

УДК: 636.082.2:636.034

DOI:10.52419/issn2072-2419.2025.4.517

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА IGF-1 НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И РЕПРОДУКТИВНЫЕ КАЧЕСТВА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Муханина Е.Н.* – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-9299-2104); Шакиров Ш.К. – д-р с.-х. наук, проф., гл. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-3362-0463); Вологин Д.С. – асп., мл. науч. сотр. (ORCID 0009-0009-7473-7893)

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
ФИЦ КазНИЦ РАН

*natysafina@gmail.com

Ключевые слова: ген, аллель, полиморфизм, IGF-1, инсулиноподобный фактор роста-1, скот, удой, мясная продуктивность, воспроизводство.

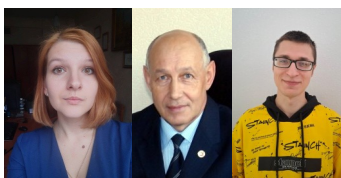
Key words: gene, allele, polymorphism, IGF-1, insulin-like growth factor 1, cattle, yield, meat productivity, reproductive ability.

Финансирование: Статья выполнена в рамках государственного задания: «совершенствование комплексных отечественных технологий селекции, растениеводства и животноводства на основе идентификации высокоценных генотипов, молекулярно-генетических методов, биотехнологий, конструирования адаптивных и высокопродуктивных агробиоценозов и агроэкосистем для производства экологической и функциональной продукции».

Поступила: 14.07.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025



РЕФЕРАТ

В статье представлены результаты комплексного исследования влияния полиморфизма гена инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1) на ключевые хозяйственно-полезные признаки у голштинского скота отечественной селекции в условиях Республики Татарстан. Было идентифицировано три генотипа по изучаемому локусу: AA, AB и BB. Популяция характеризовалась умеренным генетическим разнообразием с частотой аллеля А 0,524 и аллеля В 0,476, а распределение генотипов незначительно отклонялось от равновесия Харди-Вайнберга. Установлено, что гетерозиготный генотип А, ассоциирован с наиболее высокими общими показателями молочной продуктивности. Особи с этим генотипом демонстрировали наивысший удой как за полную лактацию (7399,0 кг), так и за стандартную лактацию (7232,0 кг), что свидетельствует об эффекте гетерозиса. Помимо этого, коровы-гетерозиготы имели наибольшую массовую долю жира в молоке (3,58%) и максимальный выход молочного жира. В то же время, животные с гомозиготным генотипом BB показали выраженные преимущества в репродуктивных качествах. У

них был зафиксирован более высокий коэффициент воспроизводительной способности (0,98) и наименьший процент яловости (11,5%), что указывает на лучшую фертильность и эффективность воспроизводства стада. Важно отметить, что коровы с генотипом ВВ также характеризовались оптимальными санитарно-гигиеническими свойствами молока, что подтверждается достоверно более низким содержанием соматических клеток (277,8 тыс./см³) по сравнению с другими группами. Этот факт свидетельствует о потенциально большей устойчивости к маститам и более высоком качестве молочной продукции. Особи с гомозиготным генотипом АА гена *IGF-1* уступали по большинству изучаемых показателей, демонстрируя наименьшую продолжительность лактации и удои за полную лактацию. Таким образом, гетерозиготный генотип АВ предпочтителен для максимизации надоев и жирномолочности, в то время как генотип ВВ целесообразно использовать для улучшения воспроизводства, здоровья вымени и качества молока.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Инсулиноподобный фактор роста 1 (*IGF-1*) рассматривается как перспективный маркер-кандидат для селекции крупного рогатого скота. Он является основным регулятором постнатального роста, метаболизма и динамики роста и развития крупного рогатого скота и необходим для инициации митогенного размножения и дифференцировки миобластов в скелетных мышцах [2, 6].

Физиологически *IGF-1* стимулирует клеточную пролиферацию и дифференцировку в тканях, в том числе в молочной железе, что улучшает рост и развитие ацинарных клеток, ответственных за синтез молочного секрета, к тому же он регулирует экспрессию множества генов, влияющих на синтез белков, ферментов и рецепторов, необходимых для эффективной лактации. При высоком уровне *IGF-1* наблюдается увеличение удои, содержания жира и белка в молоке, так как стимулируются процессы продуцирования молочных компонентов и рост клеток железы [1, 9].

Кроме молочной продуктивности, *IGF-1* участвует в регуляции репродуктивных функций и является маркером воспроизводительной способности у коров. Он оказывает влияние на созревание и овуляцию яйцеклеток, а также на развитие фолликулов в яичниках, участвует в регуляции гормонов, влияющих на репродуктивный цикл (лютеинизирующий и фолликулостимулирующий гормоны). Повышенный уровень *IGF-1* ассоциируется с улучшенной функцией желтого тела, способствуя поддержанию беременности

и сокращению интервала между отелами [3, 8].

Ген *IGF-1* крупного рогатого локализован на хромосоме 5, его полная длина составляет примерно 5 kb. Ген *IGF-1* включает в себя несколько экзонов, разделенных интронами, а также регуляторные участки в 5'-промоторной и 3'-нетранслируемой области, в которых расположены полиморфизмы, влияющие на экспрессию гена и связанные с продуктивными признаками [7, 9].

Однонуклеотидный полиморфизм (SNP – *IGF897R*) в гене *IGF-1* крупного рогатого скота представляет собой замену тимина на цитозин (Т>С) в позиции 512 п.о., расположенную в 5'-нетранслируемой области перед первым кодоном первого экзона. Эта точечная мутация не затрагивает кодирующую часть белка напрямую, но может влиять на регуляцию экспрессии гена, так как область 5'-конца участвует в контроле транскрипции и стабилизации мРНК. Изменения в этом участке могут повлиять на количество экспрессируемого белка *IGF-1*, что отражается на физиологических процессах роста, развития и хозяйственно-полезных характеристиках животных. Этот полиморфизм служит важным генетическим маркером в селекционных программах по улучшению экономически значимых качеств крупного рогатого скот [4, 5].

В совокупности, позиция гена *IGF-1* на 5-ой хромосоме и его структурно-функциональные особенности делают его важным объектом для изучения и селекционной работы, направленной на увели-

чение удоя и повышения качественных показателей молока, а также воспроизводительных качеств крупного рогатого скота.

Цель исследования – изучить ассоциацию полиморфизма гена *IGF-1* с молочной продуктивностью и репродуктивными качествами у дойных коров в условиях Республики Татарстан.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Объектом исследования стали 288 дойных коров голштинской породы, содержащихся в СХПК «Племенной завод им. Ленина» (Атнинский район, Республика Татарстан). Геномную ДНК выделяли из крови, взятой из хвостовой вены, с применением набора «AmpliSens» ДНК-Сорб-В (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия), по методике, предложенной производителем.

ДНК-образцы амплифицировали на программируемых термоциклерах «MyCycler» и «T100 Thermal Cycler» (BIO RAD, США) в оптимальных температурно-временных режимах по адаптированному протоколу ПЦР-ПДРФ анализа с применением ранее спроектированных праймеров:

IGF-1 F: 5' – CCTCTGCGGGCTGAGTTGGT –3',
IGF-1 R: 5' – CGACTTGCGGGCTT-GAGAGGC – 3' [4].

Нужно отметить следующее: однонуклеотидный полиморфизм IGF897R в гене *IGF-1* крупного рогатого скота представляет собой замену тимина на цитозин и в исследовании использована система обозначений исходной публикации, где аллель T маркирован как A, аллель C – как B [5].

Визуализацию фрагментов осуществляли посредством системы визуализации «GelDoc Go» с программным обеспечением «Image Lab Touch» V. 3.0 (BIO RAD, США).

Данные о молочной продуктивности и живой массе, регистрируемой в ходе контрольных взвешиваний, исследуемой популяции крупного рогатого скота были получены из официальной электронной

базы «СЭЛЭКС. Молочный скот» (АРМ Плинон, Россия). Качественный состав молока анализировался в лаборатории ГПП «Элита».

В ходе генетического анализа были рассчитаны частоты аллелей и генотипов. Соответствие распределения генотипов гена *IGF-1* закону Харди-Вайнберга оценивали с помощью критерия хи-квадрат (χ^2), сравнивая наблюдаемые частоты с теоретически ожидаемыми.

Выход живых телят (ВТ) на 100 коров в год определяли по формуле:

$$ВТ = \frac{365 - СП}{285 * 100},$$

где СП – продолжительность сервис-периода, дней;

285 – средняя продолжительность стельности, дней.

Коэффициент воспроизводительной способности (КВС) рассчитали по формуле:

$$КВС = \frac{365}{МОП},$$

где МОП – средний межотельный период, дней.

Для расчета индекса плодовитости коров (индекс Дохи) использовали формулу:

$$T = 100 - (K + 2 * МОП),$$

где K – возраст коровы при первом отеле, мес.;

МОП – средний межотельный период, мес.

Статистическую значимость различий оценивали с использованием *t*-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В изучаемой популяции голштинских коров молочного направления продуктивности выявлено генетическое разнообразие по гену *IGF-1*, она представлена двумя аллелями – A (0,524) и B (0,476) и тремя генотипами – AA (24,7 %), AB (55,6%) и BB (19,8 %). Данное поголовье характеризуется умеренным полиморфизмом ($PIC = 0,50$), небольшим избытком гетерозигот ($f_{is} = - 11,4 \%$) и незначительным отклонением от равновесия Харди-Вайнберга ($\chi^2 = 3,73$) при критическом его значении 5,99.

В таблице 1 продемонстрировано влияние различных генотипов гена *IGF-1* на основные показатели молочной продуктивности коров. Так, особи с генотипом AA характеризовались наименьшей длительностью лактации и удоем за полную

лактацию. Животные с генотипами АВ и ВВ, напротив, отличались достоверно более продолжительными дойными периодами и значительно более высокими показателями удоя за полную лактацию.

Таблица 1 – Показатели молочной продуктивности коров в разрезе гена *IGF-1*

Генотип	Дойные дни, дн.	Удой за полную лактацию, кг	Удой за 305 дней лактации, кг
AA (n=71)	286,8±17,6	6792,6±175,5	7175,9±160,6
AB (n=160)	311,7±10,2	7399,0±135,5*	7232,0±95,6
BB (n=57)	310,1±23,2	7419,6±265,3*	6935,2±209,8

Примечание: *- $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$ в сравнении большего показателя с меньшим

Таблица 2 – Качественные молочные показатели коров в разрезе гена *IGF-1*

Генотип	Массовая доля жира, %	Массовая доля белка, %	Выход молочного жира, кг	Выход молочного белка, кг	Соматические клетки, тыс./см ³
AA (n=71)	3,56±0,04	3,44±0,04	262,3±5,8	254,3±7,6	377,4±54,0*
AB (n=160)	3,58±0,25	3,38±0,03	265,2±3,8	251,5±4,6	396,4±33,0
BB (n=57)	3,46±0,05	3,46±0,04	248,1±7,9	252,9±10,5	277,8±46,7

Примечание: *- $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$ в сравнении большего показателя с меньшим

Однако гетерозиготные животные имели наивысший удой за 305 дней лактации. При этом группа с гомозиготным генотипом ВВ, несмотря на лидерство по удою полную лактацию, показала наименьший результат за стандартный период. Это указывает на то, что высокий удой у ВВ-особей был достигнут преимущественно за счет большей длины лактации, а не интенсивности молокоотдачи. Таким образом, коровы гетерозиготного типа гена *IGF-1* проявляют эффект гетерозиса, демонстрируя наиболее сбалансированную и высокую продуктивность по важнейшему для селекции показателю – удою за 305 дней лактации.

Анализ качественных показателей молока в зависимости от генотипа гена *IGF-1* выявил существенные различия

между группами исследуемых животных (табл. 2). Гетерозиготные особи обладали наилучшими результатами по показателям жирномолочности: у них зафиксирована наибольшая массовая доля жира в молоке и максимальный выход молочного жира, что превышает показатели других групп, имея при это характер тенденции. При этом по белковомолочности преимущество оказалось у особей с гомозиготными генотипами: наибольшая массовая доля белка отмечена у генотипа ВВ, а максимальный выход молочного белка – у АА-животных.

При этом по белковомолочности преимущество оказалось у особей с гомозиготными генотипами: наибольшая массовая доля белка отмечена у генотипа ВВ, а максимальный выход молочного белка –

у АА-животных.

У коров с генотипом ВВ зарегистрировано достоверно наименьшее количество соматических клеток – 277,8 тыс./см³, что значительно ниже, чем у АА особей. Это свидетельствует о потенциально лучшей устойчивости этих животных к воспалительным процессам вымени, таким как мастит, и, соответственно, оптимальных санитарно-гигиенических показателях получаемого молока и молочной продукции.

В таблице 3 отражены репродуктивные качества коров в зависимости от ге-

нотипа гена *IGF-1*, рассматриваемые по общепринятым показателям. Наибольшие значения выхода телят на 100 голов коров и коэффициента воспроизводительной способности установлены у животных с генотипом ВВ, что в сочетании со статистически достоверным наименьшим процентом яловости (11,5 %) свидетельствует о преимуществе данного генотипа в селекционной работе по улучшению фертильности стада. Но стоит отметить, что это утверждение несет характер тенденции, и требует исследования на большем поголовье молочного скота.

Таблица 3 – Репродуктивные качества коров в разрезе полиморфизма гена *IGF-1*

Показатель	Генотип		
	АА (n=71)	АВ (n=160)	ВВ (n=57)
Возраст 1 плодотворного осеменения, мес.	18,1±0,3	18,4±0,3	18,9±0,5
Живая масса при 1 плодотворном осеменении, кг	424,2±4,3	423,0±3,0	413,2±5,28
Живая масса при 1 отеле, кг	519,2±7,5	531,7±4,2	520,6±8,7
Индекс плодовитости Дохи	45,9±0,9	45,4±0,6	46,8±1,2
Выход телят (ВТ)	82,0±4,7	80,2±2,6	87,3±5,8
Коэффициент воспроизводительной способности (КВС)	0,93±0,03	0,91±0,02	0,98±0,04*
Яловость, %	17,9±2,1	14,2±2,3	11,5±2,4*

Примечание: * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$ в сравнении большего показателя с меньшим

Особь с генотипом АА показали более раннее достижение возраста плодотворного осеменения (18,1 мес.) и большую живую массу при первом плодотворном осеменении (424 кг). Однако коровы с генотипом ВВ продемонстрировали более высокий индекс плодовитости Дохи, что подтверждает его превосходство в репродуктивном плане.

Животные, несущие гетерозиготный генотип АВ заняли промежуточное положение по большинству показателей, но

показали наибольшую живую массу при первом отеле (531,7 кг).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Полиморфизм гена *IGF-1* существенно влияет на молочную продуктивность и репродуктивные качества коров голштинской породы. Особи с генотипом АВ и ВВ показывают более продолжительный период лактации и более высокий удой за полную лактацию. АВ-животные также выделяются высоким показателем массовой доли жира в молоке, а ВВ-коровы –

наибольшей белково-молочностью и низким уровнем соматических клеток. В репродуктивном отношении животные, гомозиготные по аллелю В характеризуются лучшими показателями плодовитости и наименьшим уровнем яловости.

INFLUENCE OF IGF-1 GENE POLYMORPHISM ON MILK PRODUCTIVITY AND REPRODUCTIVE TRAITS OF HOLSTEIN CATTLE IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Mukhanina E.N. * – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher (ORCID 0000-0001-9299-2104); **Shakirov Sh.K.** – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher (ORCID 0000-0002-3362-0463); **Vologin D.S.** – Graduate student, Junior Researcher (ORCID 0009-0009-7473-7893).

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences

*natysafina@gmail.com

Financing: *The article was carried out within the framework of the state task: «Improving complex domestic technologies of selection, crop production and livestock production on the basis of identification of high-value genotypes, molecular genetic methods, biotechnologies, design of adaptive and highly productive agrobiocenoses and agroecosystems for the production of ecological and functional products».*

ABSTRACT

The article presents the results of a comprehensive study on the effect of polymorphism in the insulin-like growth factor 1 (*IGF-1*) gene on key economically valuable traits in Holstein cattle of domestic selection in the conditions of the Republic of Tatarstan. Three genotypes were identified at the studied locus: AA, AB, and BB. The population was characterized by moderate genetic diversity with an allele A frequency of 0.524 and allele B frequency of 0.476, with the genotype distribution showing a slight deviation from Hardy-Weinberg equilibrium. It was found that the heterozygous

AB genotype is associated with the highest overall milk productivity indicators. Individuals with this genotype demonstrated the highest milk yield both for complete lactation (7399.0 kg) and standard lactation (7232.0 kg), indicating a heterosis effect. In addition, heterozygous cows had the highest percentage of milk fat (3.58%) and maximum total milk fat yield. At the same time, animals with the homozygous BB genotype showed pronounced advantages in reproductive traits. They showed a higher reproductive ability index (0.98) and the lowest barren rate (11.5%), which indicates better fertility and reproductive efficiency of the herd. It is important to note that cows with the BB genotype also exhibited optimal sanitary and hygienic properties of milk, as confirmed by a significantly lower somatic cell count (277.8 thou./cm³) compared to other groups. This fact indicates potentially greater resistance to mastitis and higher milk product quality. Individuals with the homozygous AA genotype of the *IGF-1* gene lagged behind in most studied parameters, displaying the shortest lactation duration and total lactation yield. Thus, the heterozygous AB genotype is preferable for maximizing milk yield and milk fat content, while the BB genotype is advisable to use to improve reproduction, udder health, and milk quality.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гилемханов, И.Ю. Молочная продуктивность первотёлок татарстанского типа с разными генотипами по локусам генов соматотропинового каскада: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 06.02.07 / Гилемханов Ильназ Юнусович ; ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана». – Казань, 2021. – 128 с.
2. Муханина, Е. Н. Ассоциация полиморфизма гена FGF2 с экономически значимыми признаками коров голштинской породы республики Татарстан / Е. Н. Муханина, Н. Ю. Сафина, Ш. К. Шакиров [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2024. – № 1. – С. 342-349. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2024.1.342.

3. Муханина, Е. Н. Обусловленность продуктивных качеств крупного рогатого скота Республики Татарстан полиморфизмом гена остеоопонтина / Е. Н. Муханина, Н. Ю. Сафина, З. Ф. Фаттахова [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2024. – Т. 260, № 4. – С. 148-153. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_4_260_148.
4. Сафина, Н. Ю. Полиморфизм гена IGF-1 в поголовье коров голштинской породы и быков-производителей / Н. Ю. Сафина, Е. Н. Муханина, Ш. К. Шакиров [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 1. – С. 343-353. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.1.343.
5. Ge, W. Association of a genetic marker with blood serum insulin-like growth factor-I concentration and growth traits in Angus cattle / W. Ge, M.E. Davis, H. C. Hines [et al.] // Journal of Animal Science. – 2001. – V. 79. – №. 7. – P. 1757-1762.
6. Hendam, B. M. Gene Expression of Immune, Growth and Lipogenic Markers in Holstein, Simmental and Brown Swiss Calves / B. M. Hendam, H. M. Ghanem, B. H. Marghani [et al.] // Alexandria Journal of Veterinary Sciences. – 2023. – V. 76. – №. 1. – P. 84-95.
7. Lucy M. C. Functional differences in the growth hormone and insulin-like growth factor axis in cattle and pigs: implications for post-partum nutrition and reproduction // Reproduction in Domestic Animals. – 2008. – V. 43. – P. 31-39.
8. Meyer, Z. Analysis of the IGF-system in milk from farm animals—Occurrence, regulation, and biomarker potential / Z. Meyer, C. Höflich, E. Wirthgen [et al.] // Growth Hormone & IGF Research. – 2017. – V. 35. – P. 1-7.
9. Mullen, M. P. Single nucleotide polymorphisms in the insulin-like growth factor 1 (IGF-1) gene are associated with performance in Holstein-Friesian dairy cattle / M. P. Mullen, D. P. Berry, D. J. Howard [et al.] // Frontiers in genetics. – 2011. – V. 2. – P. 3.
10. Oksbjerg, N. Basic principles of muscle development and growth in meat-producing mammals as affected by the insulin-like growth factor (IGF) system / N. Oksbjerg, F. Gondret, M. Vestergaard // Domestic Animal Endocrinology. – 2004. – V. 27. – №. 3. – P. 219-240.
11. Parmentier, I. Candidate gene markers associated with somatotropic axis and milk selection/ I. Parmentier, D. Portetelle, N. Gengler [et al.] // Domestic Animal Endocrinology. – 1999. – V. 17. – №. 2-3. – P. 139-148.

REFERENCES

1. Gilemkanov, I.Yu. Milk productivity of first-calf heifers of the Tatarstan type with different genotypes at the loci of growth hormone cascade genes. Dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences: 06.02.07. Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman, Kazan, 2021, 128 p.
2. Mukhanina E. N., Safina N. Yu., Shakirov Sh. K., Gaynutdinova E. R., Fattakhova Z. F. Association of FGF2 gene polymorphism with economically significant traits of Holstein cows of the Republic of Tatarstan // International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024. 1:342-349.
3. Mukhanina E. N., Safina N. Yu., Fattakhova Z. F., Gaynutdinova E. R., Shakirov Sh. K., Ravilov R. H. The conditioning of productive qualities of cattle of the Republic of Tatarstan by polymorphism of the osteopontin gene // Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2024. 4:148-153.
4. Safina N.Yu., Mukhanina E. N., Shakirov Sh. K., Gaynutdinova E. R., Vologin D. S. Polymorphism of the IGF -1 gene in the livestock of Holstein cows and breeding bulls // International Bulletin of Veterinary Medicine. 2025. 1:343-353.
5. Ge W., Davis M. E., Hines H. C., Irvin K. M., Simmen R. C. Association of a genetic marker with blood serum insulin-like growth factor-I concentration and growth traits in Angus cattle // Journal of Animal Science. 2001.79(7):1757-1762.
6. Hendam B. M., Ghanem H. M., Marghani B. H., U. A. Abou-ismail, A. I. Ateya. Gene Expression of Immune, Growth and

- Lipogenic Markers in Holstein, Simmental and Brown Swiss Calves // *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*. 2023. 76(1):84-95.
7. Lucy M. C. Functional differences in the growth hormone and insulin-like growth factor axis in cattle and pigs: implications for post-partum nutrition and reproduction // *Reproduction in Domestic Animals*. 2008. 43:31-39.
8. Meyer Z., Höflich C., Wirthgen E., Olm S., Hammon H. M., Hoeflich A. Analysis of the IGF-system in milk from farm animals—Occurrence, regulation, and biomarker potential // *Growth Hormone & IGF Research*. 2017. 35:1-7.
9. Mullen M. P., Berry D. P., Howard D. J., Diskin M. G., Lynch C. O., Giblin L., Kenny D. A., Magee D. A., Meade K. G., Waters S. M. Single nucleotide polymorphisms in the insulin-like growth factor 1 (IGF-1) gene are associated with performance in Holstein-Friesian dairy cattle // *Frontiers in genetics*. 2011. 2:3.
10. Oksbjerg N., Gondret F., Vestergaard M. Basic principles of muscle development and growth in meat-producing mammals as affected by the insulin-like growth factor (IGF) system // *Domestic Animal Endocrinology*. 2004. 27(3):219-240.
11. Parmentier I., Portetelle D., Gengler N., Prandi A., Bertozzi C., Vleurick L., Gilson R., Renaville R. Candidate gene markers associated with somatotropic axis and milk selection // *Domestic Animal Endocrinology*. 1999. 17(2-3):139-148.