants of the CD62L and ACSL1 genes in connection with the resistance of cows to mastitis

ABSTRACT

Relevance. In conditions of intensive dairy cattle breeding, the incidence of cows with mastitis continues to be an urgent problem. The number of somatic cells (CCCs) in milk is a breeding indicator for improving the health of the mammary gland of cows. The study of animal resistance to the disease, which is based, among other things, on the genetic component, will make it possible to increase the efficiency of breeding in the future. The purpose of this work is a comparative analysis of the relationship of polymorphic variants of the ACS L1 (rs208522533) and CD62L (rs41803917 and rs41803917) genes with indicators of milk productivity and the level of somatic cells in the milk of Ayrshire cows.

Methods. A sample of first-calf cows of Ayrshire breed (n = 191) belonging to one of the breeding farms of the Leningrad region was formed. Animal genotypes were determined by PCR-PDRF. Analysis of the genotype frequency by rs208522533 of the ACS LI gene showed that 99% of the animals were carriers of the GG genotype.

Results/ The results of studies of the CD62L gene showed that rs41803917 determined a high frequency of the G allele (80.4%) and on average more than 60% of animals had the GG genotype. rs109966956 of the CD62L gene revealed a high frequency of the C allele (80.1%) and 64.9% of the animals had the CC genotype. High values of BOX PC were established in small groups of animals with the AA genotype according to rs41803917 ($p \leq 0.05$) and the TT genotype according to rs109966956 ($p \leq 0.001$). Individuals with the AG genotype according to rs41803917 of the CD62L gene had high protein percentages ($p \leq 0.05$) and low BSC ($p \leq 0.05$). The results obtained indicate that SNPs rs41803917 and rs41803917 of the CD62L gene can be considered as potential markers of resistance to mastitis in Ayrshire cows.

Key words: ayrshire breed, somatic cell count, polymorphism, SNP

For citation: Pozovnikova M.V., Romanova E.A., Tulinova O.V. Polymorphic variants of the CD62L and ACSL1 genes in connection with the resistance of cows to mastitis. *Agrarian science*. 2023; 369(4): 57–61. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-57-61 (In Russian).

© Pozovnikova M.V., Romanova E.A., Tulinova O.V.

Введение / Introduction

Мастит имеет полигенную природу, и в его этиологии выделяют три фактора, такие как инфекционная составляющая, окружающая среда и макроорганизм [1]. Несмотря на значительное количество исследований, остается неясным, почему при одинаковых условиях содержания в стаде одни животные остаются неинфицированными, а у заболевших течение болезни резко различается (клиническая и субклиническая форма мастита). В этом случае стоит обратить внимание на индивидуальные особенности организма, а именно на его генетический фон [2]. В связи с этим в последние годы особую актуальность приобретают исследования, направленные на выявление генетических маркеров устойчивости коров к маститу. Среди генов-кандидатов выделяют две значимые группы — гены иммунного ответа и гены, ассоциированные с качественным составом молока [3, 4]. Изучение возможных генов-кандидатов в целевых областях и генах может быть использовано для повышения точности определения QTL и геномного прогнозирования устойчивости коров к заболеванию маститом.

L-селектин, кодируемый геном *CD62L,* представляет собой трансмембранный гликопротеин I типа, основной ролью которого является регулирование трансмиграции лейкоцитов, включая нейтрофилы, к очагу воспаления [5, 6]. Повышенная экспрессия гена *CD62L* наблюдается именно на ранних стадиях инфицирования, что в значительной мере определяет прогноз течения болезни [7].

Ген *ACSL1* занимает одно из ключевых мест в регуляции синтеза ацил-КоА-синтетазы, фермента, регулирующего синтез жирных кислот в адипоцитах млекопитающих [8] и опосредованно регулирующего гомеостаз глюкозы. R. Joseph и др. (2015) показали, что нокдаун гена *ACSL1* приводит к истощению *ACSL1,* при этом изменяется экспрессия воспалительных генов (хемокинов) в дифференцированных адипоцитах, что в свою очередь приводит к снижению накопления липидов, а также снижению поглощения глюкозы адипоцитами. Исследования Y. Liang и др. (2020) показали значимые ассоциации шести SNP гена *ACSL1* на показатели молочного жира, белка и количество соматических клеток молока коров голштинской породы.

Цель работы — анализ связи полиморфных вариантов гена *ACSL1* (rs208522533) и *CD62L* (rs41803917 и rs109966956) с показателями молочной продуктивности и уровнем соматических клеток в молоке коров айрширской породы.

Материал и методы исследования / Materials and method

Выборку (n = 191) составили животные айрширской породы, принадлежащие одному из племенных хозяйств Ленинградской области в 2022 году. Образцы ДНК были выделены из лейкоцитов венозной крови животных общепринятым методом фенол-хлороформной экстракции. Были отобраны два потенциально функциональных SNP в гене *CD62L* (rs41803917 — экзон 4 и rs109966956 — экзон 3) [11] и один SNP в гене *ACSL1* (rs208522533 — интрон 2). Праймеры для генотипирования были подобраны в программе BLAST Ensembl [12]. При проведении ПЦР использовали праймеры следующей последовательности: для rs208522533 гена *ACSL1* F:ACCTGATGGGACCTGTGTG и R:TTCCCAGGGCAGTGATGG; для rs41803917 гена *CD62L* — F:TATCCATTCCTTAACAGCCGGA и R:TTCTTGTAAACCCTGGTCATGC*;* для rs109966956 гена *CD62L* — F:TGCAGCTACACAATTCACACTG и R:CAGGTTCCCATGGGGTTAG. ПЦР для каждого SNP проводили в термоциклере C1000 (Bio-Rad Laboratories, Inc., США) по следующему протоколу: начальная денатурация при 95 °C в течение 5 мин; 35 циклов — 95 °C, 45 с; отжиг праймеров — при 60 °C, 40 с; элонгация — при 72 °C, 40 с; финальная элонгация — при 72 °C, 5 мин. ПЦР-продукт обрабатывали эндонуклеазой рестрикции согласно протоколу фирмы-производителя (SibEnzyme Ltd., Russia). Для rs208522533 гена *ACSLI* аллель A определяли при отсутствии сайта рестрикции для *Hae* III, аллелю G соответствовали фрагменты 169 п. н. и 133 п. н. Для rs41803917 гена *CD62L* аллель C определялся наличием фрагментов рестрикции размером 307 п. н. и 93 п. н., аллелю T соответствовал фрагмент размером 400 п. н. (отсутствие сайта рестрикции для *Apa* I). Генотипы по rs109966956 гена *CD62L* определяли с использованием рестриктазы *Pct* I. Наличие фрагментов длиной 400 п. н. и 99 п. н. соответствовало аллелю A, при отсутствии сайта рестрикции определялся фрагмент длиной 499 п. н., который соответствовал аллелю G.

Данные по удою (кг), молочному жиру (МДЖ, %), молочному белку (МДБ, %) и количеству соматических клеток (КСК, 10^3 ед/мл) в молоке коров за первую законченную лактацию были получены из записей зоотехнического учета хозяйства в электронной базе «Селэкс». Племенная ценность (ПЦ) по изучаемым хозяйственно-полезным признакам коров рассчитана в компьютерной программе «СГС-ВНИИГРЖ» [13]. Среднее КСК за первую лактацию переводили в балльную оценку (БОКСК, балл) на основе двоичного логарифма [14]. Биометрическая обработка данных выполнена с помощью программы Statistica 10 Version 13.0 (TIBCO Software Inc., Пало-Альто, США). ANOVA выполняли при уровне значимости $p \leq 0{,}05$. Для определения различий средних значений переменных между анализируемыми группами применяли критерий Тьюки или Краскела — Уоллиса.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ частоты генотипов и аллелей изучаемых генов показал, что по rs41803917 гена *CD62L* определена высокая встречаемость аллеля G (0,804) и более 60% животных имели генотип GG (0,639). Частота генотипа AG составила 0,330, а генотип AA определен как редкий (0,031). По rs109966956 гена *CD62L* у 64,9% особей выявлен генотип CC (0,649), а частота аллеля C составила 0,801. Встречаемость гетерозиготного генотипа TC определена на уровне 0,309. Генотип TT установлен только у восьми животных, его частота составила 0,042. Результаты генотипирования по rs208522533 гена *ACSLI* показали, что 99% животных были носителями генотипа GG (0,994) и только у одной особи выявлен гетерозиготный генотип AG (0,006). Частота аллелей была следующей: аллель G — 0,997, аллель A — 0,003).

Сравнительный анализ групп коров с разными генотипами по rs41803917 гена *CD62L* (табл. 1) показал, что молоко особей с генотипом AG отличалось высокими средними значениями абсолютного показателя процентного содержания белка и ПЦ этого признака в сравнении с особями с генотипом GG ($p \leq 0{,}05$). Для животных с редким генотипом AA определены высокие значения БОКСК и ПЦ по БОКСК и тенденция к снижению показателя МДБ (при $p = 0{,}07$) относительно животных с гетерозиготным генотипом ($p \leq 0{,}05$).

Таблица 1. **Показатели хозяйственно полезных признаков по первой законченной лактации коров айрширской породы в зависимости от их генотипов по SNP rs41803917 гена CD62L**

Table 1. **Indicators of economically useful traits for the first completed lactation of Ayrshire cows depending on their genotypes for SNP rs41803917 of the CD62L gene**

Показатель	Генотип		
	GG (n = 122)	AG (n = 63)	(AA n = 6)
Удой, кг	7869 ± 99	7822 ± 138	7581 ± 450
МДЖ, %	4,24 ± 0,02	4,26 ± 0,03	4,35 ± 0,11
МДБ, %	3,48 ± 0,01[a]	3,53 ± 0,01[b]	3,41 ± 0,05
КСК, 10^3 ед/мл	127,39 ± 16,15	84,67 ± 22,47	253,71 ± 72,83
БОКСК, балл	2,08 ± 0,09	1,80 ± 0,13[a]	3,01 ± 0,42[b]
ПЦ по удою, кг	3 ± 99	-37 ± 138	-128 ± 447
ПЦ по МДЖ, %	-0,01 ± 0,02	-0,01 ± 0,03	0,002 ± 0,1
ПЦ по МДБ, %	-0,01 ± 0,01[a]	0,04 ± 0,01[b]	-0,06 ± 0,05
ПЦ по КСК, 10^3 ед/мл	-4,10 ± 16,18	-44,93 ± 22,52	116,75 ± 72,97
ПЦ по БОКСК, балл	0,01 ± 0,09	-0,23 ± 0,13[a]	0,92 ± 0,42[b]
Число коров с БОКСК свыше 3,9 балла, %	5,7	1,6	16,7

[a-b] $p \leq 0,05$

Таблица 2. **Показатели хозяйственно полезных признаков по первой законченной лактации коров айрширской породы в зависимости от их генотипов по SNP rs109966956 гена CD62L**

Table 2. **Indicators of economically useful traits for the first completed lactation of Ayrshire cows depending on their genotypes for SNP rs109966956 of the CD62L gene**

Показатель	Генотип		
	CC (n = 124)	TC (n = 59)	TT (n = 8)
Удой, кг	7835 ± 99	7878 ± 143	7748 ± 390
МДЖ, %	4,24 ± 0,02	4,26 ± 0,03	4,26 ± 0,09
МДБ, %	3,51 ± 0,01	3,48±0,01	3,49 ± 0,04
КСК, 10^3 ед/мл	112,66 ± 16,19	115,34 ± 23,47	202,91 ± 63,75
БОКСК, балл	2,02 ± 0,09[b]	1,83 ± 0,13[b]	3,44 ± 0,35[a]
ПЦ по удою, кг	-20 ± 98	16 ± 142	-148 ± 387
ПЦ по МДЖ, %	-0,02 ± 0,02	0,0005 ± 0,03	-0,02 ± 0,08
ПЦ по МДБ, %	0,002 ± 0,01	0,00005 ± 0,01	0,009 ± 0,04
ПЦ по КСК, 10^3 ед/мл	-18,45 ± 16,19	-16,17 ± 23,47	76,51 ± 63,75
ПЦ по БОКСК, балл	-0,03 ± 0,09[b]	-0,23 ± 0,13[b]	1,43 ± 0,35[a]
Число коров с БОКСК свыше 3,9 балла, %	4,0	1,7	37,5

[a-b] $p \leq 0,001$

Сравнительный анализ как абсолютных значений качественных показателей, КСК и БОКСК молока коров, так и ПЦ по изучаемым признакам коров с разными генотипами по rs109966956 гена *CD62L* показал, что животные с генотипом ТТ имели высокие значения БОКСК и ПЦ по БОКСК в сравнении со сверстницами с генотипами СС и ТС ($p \leq 0,001$).

По мнению Rainard и др. (2018), резистентность к маститу можно рассматривать как фенотипический признак вымени, определяющийся физиологическим статусом и особенностями генетики животного. Ряд генов иммунного ответа, в том числе и *CD62L,* ассоциированы с признаками молочной продуктивности и устойчивостью коров к маститу, а именно с содержанием соматических клеток в молоке, как основного индикатора качества молока — сырья. По данным Ateya и др. (2022), экспрессия гена *CD62L* в крови была значительно выше в группе коров, больных маститом.

Результаты исследований показали, что значения ПЦ по БОКСК были выше в малочисленных группах животных с генотипом АА по rs41803917 ($p \leq 0,05$) и генотипом ТТ по rs109966956 ($p \leq 0,001$), при этом по показателям абсолютных значений КСК не было установлено различий между анализируемыми группами животных. По данным Болгова и др. (2018), перевод абсолютных значений КСК в балльную оценку повышает точность самой оценки коров на предмет маститоустойчивости. Для оценки состояния и прогнозирования резистентности к маститу коров автор предлагает градацию, согласно которой уровень БОКСК до 3,9 балла показывает, что коровы здоровы и отличаются высокой маститоустойчивостью, 4–4,9 балла — нормальная резистентность к маститу, 5–5,9 — резистентность ниже среднего уровня, 6 и более баллов — низкая резистентность в маститу.

В исследовании у 70,3% животных средняя оценка БОКСК составила 1,72 балла, у 18,7% — 3,44 балла. В целом это свидетельствует о том, что превалирующая доля изучаемой выборки коров была свободна от мастита на протяжении первой лактации. В зависимости от генотипа относительная численность коров с БОКСК свыше 3,9 балла колеблется от 1,6% и 1,7% среди животных с гетерозиготными генотипами AG и TC соответственно, до 16,7% и 37,5% — АА и ТТ соответственно.

Маститт, независимо от формы течения болезни, влечет за собой изменения компонентного состава молока, при этом для коров айрширской породы они менее выражены в сравнении с голштинскими коровами [17]. В исследовании было показано, что особи с генотипом AG по rs41803917 гена *CD62L* имели высокие показатели процентного содержания белка ($p \leq 0,05$) и низкие значения по уровню БОКСК ($p \leq 0,05$). В работе Dusza и др. (2018) два SNP-гена *CD62L* были ассоциированы с признаками молочной продуктивности у голштино-фризских, однако не было получено данных по связи изучаемых SNP с устойчивостью коров к клиническому маститу. Как предположили авторы, это может быть объяснено в какой-то степени взаимным влиянием генов. Ген *CD62L* расположен на BTA 16, которая включает QTL признаков молока [18].

Выводы / Conclusion

У коров айрширской породы выявлен низкий уровень полиморфизма гена *ACSLI* по rs208522533, при этом 99,4% особей имели генотип GG. Генотип AG по rs41803917 гена *CD62L* был ассоциирован с высокими средними показателями процентного содержания белка в молоке коров и низким БОКСК ($p \leq 0,05$), а коровы с генотипами AA по rs41803917 и TT по rs109966956 имели высокие значения ПЦ по БОКСК в сравнении со сверстницами других генотипов ($p \leq 0,05$, $p \leq 0,001$), что предполагает возможность использования SNPs гена *CD62L* (rs41803917 и rs41803917) в качестве потенциальных маркеров устойчивости к маститу у коров айрширской породы.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.
Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу.
Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work.
The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.
The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа проведена в рамках выполнения научных исследований Министерства науки и высшего образования РФ по теме № 121052600344-8.

FUNDING

The work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation by topic No. 121052600344-8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cheng W.N., Han S.G. Bovine mastitis: Risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments — A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 2020; 33(11): 1699-1713. DOI:10.5713/ajas.20.0156

2. Rainard P., Foucras G., Boichard D., Rupp R. Invited review: low milk somatic cell count and susceptibility to mastitis. *Journal of dairy science*. 2018; 101(8): 6703-6714. DOI:10.3168/jds.2018-14593

3. Khan M.Z., Wang D., Liu L., Usman T., Wen H., Zhang R., Yu Y. Significant genetic effects of JAK2 and DGAT1 mutations on milk fat content and mastitis resistance in Holsteins. *Journal of Dairy Research.* 2019; 86(4): 388-393. DOI:10.1017/S0022029919000682

4. Szyda J., Mielczarek M., Frąszczak M., Minozzi G., Williams J.L., Wojdak-Maksymiec K. The genetic background of clinical mastitis in Holstein-Friesian cattle. *Animal.* 2019; 13(10): 2156-2163. DOI:10.1017/S1751731119000338

5. Alhussien M.N., Dang A.K. Potential roles of neutrophils in maintaining the health and productivity of dairy cows during various physiological and physiopathological conditions: a review. *Immunologic Research*. 2019; 67(1): 21-38. DOI:10.1007/s12026-019-9064-5

6. Ivetic A. A head-to-tail view of L-selectin and its impact on neutrophil behaviour. *Cell and tissue research*. 2018; 371(3): 437-453. DOI:10.1007/s00441-017-2774-x

7. Swain D.K., Kushwah M.S., Kaur M., Mohanty A.K., Dang A.K. Surface expression of *CD11b, CD62L, CD44* receptors on blood and milk neutrophils during subclinical and clinical mastitis in Sahiwal cows. *Indian Journal of Animal Sciences.* 2016; 86: 250-255.

8. Soupene E., Kuypers F.A. Mammalian long-chain acyl-CoA synthetases. *Experimental biology and medicine*. 2008; 233(5): 507-521. DOI:10.3181/0710-MR-287

9. Joseph R., Poschmann J., Sukarieh R., Too P.G., Julien S.G., Xu F., Stünkel W. *ACSL1* is associated with fetal programming of insulin sensitivity and cellular lipid content. *Molecular Endocrinology.* 2015; 29(6): 909-920. DOI:10.1210/me.2015-1020

10. Liang Y., Gao Q., Zhang Q., Arbab A.A.I., Li M., Yang Z., Mao Y. Polymorphisms of the *ACSL1* Gene Influence Milk Production Traits and Somatic Cell Score in Chinese Holstein Cows. *Animals.* 2020; 10(12): 2282. DOI:10.3390/ani10122282

11. Dusza M., Pokorska J., Makulska J., Kulaj D., Cupial M. L-selectin gene polymorphism and its association with clinical mastitis, somatic cell score, and milk production in Polish Holstein-Friesian cattle. *Czech Journal of Animal Science.* 2018; 63(7): 256-262. DOI:10.17221/96/2017-CJAS

12. Hunt S.E., McLaren W., Gil L., Thormann A., Schuilenburg H., Sheppard D., Parton A., Armean I.M., Trevanion S.J., Flicek P., Cunningham F. Ensembl variation resources. Database. 2018. DOI:10.1093/database/bay119

13. Сергеев С.М., Тулинова О.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663613 Российская Федерация. Селекционно-генетическая статистика – ВНИИГРЖ : № 2015617820 : заявл. 26.08.2015: опубл. 25.12.2015; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных». EDN IRJRBR.

REFERENCES

1.Cheng W.N., Han S.G. Bovine mastitis: Risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments — A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 2020; 33(11): 1699-1713. DOI:10.5713/ajas.20.0156

2. Rainard P., Foucras G., Boichard D., Rupp R. Invited review: low milk somatic cell count and susceptibility to mastitis. *Journal of dairy science.* 2018; 101(8): 6703-6714. DOI:10.3168/jds.2018-14593

3. Khan M.Z., Wang D., Liu L., Usman T., Wen H., Zhang R., Yu Y. Significant genetic effects of JAK2 and DGAT1 mutations on milk fat content and mastitis resistance in Holsteins. *Journal of Dairy Research.* 2019; 86(4): 388-393. DOI:10.1017/S0022029919000682

4. Szyda J., Mielczarek M., Frąszczak M., Minozzi G., Williams J.L., Wojdak-Maksymiec K. The genetic background of clinical mastitis in Holstein-Friesian cattle. *Animal.* 2019; 13(10): 2156-2163. DOI:10.1017/S1751731119000338

5. Alhussien M.N., Dang A.K. Potential roles of neutrophils in maintaining the health and productivity of dairy cows during various physiological and physiopathological conditions: a review. *Immunologic Research*. 2019; 67(1): 21-38. DOI:10.1007/s12026-019-9064-5

6. Ivetic A. A head-to-tail view of L-selectin and its impact on neutrophil behaviour. *Cell and tissue research*. 2018; 371(3): 437-453. DOI:10.1007/s00441-017-2774-x

7. Swain D.K., Kushwah M.S., Kaur M., Mohanty A.K., Dang A.K. Surface expression of *CD11b, CD62L, CD44* receptors on blood and milk neutrophils during subclinical and clinical mastitis in Sahiwal cows. *Indian Journal of Animal Sciences*. 2016; 86: 250-255.

8. Soupene E., Kuypers F.A. Mammalian long-chain acyl-CoA synthetases. *Experimental biology and medicine.* 2008; 233(5): 507-521. DOI:10.3181/0710-MR-287

9. Joseph R., Poschmann J., Sukarieh R., Too P.G., Julien S.G., Xu F., Stünkel W. *ACSL1* is associated with fetal programming of insulin sensitivity and cellular lipid content. *Molecular Endocrinology.* 2015; 29(6): 909-920. DOI:10.1210/me.2015-1020

10. Liang Y., Gao Q., Zhang Q., Arbab A.A.I., Li M., Yang Z., Mao Y. Polymorphisms of the *ACSL1* Gene Influence Milk Production Traits and Somatic Cell Score in Chinese Holstein Cows. *Animals.* 2020; 10(12): 2282. DOI:10.3390/ani10122282

11. Dusza M., Pokorska J., Makulska J., Kulaj D., Cupial M. L-selectin gene polymorphism and its association with clinical mastitis, somatic cell score, and milk production in Polish Holstein-Friesian cattle. *Czech Journal of Animal Science.* 2018; 63(7): 256-262. DOI:10.17221/96/2017-CJAS

12. Hunt S.E., McLaren W., Gil L., Thormann A., Schuilenburg H., Sheppard D., Parton A., Armean I.M., Trevanion S.J., Flicek P., Cunningham F. Ensembl variation resources. Database. 2018. DOI:10.1093/database/bay119

13.Sergeev S.M., Tulinova O.V. Certificate of state registration of the computer program No. 2015663613 Russian Federation. Breeding and genetic statistics – RRIFAGB : No. 2015617820: application 26.08.2015 : publ. 25.12.2015; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals”. EDN IRJRBR.

14. Shook G.E., Schutz M.M. Selection on somatic cell score to improve resistance to mastitis in the United States. *Journal of Dairy Science*. 1994; 77(2): 648-658. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(94)76995-2

15. Ateya A.I., Ibrahim S.S., Al-Sharif M.M. Single Nucleotide Polymorphisms, Gene Expression and Economic Evaluation of Parameters Associated with Mastitis Susceptibility in European Cattle Breeds. *Veterinary Sciences.* 2022; 9(6): 294. DOI:10.3390/vetsci9060294

16. Болгов А.Е., Комлык И.П., Гришина Н.В. Метод отбора коров и быков на резистентность к маститу по количеству соматических клеток в молоке. *Генетика и разведение животных*. 2018; 2: 123-128. DOI:10.31043/2410-2733-2018-2-123-128

17. Позовникова М.В., Лейбова В.Б., Тулинова О.В., Романова Е.А., Щербаков Ю.С. Влияние количества соматических клеток с учетом их морфологической дифференциации на компонентный состав молока коров. *Российская сельскохозяйственная наука.* 2022; 6: 57-62. DOI:10.31857/S2500262722060114

18. Iso-Touru T., Sahana G., Guldbrandtsen B., Lund M.S., Vilkki J. Genome-wide association analysis of milk yield traits in Nordic Red Cattle using imputed whole genome sequence variants. *BMC Genetics.* 2016; 22: 17–55. DOI:10.1186/s12863-016-0363-8

14. Shook G.E., Schutz M.M. Selection on somatic cell score to improve resistance to mastitis in the United States. *Journal of Dairy Science*. 1994; 77(2): 648-658. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(94)76995-2

15. Ateya A.I., Ibrahim S.S., Al-Sharif M.M. Single Nucleotide Polymorphisms, Gene Expression and Economic Evaluation of Parameters Associated with Mastitis Susceptibility in European Cattle Breeds. *Veterinary Sciences*. 2022; 9(6): 294. DOI:10.3390/vetsci9060294

16. Bolgov A.E., Komlyk I.P., Grishina N.V. Method of selecting cows and bulls for resistance to mastitis by the number of somatic cells in milk. *Genetics and breeding of animals*. 2018; 2: 123-128 (In Russian). DOI:10.31043/2410-2733-2018-2-123-128

17. Pozovnikova M.V., Leibova V.B., Tulinova O.V., Romanova E.A., Shcherbakov Yu.S. Effect of the somatic cell count, taking into account their morphological differentiation, on the component composition of cow's milk. *Russian Agricultural Sciences*. 2022; 6: 57-62 (In Russian). DOI:10.31857/S2500262722060114

18. Iso-Touru T., Sahana G., Guldbrandtsen B., Lund M.S., Vilkki J. Genome-wide association analysis of milk yield traits in Nordic Red Cattle using imputed whole genome sequence variants. *BMC Genetics*. 2016; 22: 17–55. DOI:10.1186/s12863-016-0363-8

ОБ АВТОРАХ:

Марина Владимировна Позовникова,
кандидат биологических наук,
Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
Московское шоссе, д. 55А, Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Россия
pozovnikova@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8658-2026

Елена Анатольевна Романова,
младший научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
Московское шоссе, д. 55А, Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Россия.
splicing86@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-4225-5533

Ольга Васильевна Тулинова,
кандидат сельскохозяйственных наук,
Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
Московское шоссе, д. 55А, Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Россия
tulinova_59@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS:

Marina Vladimirovna Pozovnikova,
candidate of biological sciences,
The All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals is a branch of the Federal Research Center of Animal Husbandry — VIZH named after academician L.K. Ernst,
55A Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russia
pozovnikova@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8658-2026

Elena Anatolievna Romanova,
junior researcher
All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals - branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry — VIZH named after academician L.K. Ernst,
55A Moscow highway, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russia
splicing86@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-4225-5533

Olga Vasilevna Tulinova,
Candidate of Agricultural Sciences,
All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals — branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry — VIZH named after academician L.K. Ernst,
55A Moscow highway, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russia
tulinova_59@mail.ru