

УДК 636.2.034

DOI 10.30914/2411-9687-2022-8-1-25-34

## ПОЛИМОРФНЫЕ ВАРИАНТЫ ГЕНОВ БЕЛКОВОГО ОБМЕНА У ГОЛШТИНСКИХ КОРОВ

Ф. Ф. Зиннатов<sup>1</sup>, Т. Р. Якупов<sup>1</sup>, Ф. Ф. Зиннатова<sup>2</sup>, Р. Р. Хисамов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана,  
г. Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –  
обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация. Введение.** Молекулярная генетика и ее ДНК-технологии позволяют определять вариации генов, ответственных за хозяйственно-ценные качества молочного поголовья. Идентификация генетического разнообразия даст возможность молочному животноводству особый вариант подхода в нелегком труде животноводов. Превосходство молекулярного подхода заключается в том, что он позволяет идентифицировать ДНК-профиль особи еще в раннем возрасте, и это очень облегчит работу селекционеров. В соответствии с этим, для увеличения эффективности ведения племенной работы нами была поставлена **цель** – провести ДНК-анализ полиморфных вариантов генов белкового обмена у животных, таких как: (CSN3) каппа-казеин, бета-лактоглобулин (BLG) и пролактин (PRL), а также выявить взаимосвязь их полиморфных вариантов с признаками молочной продуктивности. Для решения поставленной цели были отобраны пробы ДНК от группы из 69 голов коров. **В результате** проведенных исследований были идентифицированы рекордсмены среди исследуемого поголовья животных (генотипы CSN3<sup>BB</sup>, BLG<sup>AB</sup>, PRL<sup>AA</sup>), которые отличались значительным превосходством по основным показателям ценности молока среди исследованных дойных коров (белок и жир). При комплексном исследовании генотипов генов CSN3, BLG и PRL с молочной продуктивностью коров было выявлено 15 различных комплексных генотипов, и наиболее распространенным из них сочетания генотипов: PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>AA</sup>, PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>AB</sup>, PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>BB</sup>, и PRL<sup>AB</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>BB</sup>. Исследованиями показано, что коровы с комплексным генотипом PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>BB</sup>BLG<sup>AB</sup> имеют самые высокие удои молока (7424,5 кг), молочного белка (4,1 %), жира (349 кг) и протеина (304,9 кг). Принято решение о включении вновь выявленных животных-носителей желаемых сложных комплексных генотипов в племенное ядро для дальнейшего получения высокопродуктивного потомства, что позволит повысить эффективность молочного скотоводства и уровень рентабельности производства молока.

**Ключевые слова:** ДНК, белкомолочность, бета-лактоглобулин, гены, коровы, каппа-казеин, молочная продуктивность, ПЦР, пролактин

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Зиннатов Ф. Ф., Якупов Т. Р., Зиннатова Ф. Ф., Хисамов Р. Р. Полиморфные варианты генов белкового обмена у голштинских коров // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2022. Т. 8. № 1. С. 25–34. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2022-8-1-25-34>

## POLYMORPHIC VARIANTS OF PROTEIN METABOLISM GENES IN HOLSTEIN COWS

F. F. Zinnatov<sup>1</sup>, T. R. Yakupov<sup>1</sup>, F. F. Zinnatova<sup>2</sup>, R. R. Khisamov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract. Introduction.** Molecular genetics and its achievements make it possible to determine the variations of genes responsible for the economically valuable qualities of the dairy herd. The discovery of genetic diversity will enable dairy farming to take a different approach to the work of livestock breeders. The advantage of the molecular approach lies in the fact that we can identify the DNA profile of an individual at an early age, and this will greatly facilitate the work of breeders. **Purpose.** In accordance with this, in order to increase the efficiency of breeding work, we set a goal – to conduct a DNA analysis of polymorphic variants of protein metabolism genes in animals, such as: (CSN3) kappa-casein, beta-lactoglobulin (BLG) and prolactin (PRL), as well as to identify the relationship of their polymorphic variants with signs milk productivity. To achieve this goal, DNA samples were taken from a group of 69 cows. **Research results.** As a result of the studies carried out to identify the relationship of the polymorphism of the

kappa-casein gene (CSN3) with milk productivity, the number of animals of the CSN3<sup>BB</sup> genotype with a significant superiority in the main indicators of milk value among the studied dairy cows (protein and fat) was identified. In a comprehensive study of the genotypes of the CSN3, BLG and PRL genes with milk productivity of cows, 15 different complex genotypes were identified, and the most common of them are combinations of genotypes: PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>AA</sup>, PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>AB</sup>, PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>BB</sup>, and PRL<sup>AB</sup>CSN3<sup>AA</sup>BLG<sup>BB</sup>. The frequency of their occurrence was as follows: 12 %, 15 %, 16 % and 12 %, respectively. The analysis of the conducted studies revealed that the record milk protein (4.1 %), protein yield (304.9) and fat (349 kg) and at the same time the highest milk yield among the studied livestock (7424.5 kg) belongs to cows with the PRL<sup>AA</sup>CSN3<sup>BB</sup>BLG<sup>AB</sup> genotype. It was decided to include newly identified animals-carriers of the desired complex complex genotypes in the breeding core for further obtaining highly productive offspring, which will increase the efficiency of dairy cattle breeding and the level of profitability of milk production.

**Keywords:** DNA, milk protein, beta-lactoglobulin, genes, cows, kappa-casein, milk productivity, PCR, prolactin

The authors declare no conflict of interests.

**For citation:** Zinnatov F. F., Yakupov T. R., Zinnatova F. F., Khisamov R. R. Polymorphic variants of protein metabolism genes in Holstein cows. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 25–34. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2022-8-1-25-34>

## Введение

Молоко – это самый ценный продукт, секретируемый молочными железами млекопитающих в целях вскармливания потомства и употребляемый в пищу человеком. Усвояемость молока и его компонентов составляет порядка 95–98 %. В связи с таким ощутимым значением молочного скотоводства для человека, необходимо дальнейшее развитие отрасли: улучшение как количественных, так и качественных показателей молочной продуктивности коров, а также создание пород скота с высокой продуктивностью и приспособленностью к определенным природно-климатическим условиям. Все это стало возможно благодаря использованию генетических ресурсов и передовых технологий в области ДНК-технологий, молекулярной генетики, биоинженерии и других бионаук [4].

Очень важным моментом для достижения повышения конкурентоспособности молочного животноводства в регионах является проблема привлекательного качества молока как сырья для молочной промышленности, АПК, особенно по содержанию белка. На территории России имеются молочные комплексы – со стадом с низкими результатами белковости – 2,8–3,2 %, когда в тех же зарубежных молочно-товарных фермах этот показатель достиг нормы в 3,3–3,6 % [2].

Возникает необходимость введения существенных изменений в программах племенной работы с молочным дойным скотом в сторону увеличения показателей по белку. Интенсификация по возрастанию поголовья коров, несущих в своем геноме хозяйственно-полезные признаки, приведет к подьему не только молочной продуктивности животных, но и качественных показателей молока, таких как белковомолочность [5; 7].

Аллели нами выбранных генов молочного белка можно рассматривать как потенциальные маркеры молочной продуктивности. К примеру, ген каппа-казеина (CSN3) связан с содержанием молочного белка и технологическими свойствами молока. Аллель CSN3<sup>BB</sup> связан с более высоким содержанием белка в молоке. Ген бета-лактоглобулина (BLG, LGB) отвечает за содержание молочных белков и показатель ценности молока. Вариант LGB<sup>AB</sup> связан с высоким процентом жира, высоким содержанием казеинового белка в молоке, а вариант BLG<sup>AA</sup> характеризуется высоким содержанием сывороточного белка. Ген пролактина (PRL) участвует в дифференцировке эпителиальных клеток молочных желез, регуляции производства организмом молочного белка и синтеза липидов, поддержании лактации и инициации [1].

**Целью** настоящей работы являлось выявить полиморфные варианты таких генов, как (CSN3) каппа-казеин, бета-лактоглобулин (BLG) и пролактин (PRL), а также взаимосвязь их полиморфных вариантов с признаками молочной продуктивности.

**Материалы и методы**

Для исследования и оценки полиморфного разнообразия генов, несущих хозяйственно-полезные

признаки, были отобраны племенные коровы СХПК «Племенной завод им. Ленина» Атнинского района Республики Татарстан в количестве 69 голов. Нуклеиновые кислоты (ДНК) экстрагировали из цельной крови коров в объеме по 100 мкл с использованием тестового набора реактивов по протоколу производителя (AmpliPrime DNA-sorb-B, Россия). Для амплификации изучаемых нами генов были использованы праймеры производства «СибЭнзим» (рис. 1).

Далее после завершения проведенной амплификации каждый ПЦР-амплификат расщепляли рестриктазами производства «СибЭнзим» Rsa I (на 1 образец, 5 ед.) для гена PRL и для гена CSN3 – Hinf I (на 1 образец, 10 ед.). Подвергали гидролизу в течение следующих 16 часов при 37 °С. При идентификации полиморфизма исследуемого гена бета-лактоглобулина – BLG по вариантам А и В 20 мкл тестируемой ПЦР-пробы расщепляли 10-ю ед. рестриктазы HaeIII от «СибЭнзим», согласно рекомендации протокола производителя.

Праймеры для амплификации фрагментов гена CSN3  
JK5: 5'-ATCATTTATGGCCATTCCACCAAAG-3',  
JK3: 5'-GCCCATTTCCGCTTCTCTGTAAACAGA-3'.  
Праймеры для амплификации фрагментов гена BLG:  
BLG1: 5'-GTCCTTGTGCTGGACACCGACTACA-3',  
BLG2: 5'-CAGGACACCGGCTCCCGGTATATGA-3'.  
Праймеры для амплификации фрагментов гена PRL:  
PRL1: 5'-CGAGTCCTTATGAGCTTGATTCTT-3',  
PRL2: 5'-GCCTCCAGAAAGTC GTTTGTTTTTC-3'.

Рис. 1. Праймеры для амплификации исследуемых генов / Fig. 1. Primers for amplification of the studied genes

Визуализацию фрагментов гена пролактина идентифицировали путем электрофоретического разделения продуктов рестрикции в 2,6 %-м агарозном геле в присутствии 5 мкл 10 %-го бромистого этидия. В дальнейшем 2,4 %-й агарозный гель использовали для генов каппа-казеина и бета-лактоглобулина.

### Результаты исследований

В результате анализа ДНК, полученных из крови, проведенного методом ПЦР-ПДРФ с применением пар праймеров нами получены специфиче-

ские фрагменты размером в 266-п.н. гена CSN3. После дальнейшего проведения гидролиза с помощью рестриктазы HinfI – и проведения электрофореза продуктов (фрагментов) амплификации в агарозном геле гена каппа-казеина испытуемых коров идентифицировано было два следующих аллеля А и В и, соответственно, три генотипа CSN3AA, CSN3AB и CSN3BB. Получены нами фрагменты гомозиготного генотипа AA – 134–132/84 п.н., гетерозиготного генотипа АВ – 266/134–132/84 п.н. и гомозиготного генотипа ВВ – 266/84 п.н. (рис. 2).

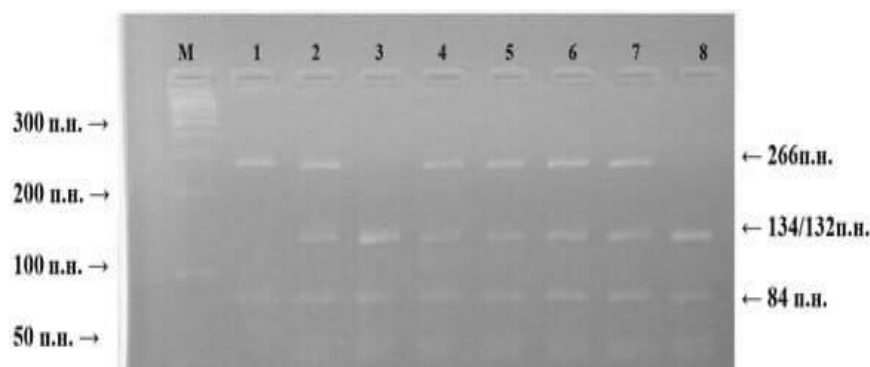


Рис. 2. Результаты электрофореза ПЦР-ПДРФ-анализа гена CSN3 /  
Fig. 2. Electrophoresis results of PCR-RFLP analysis of the CSN3 gene

Обозначения: генотип AA 134–132/84 п.н. (лунки – 3, 8), гетерозиготный генотип АВ – 266/134–132/84 п.н. (лунки – 2, 4, 5, 6, 7), гомозиготный генотип ВВ – 266/84 п.н. (лунка – 1), ДНК-маркер (лунка – М)

Встречаемость гомозиготного генотипа АА в итоге составила 61 % (42 головы), гетерозиготного генотипа АВ – 35 % (24 головы) и гомозиготного генотипа ВВ – 4 % (3 головы). Частота аллеля А – 0,8 и аллеля В – 0,2.

Идентифицировано влияние полиморфизма гена каппа-казеина на удой 69 коров, показано, что коровы с генотипом CSN3BB имели самый высокий удой, составив в среднем 7328,9 кг молока. Удой коров с гомозиготным генотипом CSN3AA был на уровне 4839,6 кг. Самый наименьший удой отмечен у коров с гетерозиготным генотипом CSN3AB, и он составлял в среднем 4820,9 кг.

Большое содержание белка в молоке отмечено у коров с генотипом гомозиготным CSN3BB –

3,75 %. На среднем месте была группа коров с генотипом гетерозиготным – CSN3AB – 3,24 %. Самое минимальное содержание белка в молоке у коров с генотипом гомозиготным CSN3AA, который составил – 3,2 % (табл. 1).

На основании полученных данных, лучшими количественными показателями молочной продуктивности обладали коровы гомозиготного генотипа CSN3BB, и удой коров этой группы в среднем составил 7328,9 кг, который на 2508 кг больше, чем продуктивность у исследуемых нами коров гетерозиготного генотипа CSN3AB. Коровы этого генотипа также лидировали по молочному жиру (4,46 %), молочному белку (3,75 %) и, соответственно, выходу белка с молочным жиром.

Таблица 1 / Table 1

Молочная продуктивность коров по генам CSN3, BLG и PRL /  
Dairy productivity of cows by genes CSN3, BLG and PRL

Генотип CSN3 / Genotype CSN3	Показатели молочной продуктивности коров (CSN3) / Indicators of milk productivity of cows (CSN3)				
	Удой, кг / Milk yield, kg	Жирность, % / Fat content, %	Белок, % / Protein, %	Массовая доля жира, кг / Mass fraction of fat, kg	Массовая доля белка, кг / Mass frac- tion of protein, kg
AA (n=42)	4839,6±162,8	4,14±0,13	3,2±0,04	199,3±8,8	154,5±5,1
AB(n=24)	4820,9±184,9	4,25±0,1	3,24±0,07	206,6±10,2	155,2±5,7
BB(n=3)	7328,9±138,5	4,46±0,5	3,75±0,45	326,9±40,5	275,8±37,8
Генотип BLG / Genotype BLG	Показатели молочной продуктивности коров (BLG) / Indicators of milk productivity of cows (BLG)				
	Удой, кг / Milk yield, kg	Жирность, % / Fat content, %	Белок, % / Protein, %	Массовая доля жира, кг / Mass fraction of fat, kg	Массовая доля белка, кг / Mass frac- tion of protein, kg
AA (n=15)	4901,5±305,4	4,28±0,14	3,27±0,1	209,8±13,2	160,3±8,9
AB(n=26)	5139,5±246,9	3,99±0,15	3,3±0,06	205,7±13,4	170,8±10,4
BB(n=28)	4778,7±175,4	4,34±0,16	3,17±0,05	208,3±11,2	150,6±5,1
Генотип PRL / Genotype PRL	Показатели молочной продуктивности коров (PRL) / Indicators of milk productivity of cows (PRL)				
	Удой, кг / Milk yield, kg	Жирность, % / Fat content, %	Белок, % / Protein, %	Массовая доля жира, кг / Mass fraction of fat, kg	Массовая доля белка, кг / Mass frac- tion of protein, kg
AA (n=46)	4960,9±175,6	4,25±0,11	3,25±0,05	211,5±9,5	161,7±6,7
AB(n=22)	4827,3±186,2	4,11±0,15	3,22±0,06	198,8±10,9	154,6±5,6
BB(n=1)	6549,2	3,2	3,07	209,6	201,1

Коровы с гомозиготным генотипом CSN3BB имеют на 0,32 % более высокое содержание жира и на 14,7 % более высокое содержание белка, чем коровы с генотипом CSN3AA.

Кроме того, последующий анализ продуктов копий ДНК лейкоцитов исследуемых коров по гену BLG в ПЦР – ПДРФ с использованием горизонтального электрофореза показал специфические фрагменты длиной 153 п.н., два аллеля бета-лактоглобулина, А и В. Идентифицировано было

три генотипа, BLGAA, BLGAB и BLGBB. Гомозиготный генотип AA соответствует рестриктам – 153/109 п.н., гетерозиготный генотип АВ фрагментам – 153/109/79 п.н., гомозиготный генотип ВВ равен кусочкам – 109/79 п.н. (рис. 3).

Встречаемость исследуемого гомозиготного генотипа АА составила – 22 %, генотипа гетерозиготного АВ – 38 %, генотипа гомозиготного ВВ – 40 %. Частота встречаемости аллеля А – 0,4, аллеля В – 0,6.

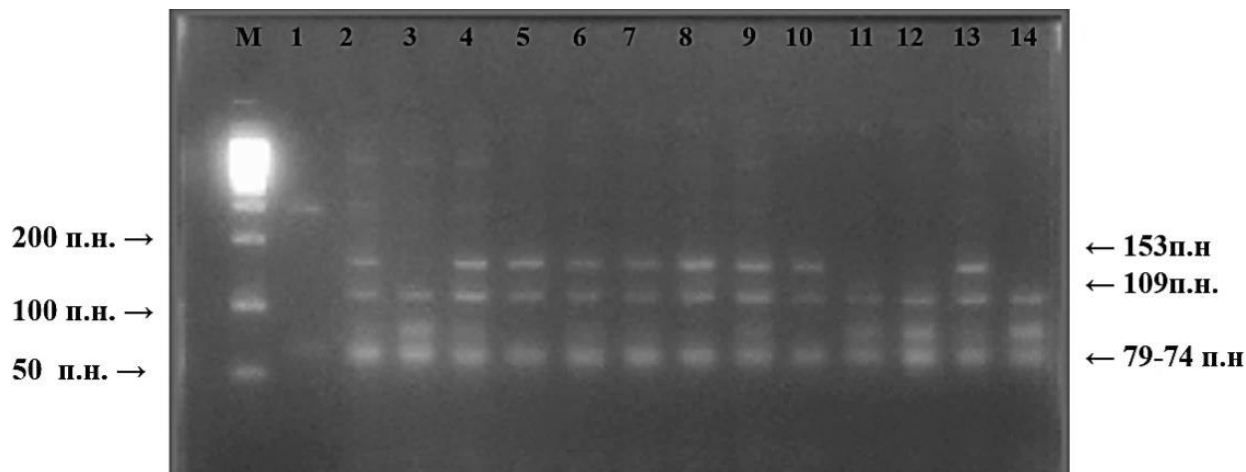


Рис. 3. Результаты электрофореза ПЦР–ПДРФ-анализа гена BLG /  
Fig. 3. Electrophoresis results of PCR–RFLP analysis of the BLG gene

Обозначения: Гомозиготный генотип АА – 153/109 п.н. (лунки – 5, 7, 8), гетерозиготный генотип АВ фрагментам – 153/109/79 п.н. (лунки – 2, 4, 6, 9, 10, 13), гомозиготный генотип ВВ равен кусочкам – 109/79 п.н. (лунки – 3, 11, 14), М – ДНК-маркеры

Изучая влияние полиморфизма гена бета-лактоглобулина на молочную продуктивность коров, было показано и идентифицировано, что самые высокие удои отмечены у коров с генотипом гетерозиготным BLGAB, их удои составлял в среднем 5139,5 кг. Коровы с генотипом гомозиготным BLGAA имеют удои молока, равный 4901,5 кг. Самые низкие удои отмечены у коров с гомозиготным генотипом ВGBB, которые в среднем давали 4778,7 кг молока. Наибольшее содержание белка в молоке зафиксировано у коров с генотипом BLGAB – 3,3 %, среднее место по содержанию белка в молоке было у коров с генотипом BLGAA – 3,27 %, а самое наименьшее содержание белка было у коров с генотипом гомозиготным BLGBB – 3,17 % (табл. 1).

Судя по результатам, представленным в таблице, коровы с генотипом гетерозиготным BLGAB имели лучшие количественные показатели молочной продуктивности. Удои этих коров в среднем составили 5139,5 кг молока, что

на 360,8 кг больше, чем у коров с гомозиготным генотипом ВLBVB. Коровы с данным генотипом также имели высокое содержание белка в молоке – 3,3 % и самый высокий выход белка – 170,8 кг. По содержанию жира в молоке лидировали коровы с генотипом гомозиготным BLGBB – 4,34 %, но удои и содержание белка в молоке самые низкие. По выходу жира лидируют коровы с гомозиготным генотипом BLGAA – 209,8 кг. Коровы с гомозиготным генотипом BLGAB на 4 % превосходили исследуемых нами особей с генотипом BLGBB по содержанию молочного белка.

Затем были получены результаты – специфические фрагменты гена PRL длиной 156 пар оснований. После дальнейшего ПДРФ-анализа (гидролиз) продуктов амплификации ферментом RsaI и электрофореза фрагментов в агарозном геле гена пролактина исследуемых коров были идентифицированы два аллеля А и В и, соответственно, три генотипа: PRLAA, PRLAB

и PRLBB. Фрагменты размером 156 п.н. соответствует генотипу гомозиготному AA, 156/82 п.н. –

генотипу гетерозиготному AB и 82/74 п.н. – генотипу гомозиготному BB (рис. 4).

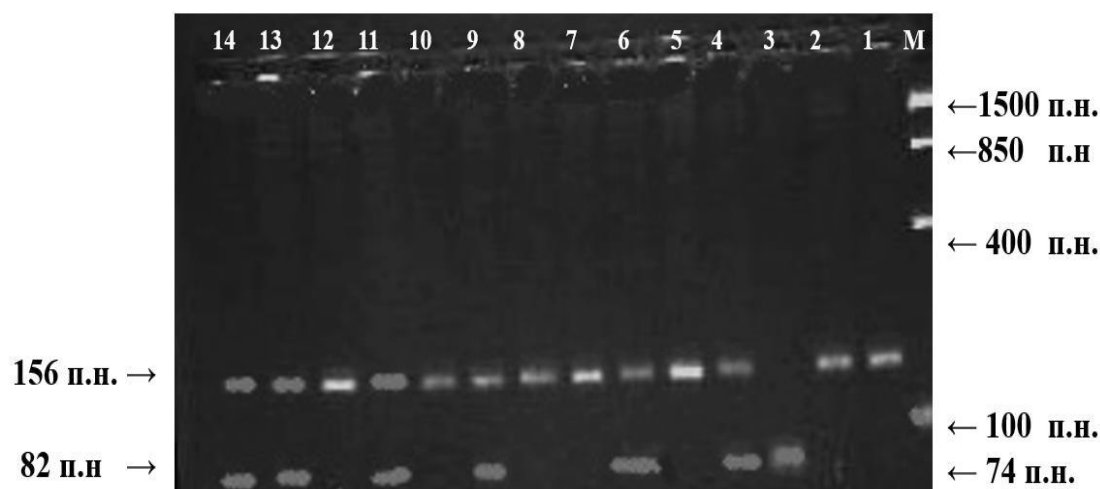


Рис. 4. Результаты электрофореза ПЦР-ПДРФ-анализа гена PRL /  
Fig. 4. Electrophoresis results of PCR-RFLP analysis of the PRL gene

Обозначения: Гомозиготный генотип AA – 156 п.н. (лунки – 1, 2, 5, 7, 8, 10, 12), гетерозиготный генотип AB – 156/82 п.н. (лунки – 4, 6, 9, 11, 13, 14), гомозиготный генотип BB – 82/74 п.н., М – ДНК-маркеры

Встречаемость исследованного нами гомозиготного генотипа AA составила 67 % (46 голов), гетерозиготного генотипа AB – 32 % (22 головы), гомозиготного генотипа BB – 1 % (1 голова). Частота встречаемости аллеля А – 0,8, аллеля В – 0,2.

Изучено влияние полиморфизма гена PRL на молочную продуктивность у 69 исследованных коров, где было показано, что коровы, имеющие гомозиготный генотип BB, характеризовались приличными удоями – 6549,2 кг молока. Коровы с гомозиготным генотипом AA имели средний удой – 4960,9 кг. Очень маленький удой наблюдался у коров с генотипом гетерозиготным AB – 4827,3 кг.

Гомозиготный генотип AA показал большое содержание белка в молоке, было зафиксировано 3,25 %, на среднем уровне был результат у коров с генотипом AB – 3,22 %, и малое содержание белка в молоке у исследованных коров с генотипом BB – 3,07 % (табл. 1).

Выявлено, что коровы голштинской породы с генотипом BB имеют самую наивысшую молочную продуктивность – 6549,2 кг молока. Удой коров этой группы на 1721,9 кг выше, чем у коров с гетерозиготным аллелем AB. Однако наличие содержания белка у группы коров генотипа BB с высокими удоями была наименьшей, по сравнению с другими группами (3,07 %). Выход протеина у коров этой группы, имеющей самые высокие удои,

также высок – 201,1 кг. Коровы с гомозиготным генотипом AA имели наибольшую жирность молока 4,25 %, белковость молока 3,25 % и лидировали по массовой доле жира – 211,5 кг.

Продуктивность коров, содержание жира и белка в молоке являются результатом сложного комплексного сочетания генотипов.

Далее была изучена имеющаяся в наличии среди исследованных коров встречаемость комплексных генотипов по исследуемым генам. Встречаемость сочетания комплексных генотипов среди исследованных 69 голов дойных коров была выявлена в 15 различных вариациях (табл. 2): PRLAACSN3AABLGAA, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB, PRLAACSN3AABLGAB.

В результате установлено, что исследуемые коровы с комплексным генотипом PRLAACSN3BBBLGAB имели самые наилучшие удои, их удой составил 7424,5 кг молока. Коровы с данным комплексным генотипом характеризовались высоким содержанием белка – 4,1 %, по выходу жира и белка – 349 кг и 304,9 кг. Таких коров 3 % от изученного количества.

Таблица 2 / Table 2

Молочная продуктивность коров в зависимости от комплексных генотипов /  
Milk productivity of cows depending on complex genotypes

Генотип / Genotype	Количество голов / Quantity		Показатели молочной продуктивности / Milk productivity indicators				
	голов / of heads	%	Удой, кг / Milk yield, kg	Жир, % / Fat, %	Белок, % / Protein, %	Массовая доля жира, кг / Mass fraction of fat, kg	Массовая доля белка, кг / Mass fraction of pro- tein, kg
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>AA</sup> BLG <sup>AA</sup>	8	11,6	4895,7±440,9	4,49±0,16	3,12±0,06	219,8±17,6	152,7±13,6
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>AA</sup> BLG <sup>AB</sup>	10	14,5	4985,8±355,9	3,77±0,3	3,25±0,09	187,9±14,5	162,0±12,8
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>AA</sup> BLG <sup>BB</sup>	11	15,9	4570,5±261,9	4,47±0,3	3,17±0,06	208,6±23,5	144,9±7,6
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>AB</sup> BLG <sup>AA</sup>	4	5,8	4957,1±521,9	4,34±0,1	3,6±0,3	217,6±26,5	174,5±9,3
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>AB</sup> BLG <sup>AB</sup>	6	8,8	4684,1±703,9	4,25±0,2	3,22±0,1	202,8±34,8	148,5±20,8
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>AB</sup> BLG <sup>BB</sup>	4	5,8	4745,7±432,7	4,14±0,2	3,1±0,1	196,3±18,4	146,6±11,1
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>BB</sup> BLG <sup>AB</sup>	2	3	7424,5±148,4	4,71±0,9	4,1±0,26	349,0±60,2	304,9±25,5
PRL <sup>AA</sup> CSN3 <sup>BB</sup> BLG <sup>BB</sup>	1	1,4	7137,9	3,96	3,05	282,6	217,7
PRL <sup>AB</sup> CSN3 <sup>AA</sup> BLG <sup>AA</sup>	1	1,4	3010,4	3,32	3,5	99,9	105,4
PRL <sup>AB</sup> CSN3 <sup>AA</sup> BLG <sup>AB</sup>	3	4,4	5744,9±475,5	4,0±0,5	3,15±0,1	230,4±40,8	180,9±16,4
PRL <sup>AB</sup> CSN3 <sup>AA</sup> BLG <sup>BB</sup>	8	11,6	4646,2±376,9	4,0±0,3	3,27±0,1	187,1±18,5	150,5±10,5
PRL <sup>AB</sup> CSN3 <sup>AB</sup> BLG <sup>AA</sup>	1	1,4	4968,4	4,2	3,21	208,7	159,5
PRL <sup>AB</sup> CSN3 <sup>AB</sup> BLG <sup>AB</sup>	5	7,2	4715,9±197,3	3,8±0,3	3,26±0,1	180,6±16,5	154,1±8,5
PRL <sup>AB</sup> CSN3 <sup>AB</sup> BLG <sup>BB</sup>	4	5,8	5059,5±214,8	4,8±0,13	3,06±0,2	243,3±12,4	155,1±12,2
PRL <sup>BB</sup> CSN3 <sup>AA</sup> BLG <sup>AA</sup>	1	1,4	6549,2	3,2	3,07	209,5	201,1

**Заключение**

В результате сравнительного анализа с использованием современных инновационных молекулярных методов ДНК-диагностики показано, что коровы с комплексным генотипом PRLAACSН3BBBLGAB имеют самые высокие удои молока (7424,5 кг), молочного белка

(4,1 %), жира (349 кг) и протеина (304,9 кг). Принято решение о включении вновь выявленных животных-носителей желаемых сложных комплексных генотипов в племенное ядро для дальнейшего получения высокопродуктивного потомства, что позволит повысить уровень рентабельности производства молока.

1. Долматова И. Ю., Ильясов А. Г. Полиморфизм гена гормона роста крупного рогатого скота в связи с молочной продуктивностью // Генетика. 2011. Т. 47. № 6. С. 814–820. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16455343> (дата обращения: 21.12.2021).

2. Зиннатова Ф. Ф., Зиннатов Ф. Ф., Шакиров Ш. К. Корреляция между основными признаками молочной продуктивности крупного рогатого скота в зависимости от генотипа // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2016. № 2. С. 111–114. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26154792> (дата обращения: 21.12.2021).

3. Зиннатова Ф. Ф., Шакиров Ш. К., Алимов А. М., Зиннатов Ф. Ф. Роль генов-маркеров ESRF18/FUT1, MC4R, ESR, RYR1 в селекции свиней // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 3. С. 188–191. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24283135> (дата обращения: 14.02.2022).

4. Иванов Е. А., Иванова О. В., Терешенко В. А., Филиппев М. М. Увеличение молочной продуктивности коров // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VI-й Международной научно-практической конференции. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет. 2017. С. 158–161. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30313279> (дата обращения: 08.02.2022).
5. Михалюк А. Н., Танана Л. А., Епишко О. А. Влияние генов пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) на показателя молочной продуктивности коров высокоголландизированной белорусской черно-пестрой породы // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2021. Т. 657. № 2. С. 122–127. URL: <https://repo.vsavm.by/handle/123456789/14065> (дата обращения: 10.02.2022).
6. Позовникова М. В., Сердюк Г. Н., Митрофанова О. В. Ассоциация однонуклеотидных полиморфизмов генов-кандидатов PRL и  $\beta$ -LG с хозяйственно-полезными признаками у коров черно-пестрой породы // Генетика и разведение животных. 2017. № 4. С. 31–36. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32340661> (дата обращения: 13.02.2022).
7. Смоленцев С. Ю. Резистентность у новорожденных телят под влиянием «Гамавита» // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2017. Т. 3. № 1 (9). С. 70–74. URL: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1344> (дата обращения: 07.02.2022).
8. Смоленцев С. Ю., Папуниди Э. К., Юсупова Г. Р., Волков А. Х., Хабибуллин Р. Э. Нормализация иммунитета крупного рогатого скота препаратами «Иммуноферон» и «Риботан» // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 196–199. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22483719> (дата обращения: 09.02.2022).
9. Смоленцев С. Ю., Роженцов А. Л., Александров Ю. А. Влияние лечебно-профилактического иммуноглобулина на показатели резистентности организма коров // Зоотехния. 2010. № 11. С. 20–21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15261480> (дата обращения: 03.02.2022).
10. Селионова М. И., Чижова Л. Н., Суржилова Е. С., Шарко Г. Н., Михайленко Т. Н., Чудновец А. И. Породные особенности аллельного профиля генов, контролирующих молочную продуктивность крупного рогатого скота // Агро-ЗооТехника. 2019. Т. 2. № 1. С. 3. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37154828> (дата обращения: 31.01.2022).
11. Титова С. В. Продуктивное долголетие молочных коров разных генотипов // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». № 2 (2). 2015. С. 52–55. URL: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=962> (дата обращения: 29.01.2022).
12. Ozmen O., Kul S. Investigating the genetic polymorphism in the exon 2 region of ovine beta-lactoglobulin gene and its association with some milk traits // Ankara Univ. Vet. Fak. Derg. 2016. Vol. 63. Pp. 323–328. URL: <https://paperity.org/p/222288444/investigating-the-genetic-polymorphism-in-the-exon-2-region-of-ovine-beta-lactoglobulin> (дата обращения: 27.01.2022).

*Статья поступила в редакцию 17.02.2022 г.; одобрена после рецензирования 23.03.2022 г.; принята к публикации 30.03.2022 г.*

#### Об авторах

##### **Зиннатов Фарит Фатихович**

кандидат биологических наук, доцент, Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана (420029 Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>, [ffzinnatov@mail.ru](mailto:ffzinnatov@mail.ru)

##### **Якупов Талгат Равилович**

доктор ветеринарных наук, профессор, Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана (420029 Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9652-5829>, [talgaty@mail.ru](mailto:talgaty@mail.ru)

##### **Зиннатова Фарида Фатиховна**

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН (420059, Российская Федерация, г. Казань, Оренбургский тракт, д. 48), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2258-9162>, [faridaffz@mail.ru](mailto:faridaffz@mail.ru)

##### **Хисамов Рифат Ринатович**

кандидат биологических наук, доцент, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029 Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8830-1411>, [kgavm@inbox.ru](mailto:kgavm@inbox.ru)

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



1. Dolmatova I.Yu., Ilyasov A. G. Polimorfizm genagormona rosta krupnogo rogatogo skota v svyazi s molochnoi produktivnost'yu [Association of cattle growth hormone gene polymorphism with milk productivity]. *Genetika* = Russian Journal of Genetics, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 814–820. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16455343> (accessed 21.12.2021). (In Russ.).
2. Zinnatova F. F., Zinnatov F. F., Shakirov Sh. K. Korrelyatsiya mezhdu osnovnymi priznakami molochnoy produktivnosti krupnogo rogatogo skota v zavisimosti ot genotipa [The correlation between the main features of milk production in cattle, depending on the genotype]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* = Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine, 2016, no. 2, pp. 111–114. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26154792> (accessed 21.12.2021). (In Russ.).
3. Zinnatova F. F., Shakirov Sh. K., Alimov A. M., Zinnatov F. F. Rol' genov-markerov ESRF18/FUT1, MC4R, ESR, RYR1 v selektsii sviney [The role of marker genes ECRF18 / FUT1, MC4R, ESR, RYR1 in breeding pigs]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* = Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine, 2015, no. 3, pp. 188–191. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24283135> (accessed 14.02.2022). (In Russ.).
4. Ivanov E. A., Ivanova O. V., Tereshchenko V. A., Philip M. M. Uvelichenie molochnoj produktivnosti korov [Increase in dairy efficiency of cows]. *Aktual'nye problem sel'skogo khozyaistva gornyykh territorii: materialy VI-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* = Actual problems of agriculture of mountainous territories: materials of the VI-th International scientific and practical conference, Gorno-Altaysk, Gorno-Altaysk State University Publ., 2017, pp. 158–161. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30313279> (accessed 08.02.2022). (In Russ.).
5. Mikhajluk A. N., Tanana L. A., Epishko O. A. Vliyanie genov prolaktina (PRL) i beta-laktoglobulina (BLG) na pokazateli molochnoi produktivnosti korov vysokogolshтинizirovannoi belorusskoi cherno-pestroi porody [Effect of prolactin (PRL) and beta-lactoglobulin (BLG) genes on dairy performance indicators in the highly holsteinized Belarusian Black-and-white breed]. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny"* = Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine", 2021, vol. 57, no. 2, pp. 122–127. Available at: <https://repo.vsavm.by/handle/123456789/14065> (accessed 10.02.2022). (In Russ.).
6. Pozovnikova M. V., Serdyuk G. N., Mitrofanova O. V. Assotsiatsiya odnonukleotidnykh polimorfizmov genov-kandidatov PRL i  $\beta$ -LG s khozyaistvenno-poleznymi priznakami u korov cherno-pestroi porody [Association of single nucleotide polymorphisms of PRL and  $\beta$ -LG candidate genes with utility characteristics in black-and-white breed cows]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals, 2017, no. 4, pp. 31–36. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32340661> (accessed 13.02.2022). (In Russ.).
7. Smolentsev S. Yu. Rezistentnost' u novorozhdennykh telyat pod vliyaniem "Gamavita" [Resistance in newborn calves under the influence of "Gamavit"]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2017, Vol. 3, no. 1 (9), pp. 70–74. Available at: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1344> (accessed 07.02.2022). (In Russ.).
8. Smolentsev S. Yu., Papunidi E. K., Yusupova G. R., Volkov A. Kh., Khabibullin R. E. Normalizatsiya immuniteta krupnogo gatogo skota preparatami "Immunoferon" i "Ribotan" [Normalization of cattle immunity with "Immunoferon" and "Ribotan" preparations]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* = Bulletin of the Technological University, 2014, Vol. 17, no. 20, pp. 196–199. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22483719> (accessed 09.02.2022). (In Russ.).
9. Smolentsev S. Yu., Rozhentsov AL, Aleksandrov Yu. A. Vliyanie lechebno-profilakticheskogo immunoglobulina na pokazateli rezistentnosti organizma korov [Influence of curative-prophylactic immunoglobulin on cows specific and nonspecific resistance characteristics]. *Zootekhnika* = Zootechniya, 2010, no. 11, pp. 20–21. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15261480> (accessed 03.02.2022). (In Russ.).
10. Selionova M. I., Chizhova L. N., Surzhikova E. S., Sharko G. N., Mikhailenko T. N., Chudnovets A. I. Porodnye osobennosti allelnogo profilya genov, kontroliruyushchikh molochnyuyu produktivnost' krupnogo rogatogo skota [Breed characteristics of the allelic profile of the genes that control milk production in cattle]. *AgroZooTekhnika* = Agricultural and Livestock Technology, 2019, vol. 2, no. 1, pp. 3. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37154828> (accessed 31.01.2022). (In Russ.).
11. Titova S. V. Produktivnoe dolgoletie molochnykh korov raznykh genotipov [Productive longevity of dairy cows of different]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2015, no. 2 (2), pp. 52–55. Available at: <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=962> (accessed 29.01.2022). (In Russ.).
12. Ozmen O., Kul S. Investigating the genetic polymorphism in the exon 2 region of ovine beta-lactoglobulin gene and its association with some milk traits. *Veterinary Journal of Ankara University*, 2016, vol. 63, pp. 323–328. Available at: <https://paperity.org/p/222288444/investigating-the-genetic-polymorphism-in-the-exon-2-region-of-ovine-beta-lactoglobulin> (accessed 27.01.2022). (In Eng.).

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 23.03.2022; accepted for publication 30.03.2022.

**About the authors****Farit F. Zinnatov**

Ph. D. (Biology), Associate Professor, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Siberian Tract, Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>, [ffzinnatov@mail.ru](mailto:ffzinnatov@mail.ru)

**Talgat R. Yakupov**

Dr. Sci. (Veterinary), Professor, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Siberian Tract, Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9652-5829>, [talgaty@mail.ru](mailto:talgaty@mail.ru)

**Farida F. Zinnatova**

Ph. D. (Biology), Leading Researcher, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences (48 Orenburgsky Tract, Kazan 420059, Russian Federation), ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0003-2258-9162>, [faridaffz@mail.ru](mailto:faridaffz@mail.ru)

**Rifat R. Khisamov**

Ph. D. (Biology), Associate Professor, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Siberian Tract, Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3495-2432>, [kgavm@inbox.ru](mailto:kgavm@inbox.ru)

*All authors have read and approved the final manuscript.*