

УДК 636.082

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-52-59

А.Д. Лемякин
К.Д. Сабетова ✉
А.А. Чаицкий
П.О. Щеголев
Л.С. Баданина

Костромская государственная
сельскохозяйственная академия,
Караваево, Кострома, Россия

✉ kseniyasabetova@mail.ru

Поступила в редакцию:
10.08.2023

Одобрена после рецензирования:
25.12.2023

Принята к публикации:
10.01.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-52-59

Alexander D. Lemyakin
Kseniya D. Sabetova ✉
Alexey A. Chaitsky
Pavel O. Shchegolev
Lada S. Badanina

Kostroma State Agricultural Academy,
Karavaevo, Kostroma, Russia

✉ kseniyasabetova@mail.ru

Received by the editorial office:
10.08.2023

Accepted in revised:
25.12.2023

Accepted for publication:
10.01.2024

Исследование полиморфизма гена тиреоглобулина у коров костромской и черно-пестрой пород Костромской области

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Как известно, молочная продуктивность коров обусловлена рядом паратипических факторов, однако немаловажную долю влияния на реализацию продуктивного потенциала оказывает генотип животного. В связи с этим в последние два десятилетия нарастающую популярность приобретает маркер ориентированная селекция (MAS), основанная на применении генетических маркеров хозяйственно ценных признаков, одним из которых является ген тиреоглобулина (TG).

Методы. Исследования выполнялись в научно-исследовательской лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра Костромской ГСХА на коровах костромской и черно-пестрой пород племенных хозяйств Костромской области.

Полиморфизм гена TG (rs135751032) определяли методом ПЦР-РВ с детекцией результатов гибридизационно-флуоресцентным способом.

Результаты. В популяциях коров костромской и черно-пестрой пород Костромской области установлено преобладание носительниц генотипа CC и аллеля C гена тиреоглобулина.

При этом среди коров этих пород прослеживается тенденция к более высоким показателям молочной продуктивности у гетерозиготных животных. Характер ассоциативной связи между генотипами TG и показателями молочной продуктивности существенно отличался для каждого отдельного стада. Это указывает на необходимость изучения TG в комплексе с другими ДНК-маркерами молочной продуктивности и обмена веществ.

Статистически значимые различия между коровами разных генотипов TG были выявлены только у половозрелых животных, что, возможно, указывает на перспективность использования TG для определения генетического потенциала продуктивного долголетия коров.

Ключевые слова: ген тиреоглобулина, коровы, костромская порода, черно-пестрая порода, молочная продуктивность

Для цитирования: Лемякин А.Д., Сабетова К.Д., Чаицкий А.А., Щеголев П.О., Баданина Л.С. Исследование полиморфизма гена тиреоглобулина у коров костромской и черно-пестрой пород Костромской области. *Аграрная наука*. 2024; 378(1): 52–59.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-52-59>

© Лемякин А.Д., Сабетова К.Д., Чаицкий А.А., Щеголев П.О., Баданина Л.С.

Research of thyroglobulin gene polymorphism in cows of Kostroma and black-and-white breeds of Kostroma region

ABSTRACT

Relevance. The genotype of the animal plays a significant role in realizing its productive potential, along with other factors affecting dairy productivity.

Marker-oriented breeding (MAS) of cattle, which utilizes genetic markers associated with economically valuable traits, has gained popularity in the last two decades.

One such marker is the thyroglobulin (TG) gene, which is involved in the production of a thyroid prohormone.

Methods. The research was conducted on cows of Kostroma and black-and-white breeds at breeding farms in the Kostroma region. Genetic material was obtained from the tail vein of the cows using individual vacuum systems with an anticoagulant.

The polymorphism of the TG gene (rs135751032) was determined using RT-PCR and detection by hybridization-fluorescence method. The results were processed using biometric analysis and calculation of population-genetic indicators.

Results. In the populations of cows of the Kostroma and black-and-white breeds of the Kostroma region, the predominance of carriers of the CC genotype and the C allele of the thyroglobulin gene was established. At the same time, among cows of these breeds, there is a tendency to higher milk productivity in heterozygous animals. The nature of the associative relationship between TG genotypes and milk productivity indicators differed significantly for each individual herd. This indicates the need to study TG in combination with other DNA markers of milk productivity and metabolism.

Statistically significant differences between cows of different TG genotypes were found only in full-aged animals, which perhaps indicates the prospects of using TG to determine the genetic potential of productive longevity of cows.

Key words: thyroglobulin gene, cows, kostroma breed, black-and-white breed, milk productivity

For citation: Lemyakin A.D., Sabetova K.D., Chaitsky A.A., Shchegolev P.O., Badanina L.S. Research of thyroglobulin gene polymorphism in cows of Kostroma and black-and-white breeds of Kostroma region. *Agrarian science*. 2024; 378(1): 52–59 (In Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-52-59>

© Lemyakin A.D., Sabetova K.D., Chaitsky A.A., Shchegolev P.O., Badanina L.S.

Введение/Introduction

В настоящее время одной из приоритетных задач молочного скотоводства в России является увеличение производства молока и молочных продуктов, а также повышение их качества. Как известно, молочная продуктивность коров обусловлена рядом паратипических факторов, однако немаловажную долю влияния на реализацию продуктивного потенциала оказывает генотип животного [1]. В связи с этим в последние два десятилетия нарастающую популярность приобретает маркер-ориентированная селекция (MAS) крупного рогатого скота, основанная на применении генетических маркеров хозяйственно ценных признаков. Одним из таких генов-кандидатов является ген одноименного прогормона щитовидной железы — тиреоглобулина (TG) [2].

Белок тиреоглобулин выполняет функцию хранения йода в организме. Он вырабатывается в организме постоянно и хранится в фолликулах щитовидной железы в виде коллоида, участвуя в цикле синтеза трийодтиронина (Т3) и тироксина (Т4). Эти гормоны оказывают непосредственное влияние на дифференциацию клеток, рост, развитие и обмен веществ организма.

Реализация наследственной информации прогормона обусловлена геном, расположенным на центромерном конце 14-й хромосомы крупного рогатого скота (KРС).

По данным многих авторов, существует однонуклеотидная замена TG, которая ассоциирована с изменением качественного и количественного состава жировой ткани животного [3–5]. Ввиду этого, а также на основании исследований локусов количественных признаков (QTL), проведенных на молочных породах KPC, учеными считается, что полиморфизм TG связан с мраморностью мяса и жирномолочностью коров [6–11]. Кроме того, существуют сведения об ассоциативных связях разных генетических вариантов TG с продуктивным долголетием [12].

В большинстве представленных в открытом доступе научных публикаций для амплификации полиморфных участков гена TG использована рестриктаза BstXI. Гомозиготному генотипу TT соответствуют фрагменты 473/75 п. н., гетерозиготному генотипу TC — 473/295/178/75 п. н., гомозиготному генотипу CC — 295/178/75 п. н. [3, 13, 14].

Наиболее перспективным (по данным многих исследований) является T-аллель гена TG. Ввиду этого положительный эффект проявляется тогда, когда животное является носителем гомозиготной формы аллеля TG^T, в связи с чем генотип TG^{TT} может являться маркером молочной продуктивности и высокой жирномолочности [15, 16].

Однако данный генетический вариант имеет достаточно низкую частоту встречаемости. Так, в работе Л.Ф. Давлетовой (2015 г.) установлено, что частота аллеля T у коров разных линий черно-пестрой породы находилась на сравнительно низком уровне (0,210–0,340), как и гомозиготного генотипа TT (0,060–0,138) [17]. Л.Ф. Давлетовой с соавт. (2016 г.) и другими учеными также сообщается, что частота встречаемости аллеля TG^T у коров черно-пестрой породы была на уровне 0,280, а гомозиготного генотипа TG^{TT} — 0,094 [18–20].

По данным С.В. Тюлькина с соавт. (2019 г.), у коров черно-пестрой породы также отмечалась низкая частота аллеля TG^T (0,160), при этом носителей гомозиготной формы данного аллеля выявлено не было [21].

У чистопородных коров костромской породы популяции Ивановской области частота аллельного варианта T находилась на чрезвычайно низком уровне (0,007), при этом частота генотипа TT составляла 0,011, тогда как в группе коров с прилитием крови улучшающей швицкой породы аллель T фиксировался значительно чаще — 0,388, а генотип TT — 0,213 [22].

Противоположный аллельный вариант TG^{CC} при своей высокой распространенности в популяциях KPC является менее желательным для селекции ввиду низкой значимости для молочной продуктивности [3, 14, 15, 20, 22]. Так, в стаде коров черно-пестрой породы в исследованиях Е.О. Крупина (2018 г.) частота встречаемости генотипа TG^{CC} составляла 0,617 благодаря высокой концентрации аллельного варианта TG^C (0,802) [9].

С.В. Тюлькиным, Х.Х. Гильмановым и др. (2019 г.) отмечалась более высокая частота генетического варианта TG^{CC} (0,721) среди коров черно-пестрой породы [17].

И.Ю. Долматовой с соавт. (2020 г.) на большой выборке ($n = 379$) генотипированных по TG черно-пестрых коров было установлено преобладание аллеля C (0,700), что также обуславливало высокую встречаемость генотипа CC — 0,490 [3].

Среди чистопородных коров костромской породы, исследованной П.В. Ларионовой, генотип CC регистрировался у абсолютного большинства (0,988) на фоне высокой концентрации аллеля C (0,993). Однако в группе коров с долей крови 50%, улучшающей по швицкой породе, регистрировалась относительно меньшая частота гомозиготного генотипа CC (0,612) с частотой аллеля C 0,787 [22].

При определении ассоциативных связей разных генотипов гена тиреоглобулина с продуктивными показателями коров разных популяций отечественными учеными выявлена ассоциация TG^{CT} с жирномолочностью [23].

По сообщению Л.Ф. Давлетовой с соавт. (2016 г.), коровы черно-пестрой породы, имеющие в своем геноме аллельный вариант TG^{CT}, обладали в сравнении с TG^{CC} более высокими удоями (на 179 кг, или на 4%) и жирномолочностью (на 0,06%) [18].

И.Ю. Долматовой с соавт. (2020 г.) на KPC черно-пестрой породы установлено, что носители генотипа TG^{TT} отличались высоким удоем относительно коров генотипа TG^{CC} — на 254,6 кг (на 5,5%, $p < 0,05$), массовой долей жира молока — на 0,09%. По сравнению TG^{CT} с TG^{CC} первые имели преимущество по удою (на 185,6 кг, или на 4,2%) и МДЖ (на 0,06%) [3].

В исследованиях И.П. Степанова (2022 г.), проведенных на черно-пестрой породе, сообщалось, что носители генотипа TG^{CT} превосходили сверстниц с TG^{CC} по удою на 294 кг (или на 7,1%, $p < 0,01$), по МДЖ на 0,09% ($p < 0,01$), по МДБ на 0,01% [6].

В ряде научных работ Ф.Ф. Зиннатова и Ф.Ф. Зиннатовой с коллегами (2023 г.), а также других ученых отмечается схожая динамика показателей молочной продуктивности животных черно-пестрой породы [24–27, 29].

Информация о продуктивности коров костромской породы в разрезе разных генотипов гена тиреоглобулина отсутствует, что обуславливает актуальность данной работы.

Таким образом, в настоящее время накоплено достаточно много научных данных о распространенности генетических вариантов и ассоциативных связях с продуктивностью гена TG у коров отечественных пород различных популяций.

Цель работы — изучение полиморфизма гена тиреоглобулина у коров костромской и черно-пестрой пород популяций Костромской области.

Новизна исследований заключалась в определении SNP TG-методом полимеразной цепной реакции в реальном времени с детекцией результатов гибридизационно-флуоресцентным способом.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были выполнены в 2022–2023 гг. в научно-исследовательской лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра Костромской государственной сельскохозяйственной академии на племенных коровах костромской ($n = 91$) и черно-пестрой ($n = 105$) пород племенных хозяйств Костромской области.

Данные племенного и зоотехнического учета, в том числе сведения о молочной продуктивности коров, были получены с помощью ИАС «СЕЛЭК»¹ (Россия).

С целью получения генетического материала у коров в условиях хозяйств проводили отбор проб крови из хвостовой вены в индивидуальные вакуумные системы (Германия) с ЭДТА К2 в качестве антикоагулянта.

Манипуляции по забору крови у крупного рогатого скота (КРС) были проведены в соответствии с международными рекомендациями и российскими нормативно-правовыми документами в отношении гуманного обращения с животными.

Геномную ДНК получали сорбентным методом экстракции из образцов крови с помощью набора реактивов ПРОБА-ГС-ГЕНЕТИКА (Россия) в соответствии с инструкцией производителя. Метод основан на лизисе клеток крови, сорбции нуклеиновой кислоты на носителе, отмывке от примесей и последующей элюции.

Полиморфизм гена TG (rs135751032) определяли методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) с детекцией результатов гибридизационно-флуоресцентным способом.

Амплификацию образцов ДНК проводили с использованием амплификатора DTLite (Россия) по стандартной схеме, температура отжига праймеров соответствовала 61 °C: денатурация ДНК — 80–94 °C (7 мин.), элонгация 5 циклов — 94–61 °C (45 с.), отжиг 45 циклов — 94–61 °C (20 с.), 1 цикл — 61–25 °C (30 с.), плавление праймеров 50 циклов — 25 °C (15 с.). Плавление реализовано методом примыкающих проб. Для повышения качества и специфичности SNP-типирования применяли модифицированные типизирующие зонды, маркированные двумя разными флуорофорами, и универсальный тугоплавкий зонд с гасителем флуоресценции.

В состав смеси для постановки ПЦР (на один образец ДНК) входило 5 мкл образца ДНК, 20 мкл ПЦР-смеси, 0,24 мкл 25мМ дезоксинуклеозидтрифосфата (dNTP),

10 мкл раствора полимеразы (0,5 мкл TAQ полимеразы и 9,5 мкл ПЦР-буфера). В состав ПЦР-смеси входили следующие компоненты: зонд FAM и HEX — по 0,1 мкл, зонд BHQ — 0,3 мкл, праймер rev — 0,6 мкл, праймер forw — 0,1 мкл.

TG5_for 5'-ggT gAA AAT CTT gTg gAg gCT gTA-3'
TG5_rev 5'-CAg TTC TTC CTT ggT ggC TCA gA-3'
TG5_FAM (FAM)-5'-CTT CTC CAg ggA ATC TT-3'-(P)
TG5_HEX (HEX)-5'-CTT CTC CAg ggg ATC TT-3'-(P)
TG5_BHQ1 5'-ATA CTg gAg Tgg gTA gCC TTT CC -3'-(BHQ1)

Определение генотипа проводили путем измерения уровня флуоресценции в ходе температурной денатурации дуплексов олигонуклеотидов и полученных матриц. Результаты регистрировались в режиме реального времени. У гомозиготного анализируемого образца содержался только один вариант нуклеотидной последовательности гена, то есть температура плавления для зонда, образующего совершенный (полностью комплементарный) дуплекс, была существенно выше, чем для зонда, образующего несовершенный (частично некомплементарный) дуплекс. У гетерозиготного образца, содержащего оба варианта нуклеотидной последовательности, оба варианта зондов образовывали совершенный дуплекс, поэтому температуры их плавления были практически одинаковы.

Частоту встречаемости генотипов по локусу TG рассчитывали по формуле 1.

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

где p — частота встречаемости генотипа в группе, m — количество носителей определенного генотипа, N — общее число особей.

Частоту встречаемости аллельных вариантов гена TG в группах подопытных животных вычисляли по формуле 2.

$$p = \frac{2n_{CC} + n_{CT}}{2N} \text{ и } q = \frac{2n_{TT} + n_{CT}}{2N}, \quad (2)$$

где p — частота встречаемости аллеля С, q — частота встречаемости аллеля Т, n_{CC} , n_{CT} , n_{TT} — число носителей генотипов CC, CT и TT соответственно, N — общее число животных в группе.

Равномерность распределения аллелей гена TG в изучаемых группах животных и генное равновесие оценивали при помощи уравнения Харди — Вайнберга (3).

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

где p и q — частоты аллелей С и Т соответственно.

Обработка результатов исследований производилась в табличном процессоре MS Office Excel 2019 (США) с использованием методов биометрического анализа и расчета популяционно-генетических показателей методами F-статистики Райта². Критерием статистической значимости разности между подгруппами животных выступал t-критерий Стьюдента, уровень статистической значимости считался достигнутым при $p < 0,05$. Проверку гипотезы независимости распределения аллелей в подопытных группах животных осуществляли методом

¹ Информационно-аналитическая система «СЕЛЭК» — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах.
<https://plinor.ru/solution/software/solutions/web/selex/>

² Кузнецов В.М. F-статистики Райта: оценка и интерпретация. Проблемы биологии продуктивных животных. 2014; 4: 80–104.

«хи-квадрат» (χ^2), различие между наблюдаемым и ожидаемым частотным распределением считали статистически значимым при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате генотипирования по гену тиреоглобулина было выявлено следующее распределение генотипов в исследуемых выборках коров (рис. 1).

Анализ распределения генотипов по локусу гена тиреоглобулина показал, что генетический вариант TG^{CC} на предприятии СПК «Колхоз «Родина» у коров костромской породы регистрировался чаще остальных — 0,904. Намного реже в данном хозяйстве встречался гетерозиготный вариант TG^{CT} — 0,096.

В СПК «Гридино» у КРС костромской породы наблюдалась похожая динамика, где генотип TG^{CC} был детектирован у большинства исследуемых животных — 0,897, в то время как гетерозиготных коров TG^{CT} было значительно меньше — 0,103.

Установлено, что в обоих хозяйствах не было идентифицировано особей — носителей гомозиготного генотипа TG^{TT} гена тиреоглобулина, что соответствует данным ранее проведенных исследований П.В. Ларионовой с соавт. (2008 г.) [22], где также не было выявлено носителей гомозиготной формы аллеля TG^T . Вероятно, это явление обусловлено характеристикой аллелофонда данной породы или может являться следствием прилития крови улучшающей породы. Так или иначе, это требует дальнейшего изучения на крупных популяциях скота.

Таким образом, в выборке коров костромской породы на фоне низкой частоты гетерозиготного CT -генотипа (9,9%) и отсутствия носителей гомозиготной формы TT генотип CC был выявлен у подавляющей части генотипированных животных (90,1%).

У КРС черно-пестрой породы наблюдалась схожая картина распределения носителей генотипов гена TG . В стаде СПК «Расловское» фиксировалась наибольшая частота встречаемости генотипа TG^{CC} (0,646), вместе с этим гетерозиготный генотип TG^{CT} имел частоту встречаемости на уровне 0,323. Также в этой группе животных выявлены коровы — носители гомозиготной формы гена тиреоглобулина TG^{TT} , однако частота его встречаемости была достаточно низкой — 0,031, что согласуется с результатами исследований других авторов [17, 27, 29].

В СПК «Яковлевское» были обнаружены только особи с аллельными вариантами TG^{CC} и TG^{CT} , частота встречаемости которых составила 0,775 и 0,225 соответственно.

Таким образом, в протестированном массиве коров черно-пестрой породы генотип TG^{CC} встречался чаще (69,5%), а TG^{TT} — реже (1,9%), при этом гетерозиготный генотип TG^{CT} регистрировали у 28,6% животных.

Данные о распределении аллельных форм гена TG коров Костромской области приведены на рисунке 2.

По данным (рис. 2) видно, что в популяции племенного КРС костромской породы предпочтительный для

Рис. 1. Частота встречаемости генотипов CC , CT , TT гена TG у коров костромской и черно-пестрой пород Костромской области

Fig. 1. The frequency of occurrence of CC , CT , TT genotypes of the TG gene in cows of the Kostroma and Black-and-white breeds of the Kostroma region

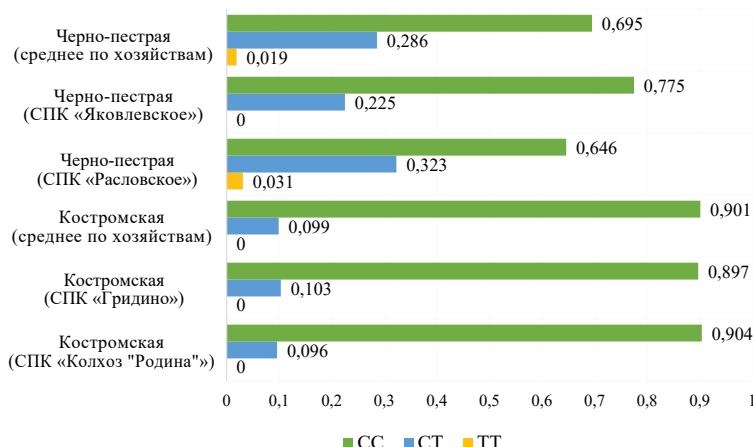
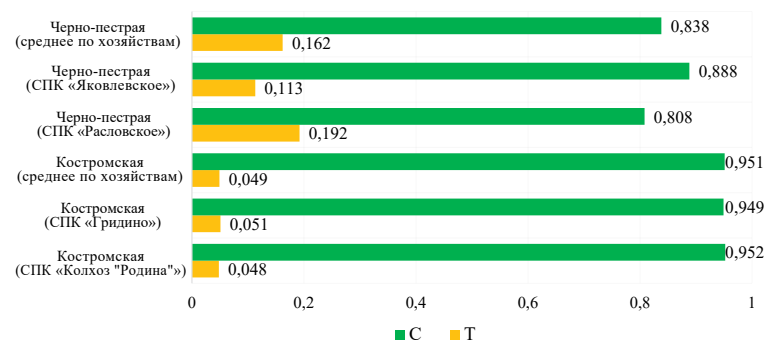


Рис. 2. Частота встречаемости аллелей C и T гена TG у коров костромской и черно-пестрой пород Костромской области

Fig. 2. The frequency of occurrence of alleles C and T of the TG gene in cows of the Kostroma and black-and-white breeds of the Kostroma region



селекции аллельный вариант TG^T имел наиболее низкую частоту встречаемости (0,049). В то же время в черно-пестрой породе данная аллельная форма гена тиреоглобулина регистрировалась в три раза чаще (0,162). По встречаемости аллеля TG^C существенной дифференциации между исследуемыми породами не установлено, в обеих популяциях отмечено его существенное преобладание над T -аллелем, что также отмечается в исследованиях П.В. Ларионовой (2005 г.), Ф.Р. Валитова (2016 г.), С.В. Тюлькина (2019 г.), И.Ю. Долматовой (2020 г.) и др. [3, 17–19, 21, 22].

Популяционно-генетический анализ не выявил недостатка или избытка гетерозигот: теоретически ожидаемое согласно закону Харди — Вайнберга значение было близко к практически наблюдаемому в обоих хозяйствах, что указывает на соблюдение генного равновесия по локусу TG . При этом генетических различий по локусу TG между группами животных также не наблюдалось. Это говорит об отсутствии каких-либо факторов, оказывающих давление на распространение аллелей гена тиреоглобулина в областной популяции животных костромской породы.

Результаты популяционно-генетического анализа по локусу TG для популяции черно-пестрой породы региона оказались сходными с анализом популяции костромской породы. Таким образом, распространение аллелей гена тиреоглобулина в обеих популяциях происходит свободно, вне зависимости от каких-либо ограничивающих факторов.

Таблица 1. Средние показатели продуктивности коров по стаду по данным бонитировки и ежегодника ВНИИПЛЕМ за 2022 год
Table 1. Average cow productivity indicators by herd according to the data of the bonitirovka and the VNIIPLEM yearbook for 2022

Порода/хозяйство	№ лактации	Показатель		
		удой, кг	жир, %	белок, %
По данным бонитировки за 2022 год				
Костромская порода / СПК «Колхоз "Родина"»	1	5755,00	3,99	3,22
	2	6109,00	4,00	3,25
	3 и старше	6572,00	4,02	3,25
	в среднем	6289,00	4,01	3,24
Костромская порода / СПК «Гридино»	1	5950,00	4,61	3,29
	2	5766,00	4,64	3,30
	3 и старше	6145,00	4,64	3,30
	в среднем	6035,00	4,63	3,29
Черно-пестрая порода / СПК «Расловское»	1	7143,00	4,21	3,21
	2	8164,00	4,38	3,23
	3 и старше	8141,00	4,35	3,18
	в среднем	7902,00	4,33	3,20
Черно-пестрая порода / СПК «Яковлевское»	1	7838,00	4,24	3,04
	2	8213,00	4,36	3,09
	3 и старше	8561,00	4,23	3,04
	в среднем	8229,00	4,27	3,05
По данным ежегодника ВНИИПЛЕМ за 2022 год				
Костромская порода / Российская Федерация	1	6989,00	4,17	3,33
	2	7663,00	4,20	3,37
	3 и старше	7605,00	4,20	3,34
	в среднем	6674,00	4,17	3,33
Черно-пестрая порода / Российская Федерация	1	7582,00	3,96	3,23
	2	7997,00	3,97	3,24
	3 и старше	7722,00	3,98	3,25
	в среднем	7259,00	3,90	3,20

Фоновые показатели продуктивности коров согласно бонитировочным данным и ежегоднику ВНИИПЛЕМ³ [30, с. 57–68] приведены в таблице 1.

В ходе исследования были проанализированы показатели молочной продуктивности в разрезе лактаций у коров костромской и черно-пестрой пород с разными генотипами по гену TG (табл. 2).

Так, данные таблицы 2 соотносимы с фоновыми показателями, представленными в таблице 1. При этом анализируя сведения таблицы 2, можно заметить, что статистически значимая разность качественных показателей молочной продуктивности коров отмечалась только в старшем возрасте. При этом наилучшими показателями в большинстве случаев отличались гетерозиготы (TG^{CT}), что согласуется с данными ряда исследований [6, 17, 18, 21].

Так, в стаде СПК «Колхоз "Родина"» у коров костромской породы по 1-й лактации установлено преобладание особей с генотипом TG^{CT} над TG^{CC} по удою и жирномолочности — на 63 кг и 0,04% соответственно. Группа половозрелых коров с генотипом TG^{CT} демонстрировала более высокие по сравнению с TG^{CC}-генотипом удои (на 91 кг). При этом коровы с TG^{CC}-генотипом статистически значимо превосходили носителей TG^{CT} по жирномолочности — на 0,10% ($p < 0,001$). Аналогичные результаты были в племенном стаде СПК «Гридино». Одновременно с этим у половозрелых коров, имеющих в своем геноме генотип СТ по локусу TG, определялось статистически значимое превосходство по массовой доле белка в молоке — на 0,14 % ($p < 0,05$).

Таблица 2. Качественные и количественные показатели молочной продуктивности коров разных генотипов по гену TG в разрезе лактаций

Table 2. Qualitative and quantitative indicators of dairy productivity of cows of different genotypes according to the TG gene in the context of lactation

Порода	Генотип	№ лактации							
		1				3 и старше			
		Показатели				Показатели			
		n	удой, кг	жир, %	белок, %	n	удой, кг	жир, %	белок, %
Костромская	СПК «Колхоз «Родина»»								
	СС	47	5175,17 ± 104,24	3,95 ± 0,01	3,23 ± 0,01	38	6022,47 ± 164,37	3,98 ± 0,01***	3,22 ± 0,01
	СТ	5	5238,80 ± 271,01	3,99 ± 0,05	3,21 ± 0,03	3	6113,67 ± 330,91	3,88 ± 0,01	3,20 ± 0,04
	ТТ	–	–	–	–	–	–	–	–
	СПК «Гридино»								
	СС	35	5688,17 ± 158,20	4,44 ± 0,04	3,32 ± 0,01	17	6253,41 ± 164,01	4,56 ± 0,05	3,31 ± 0,02
	СТ	4	6273,75 ± 873,80	4,46 ± 0,12	3,41 ± 0,13	3	7159,00 ± 864,42	4,70 ± 0,07	3,45 ± 0,06*
	ТТ	–	–	–	–	–	–	–	–
	В среднем по породе								
	СС	82	5394,13 ± 93,89	4,16 ± 0,03	3,27 ± 0,01	55	6093,85 ± 124,36	4,16 ± 0,04	3,25 ± 0,01
	СТ	9	5698,78 ± 403,64	4,20 ± 0,10	3,30 ± 0,06	6	6636,33 ± 450,15	4,29 ± 0,20	3,33 ± 0,07
	ТТ	–	–	–	–	–	–	–	–
Черно-пестрая	СПК «Расловское»								
	СС	42	5539,38 ± 160,87	3,98 ± 0,04	3,25 ± 0,02	42	7198,17 ± 223,64	4,14 ± 0,05	3,25 ± 0,03
	СТ	21	5777,62 ± 247,78	3,94 ± 0,05	3,27 ± 0,03	21	7440,19 ± 210,12	4,21 ± 0,08	3,26 ± 0,04
	ТТ	2	4910,00 ± 2252,84	3,63 ± 0,22	3,19 ± 0,13	2	5892,00 ± 3050,46	4,13 ± 0,59	3,17 ± 0,18
	СПК «Яковлевское»								
	СС	31	7581,32 ± 235,08	4,03 ± 0,07	3,14 ± 0,02	5	10028,20 ± 628,17*	3,94 ± 0,21	3,16 ± 0,05
	СТ	9	7337,56 ± 316,67	4,21 ± 0,06	3,21 ± 0,04	3	8333,00 ± 34,36	4,45 ± 0,11	3,22 ± 0,10
	ТТ	–	–	–	–	–	–	–	–
	В среднем по породе								
	СС	73	6406,51 ± 180,01	4,00 ± 0,04	3,20 ± 0,02	47	7499,23 ± 243,53	4,12 ± 0,05	3,24 ± 0,03
	СТ	30	6245,60 ± 234,65	4,02 ± 0,04	3,25 ± 0,02	24	7551,79 ± 193,25	4,24 ± 0,07	3,26 ± 0,04
	ТТ	2	4910,00 ± 2252,84	3,63 ± 0,22	3,19 ± 0,13	2	5892,00 ± 3050,46	4,13 ± 0,59	3,17 ± 0,18

Примечание: Уровень статистической значимости указан для разности показателей между носителями генотипов СС и СТ: * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$.

В среднем в исследованном массиве животных костромской породы, как среди первотелок, так и среди половозрелых коров, просматривается тенденция к более высокому удою за лактацию, содержанию жира и белка в молоке у гетерозигот по сравнению с гомозиготными TG^{CC}-сверстницами.

При исследовании выборки черно-пестрой породы коров выявили, что гетерозиготные первотелки СПК «Расловское» превосходили носительниц TG^{CC} по удою (на 238 кг) и массовой доле белка (на 0,02%). Половозрелые коровы с генотипом TG^{CT} имели более высокий удой, МДЖ и МДБ относительно сверстниц с TG^{CC} — на 242 кг, 0,07 и 0,01% соответственно.

В стаде СПК «Яковлевское» гетерозиготные коровы TG^{CT} также превосходили своих гомозиготных сверстниц TG^{CC} и TG^{TT} по содержанию жира и белка в молоке, однако по удою гетерозиготы заметно уступали носительницам генотипа TG^{CC}, причем у половозрелых коров эта разница достигла статистически значимой величины — 1695 кг ($p < 0,05$).

Однако в среднем в черно-пестрой породе, как и в костромской, носительницы генотипа TG^{CT} превосходили своих гомозиготных сверстниц по удою, содержанию жира и белка в молоке.

В целом по результатам исследований в виду редкости ТТ-генотипа гена TG не представляется возможным объективно установить его положительное влияние на молочную продуктивность, о котором сообщается исследователями [15, 16]. Однако просматривается тенденция к более высоким количественным и качественным показателям молочной продуктивности у носителей гетерозиготного генотипа СТ гена тиреоглобулина, что может быть обусловлено наличием в их геноме желательного Т-аллеля.

Выводы/Conclusion

Таким образом, в племенных стадах коров костромской и черно-пестрой пород Костромской области наблюдается численное преобладание носительниц генотипа СС и аллеля С гена тиреоглобулина. При этом генное равновесие Харди — Вайнберга соблюдено, следовательно, не обнаружено никаких препятствий к свободному распространению аллелей С и Т гена TG в изучаемых популяциях КРС.

В общей массе коров, как костромской, так и черно-пестрой породы, прослеживается тенденция к более

высоким показателям молочной продуктивности у гетерозиготных животных. Однако статистически значимые различия между коровами разных генотипов по локусу TG были получены только в отдельных стадах, причем характер ассоциативной связи между генотипами TG и показателями молочной продуктивности существенно отличался для каждого отдельного стада. Это указывает на необходимость изучения гена тиреоглобулина в комплексе с другими ДНК-маркерами молочной продуктивности и обмена веществ.

Кроме того, статистически значимые различия между коровами с разными генотипами TG выявлены только у половозрелых животных, что, возможно, указывает на перспективность использования данного ДНК-маркера для определения генетического потенциала продуктивного долголетия коров.

Полученные результаты могут применяться в селекционно-племенной работе с КРС Костромской области с целью отбора и подбора наиболее перспективных с точки зрения уровня продуктивности животных, а также в учебном процессе при чтении лекций и проведении практических и лабораторных работ по направлениям подготовки: 36.03.02 Зоотехния; 36.04.02 Зоотехния; 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the 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 выполнена на средства гранта Президента Российской Федерации № МК-5026.2022.5 (соглашение № 075-15-2022-49, регистрационный № НИОКТР 122122000096-1).

FUNDING

The work was carried out at the expense of the grant of the President of the Russian Federation No. MK-5026.2022.5 (Agreement No. 075-15-2022-49, R&D registration No. 122122000096-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глухих В.Л., Алексеева М.Е. О влиянии генотипа коров на молочную продуктивность, состав и свойства молока. *Аграрный вестник Урала*. 2006; (5): 30–31. <https://elibrary.ru/ijeqbv>
2. Лемякин А.Д., Тяжченко А.Н., Чаицкий А.А., Щеголев П.О., Сабетова К.Д. Ассоциация гена тиреоглобулина (TG5) с хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота. *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2022; (4): 39–47. https://doi.org/10.52025/2712-8679_2022_04_39
3. Dolmatova I., Sedykh T., Valitov F., Gizatullin R., Khaziev D., Kharlamov A. Effect of the bovine TG5 gene polymorphism on milk- and meat-producing ability. *Veterinary World*. 2020; 13(10): 2046–2052. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.2046-2052>
4. Конджария Т.Г. Влияние полиморфизма гена тиреоглобулина на продуктивность и репродуктивные качества крупного рогатого скота. *Advances in Science and Technology. Сборник статей LII Международной научно-практической конференции*. М.: Актуальность.РФ. 2023; 36–38. <https://elibrary.ru/wjqpzq>
5. Тыщенко В.И., Терлецкий В.П., Усенбеков Е.С., Абасов Ш.М. Полиморфные варианты генов каппа-казеина, соматотропина и тиреоглобулина у алаутской породы скота. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2020; (2): 62–70. <https://elibrary.ru/cykctw>
6. Степанов И.П. Влияние полиморфизма гена тиреоглобулина (TG) на мясную и молочную продукцию крупного рогатого скота. *Молодежная наука. Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и просвещение. 2022; 11–13. <https://elibrary.ru/wqpidq>
7. Рачкова Е.Н., Зиннатова Ф.Ф., Юльметьева Ю.Р., Ахметов Т.М., Шакиров Ш.К. Ассоциация полиморфизма генов TG5 и LEP с динамикой лактации коров-первотелок. *Ветеринарный врач*. 2016; (6): 61–66. <https://elibrary.ru/xcngrh>
8. Юльметьева Ю.Р., Шакиров Ш.К. Участие генов-кандидатов липидного обмена в формировании продуктивности коров. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; (1): 10–13. <https://elibrary.ru/xxiaov>

REFERENCES

1. Glukhikh V.L., Alekseeva M.E. About the influence of the genotype of cows on milk productivity, composition and properties of milk. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2006; (5): 30–31 (In Russian). <https://elibrary.ru/ijeqbv>
2. Lemiyakin A.D., Tyazhchenko A.N., Chaitsky A.A., Shchegolev P.O., Sabetova K.D. Association of thyroglobulin gene (TG5) with economically useful signs of cattle. *Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region*. 2022; (4): 39–47 (In Russian). https://doi.org/10.52025/2712-8679_2022_04_39
3. Dolmatova I., Sedykh T., Valitov F., Gizatullin R., Khaziev D., Kharlamov A. Effect of the bovine TG5 gene polymorphism on milk- and meat-producing ability. *Veterinary World*. 2020; 13(10): 2046–2052. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.2046-2052>
4. Konjaria T.G. Effect of thyroglobulin gene polymorphism on productivity and reproducibility of cattle. *Advances in Science and Technology. Collected Papers of the LII International Scientific-Practical conference*. Moscow: Actualnost.RF. 2023; 36–38 (In Russian). <https://elibrary.ru/wjqpzq>
5. Tyshchenko V.I., Terletsy V.P., Usenbekov E.S., Abasov Sh.M. Polymorphic types of kappa-casein, somatotropin and thyroglobulin genes in Alatau cattle breed. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2020; (2): 62–70 (In Russian). <https://elibrary.ru/cykctw>
6. Stepanov I.P. Effect of thyroglobulin (TG) gene polymorphism on beef and dairy products of cattle. *Youth Science. Collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference*. Penza: Nauka i Prosveshchenie. 2022; 11–13 (In Russian). <https://elibrary.ru/wqpidq>
7. Rachkova E.N., Zinnatova F.F., Yulmetyeva Yu.R., Ahmetov T.M., Shakirov Sh.K. Association of gene TG5 and LEP polymorphism with the dynamics of lactation heifers. *Veterinary Vrach*. 2016; (6): 61–66 (In Russian). <https://elibrary.ru/xcngrh>
8. Yulmetyeva Yu.R., Shakirov Sh.K. Involvement of lipid metabolism candidate genes in the productivity formation of cows. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2017; (1): 10–13 (In Russian). <https://elibrary.ru/xxiaov>

9. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К., Тагиров М.Ш. Динамика физико-химического состава и молочной продуктивности коров при сбалансированном кормлении в зависимости от генотипа. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2018; (2): 39–44. <https://elibrary.ru/oagpmj>
10. Крупин Е.О., Тагиров М.Ш. Биохимические показатели белкового и углеводного обмена у коров различных генотипов. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2018; 233(1): 83–88. <https://elibrary.ru/ytjrzd>
11. Zhang L.P., Gan Q.F., Hou G.Y., Gao H.J., Li J.Y., Xu S.Z. Investigation of TG gene variants and their effects on growth, carcass composition, and meat quality traits in Chinese steers. *Genetics and Molecular Research*. 2015; 14(2): 5320–5326. <https://doi.org/10.4238/2015.May.22.2>
12. Юльметьева Ю.Р., Шакиров Ш.К. Ассоциативные связи гена тиреоглобулина с продуктивным долголетием молочного скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2020; (1): 14–19. <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.65.47.004>
13. Давлетова Л.Ф., Валитов Ф.Р. Хозяйственно полезные признаки коров чёрно-пестрой породы с разными генотипами тиреоглобулина. *Современные направления инновационного развития ветеринарной медицины, зоотехнии и биологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора ветеринарных наук, профессора Х.Х. Абдюшева (к 120-летию со дня рождения)*. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2015; 234–237. <https://elibrary.ru/vjtawd>
14. Зиннатова Ф.Ф., Шамсова А.Р., Зиннатова Ф.Ф., Ахметов Т.М., Сафиуллина А.Р. Взаимосвязь полиморфизма генов липидного обмена (LEP, TG5) с молочной продуктивностью крупного рогатого скота. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2017; 231(3): 72–75. <https://elibrary.ru/wteccaw>
15. Carvalho T.D. de et al. Association of polymorphisms in the leptin and thyroglobulin genes with meat quality and carcass traits in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2012; 41(10): 2162–2168. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012001000004>
16. Зиннатова Ф.Ф. Использование ДНК-анализа в идентификации полиморфных вариантов генов липидного и белкового обмена у коров. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2021; (1): 96–97. <https://elibrary.ru/ssktds>
17. Давлетова Л.Ф., Валитов Ф.Р. Частота встречаемости аллельных вариантов гена тиреоглобулина коров чёрно-пестрой породы. *Использование и эффективность современных селекционно-генетических методов в животноводстве. Материалы Международной научно-практической конференции*. Персиановский: Донской государственный аграрный университет. 2015; 23–26. <https://elibrary.ru/voypcd>
18. Давлетова Л.Ф., Валитов Ф.Р., Ганиева И.Н. Влияние полиморфизма гена тиреоглобулина на молочную продуктивность и технологические свойства молока коров чёрно-пестрой породы. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2016; (4): 33–37. <https://elibrary.ru/xbdbokx>
19. Валитов Ф.Р. Взаимосвязь полиморфных вариантов генов соматотропина и тиреоглобулина с молочной продуктивностью коров чёрно-пестрой породы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018; (4): 284–287. <https://elibrary.ru/xykvbj>
20. Лемякин А.Д., Тяжченко А.Н., Чаицкий А.А., Щеголев П.О., Сабетова К.Д. Комплексное влияние полиморфизма генов соматотропина и тиреоглобулина на молочную продуктивность крупного рогатого скота. *Генетические ресурсы животноводства и растениеводства: состояние и перспективы в сфере сельского хозяйства. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции*. Махачкала: АЛЕФ. 2022; 267–275. <https://elibrary.ru/tahrzb>
21. Тюлькин С.В., Гильманов Х.Х., Ржанова И.В., Вафин Р.Р., Шайдуллин Р.Р. Молочная продуктивность и качество молока коров с разными генотипами тиреоглобулина. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2019; 240(4): 187–190. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-240-4-187-191>
22. Ларионова П.В., Гутчер М., Зиновьева Н.А., Брем Г. Генетический полиморфизм генов-кандидатов мраморности мяса и липидного метаболизма крупного рогатого скота. *Современные технологические и селекционные аспекты развития животноводства России. Материалы III Международной научно-практической конференции*. Дубровицы. 2005; 63(2): 164–166.
23. Харзинова В.Р., Зиновьева Н.А., Гладырь Е.А. Полиморфизм ДНК-маркеров DGAT1, TG5 и GH у коров чёрно-пестрой породы в связи с линейной принадлежностью и уровнем молочной продуктивности. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2011; (1): 73–77. <https://elibrary.ru/nodtsh>
24. Зиннатова Ф.Ф. и др. Применение ДНК-технологий в тестировании коров голштинской породы по генам TG5, SCD1 и LEP для повышения эффективности производства молока. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2023; 254(2): 108–114. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_254_108
25. Зиннатова Ф.Ф., Якупов Т.Р., Зиннатова Ф.Ф., Ахметов Т.М., Овсыанников А.П., Чевтаева Н.Д. Взаимосвязь генов LEP, TG5 и SCD1 с жирномолочностью коров. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2022; 250(2): 85–92. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_250_85
9. Krupin E.O., Shakirov Sh.K., Tagirov M.Sh. Dynamics of the physico-chemical composition and milk productivity of cows with balanced feeding depending on genotype. *Agrarian Journal of Upper Volga region*. 2018; (2): 39–44 (In Russian). <https://elibrary.ru/oagpmj>
10. Krupin E.O., Tagirov M.Sh. Biochemical indices of the protein and hygiode exchange of substances in cows of various genotypes. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2018; 233(1): 83–88 (In Russian). <https://elibrary.ru/ytjrzd>
11. Zhang L.P., Gan Q.F., Hou G.Y., Gao H.J., Li J.Y., Xu S.Z. Investigation of TG gene variants and their effects on growth, carcass composition, and meat quality traits in Chinese steers. *Genetics and Molecular Research*. 2015; 14(2): 5320–5326. <https://doi.org/10.4238/2015.May.22.2>
12. Yulmetyeva Yu.R., Shakirov Sh.K. The association of the thyroglobulin gene with the productive longevity of dairy cattle. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2020; (1): 14–19 (In Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.65.47.004>
13. Davletova L.F., Valitov F.R. Black-motley breed cow's economic-useful signs with different thyroglobulin's genotypes. *Modern directions of innovative development of veterinary medicine, animal science and biology. Proceedings of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation dedicated to the memory of Doctor of Veterinary Sciences, Professor Kh.Kh. Abdyshev (to the 120th anniversary of his birth)*. Ufa: Bashkir State Agrarian University. 2015; 234–237 (In Russian). <https://elibrary.ru/vjtawd>
14. Zinnatov F.F., Shamsova A.R., Zinnatova F.F., Akhmetov T.M., Safiullina A.R. Interrelation of polymorphism of lipid metabolism genes (LEP, TG5) with milk production of cattle. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2017; 231(3): 72–75 (In Russian). <https://elibrary.ru/wteccaw>
15. Carvalho T.D. de et al. Association of polymorphisms in the leptin and thyroglobulin genes with meat quality and carcass traits in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2012; 41(10): 2162–2168. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012001000004>
16. Zinnatov F.F. Use of DNA analysis in identification of polymorphic variants of lipid and protein metabolism genes in cows. *Issues of legal regulation in veterinary medicine*. 2021; (1): 96–97 (In Russian). <https://elibrary.ru/ssktds>
17. Davletova L.F., Valitov F.R. Frequency of occurrence of allelic options of thyroglobulin gene of cows of Black-and-White breed. *The use and effectiveness of modern breeding and genetic methods in animal husbandry. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Persianovsky: Don State Agrarian University. 2015; 23–26 (In Russian). <https://elibrary.ru/voypcd>
18. Davletova L.F., Valitov F.F., Ganieva I.N. Effect of thyroglobulin gene polymorphism on milk yield and technological properties of Black-and-White cows. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2016; (4): 33–37 (In Russian). <https://elibrary.ru/xbdbokx>
19. Valitov F.R. Association of polymorphic variants of somatotropin and thyroglobulin genes with milk yields of Black-Spotted cows. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018; (4): 284–287 (In Russian). <https://elibrary.ru/xykvbj>
20. Lemyakin A.D., Tyazhenchenko A.N., Chaitsky A.A., Shchegolev P.O., Sabetova K.D. Complex effect of somatotropin and thyroglobulin genes polymorphism on cattle dairy productivity. *Genetic resources of animal husbandry and crop production: the state and prospects in the field of agriculture. Collection of scientific papers of the International scientific and practical conference*. Makhachkala: ALEF. 2022; 267–275 (In Russian). <https://elibrary.ru/tahrzb>
21. Tyulkin S.V., Gilmanov Kh.Kh., Rzhanova I.V., Vafin R.R., Shaydullin R.R. Yield and milk quality of cows with different genotypes of thyroglobulin. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2019; 240(4): 187–190 (In Russian). <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-240-4-187-191>
22. Larionova P.V., Gutchet M., Zinovieva N.A., Brem G. Genetic polymorphism of candidate genes for meat marbling and bovine lipid metabolism. *Modern technological and breeding aspects of the development of animal husbandry in Russia. Proceedings of III International scientific and practical conference*. Dubrovitsy. 2005; 63(2): 164–166 (In Russian).
23. Kharzinova V.R., Zinovieva N.A., Gladyr E.A. Polymorphism of DNA-markers DGAT1, TG5 and GH in Black-and-White cows of various lines and its effect on milk productivity traits. *Problems of Productive Animal Biology*. 2011; (1): 73–77 (In Russian). <https://elibrary.ru/nodtsh>
24. Zinnatov F.F. et al. Application of DNA Technologies in testing the TG5, SCD1, LEP genes of Holstein cows to increase the efficiency of milk production. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2023; 254(2): 108–114 (In Russian). https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_254_108
25. Zinnatov F.F., Yakupov T.R., Zinnatova F.F., Akhmetov T.M., Ovsyannikov A.P., Chevtayeva N.D. Relationship of LEP, TG5, AND SCD1 genes with milk fat in cows. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2022; 250(2): 85–92 (In Russian). https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_250_85

26. Zinnatov F.F. *et al.* Studying the association of polymorphic variants of LEP, TG5, CSN3, LGB genes with signs of dairy productivity of cattle. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. 2020; 11(2): 1428–1432.
27. Беган М.А., Хабибрахманова Я.А., Калашникова Л.А., Труфанов В.Г. Полиморфизм генов лептина (LEP), тиреоглобулина (TG) и бета-казеина (CSN2) у голштинских коров. *Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства*. 2014; 3(7): 487–491. <https://elibrary.ru/tbiwft>
28. Кузнецов В.М. F-статистики Райта: оценка и интерпретация. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2014; (4): 80–104. <https://elibrary.ru/tfrdmn>
29. Зиннатова Ф.Ф., Зиннатов Ф.Ф. Роль генов липидного обмена (DGAT1, TG5) в улучшении хозяйственно полезных признаков крупного рогатого скота. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2014; 219(3): 164–168. <https://elibrary.ru/svrrav>
30. Шичкин Г.И. и др. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2022 г.). Лесные Поляны: Научно-исследовательский всероссийский институт племенного дела. 2023; 255. ISBN 978-5-87958-436-3 <https://elibrary.ru/wcvfpb>

26. Zinnatov F.F. *et al.* Studying the association of polymorphic variants of LEP, TG5, CSN3, LGB genes with signs of dairy productivity of cattle. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. 2020; 11(2): 1428–1432.
27. Began M.A., Khabibrakhmanova Ya.A., Kalashnikova L.A., Trufanov V.G. Polymorphism of leptin (LEP), thyroglobulin (TG) and beta-casein (CSN2) genes in Holstein cows. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*. 2014; 3(7): 487–491 (In Russian). <https://elibrary.ru/tbiwft>
28. Kuznetsov V.M. Wright's F-statistics: evaluation and interpretation. *Problems of Productive Animal Biology*. 2014; (4): 80–104 (In Russian). <https://elibrary.ru/tfrdmn>
29. Zinnatova F.F., Zinnatov F.F. Role of lipid metabolism genes (DGAT1, TG5) in improving economically valuable traits cattle. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2014; 219(3): 164–168 (In Russian). <https://elibrary.ru/svrrav>
30. Shichkin G.I. *et al.* Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2022). Lesnye Polyany: All-Russian Scientific Research Institute of Breeding. 2023; 255 (In Russian). ISBN 978-5-87958-436-3 <https://elibrary.ru/wcvfpb>

ОБ АВТОРАХ

Александр Дмитриевич Лемякин

селекционер-зоотехник
whichspecial@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Лада Сергеевна Баданина

магистрант
lada.badanina2017@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

Алексей Александрович Чаицкий

кандидат биологических наук, преподаватель
aleksei_chaitskiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Ксения Дмитриевна Сабетова

кандидат ветеринарных наук, заведующая лабораторией генетики и ДНК-технологий
kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Павел Олегович Щеголев

кандидат сельскохозяйственных наук, селекционер-зоотехник
bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Костромская государственная сельскохозяйственная академия
ул. Учебный городок, 34, Караваево, Кострома, 156530, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Dmitrievich Lemyakin

Breeder-animal Technician
whichspecial@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Lada Sergeevna Badanina

Undergraduate Student
lada.badanina2017@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

Alexey Alexandrovich Chaitskiy

Candidate of Biological Sciences, Lecturer
aleksei_chaitskiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Kseniya Dmitrievna Sabetova

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies
kseniyasabetova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>

Pavel Olegovich Shchegolev

Candidate of Agricultural Sciences, Breeder-zootechnician
bigboy25@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Kostroma State Agricultural Academy,
34 Uchebny gorodok Str., Karavaevo, Kostroma, 156530, Russia