

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА ИНСУЛИНОПОДОБНОГО ФАКТОРА РОСТА-1 И ЕГО АССОЦИАЦИЯ С ПРИЗНАКАМИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ОВЕЦ

**В.А. СТЕПАНЕНКО¹, Е.Д. КАРПОВА¹✉, А.И. СУРОВ¹,
Д.Д. ЕВЛАГИНА^{1,2}, Л.В. КОНОНОВА¹, О.В. СЫЧЕВА²✉**

¹ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Россия,
Ставропольский край, г. Михайловск, ✉ lucziwa@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Россия,
Ставропольский край, г. Ставрополь, ✉ olga-sycheva@mail.ru

POLYMORPHISM OF THE INSULIN-LIKE GROWTH FACTOR-1 GENE AND ITS ASSOCIATION WITH SIGNS OF SHEEP DAIRY PRODUCTIVITY

**V.A. STEPANENKO¹, E.D. KARPOVA¹✉, A.I. SUROV¹,
D.D. EVLAGINA^{1,2}, L.V. KONONOVA¹, O.V. SYCHEVA²✉**

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasus Federal Agricultural Research Center",
Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, ✉ lucziwa@yandex.ru;

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Stavropol State Agrarian
University", Russia, Stavropol Territory, Stavropol, ✉ olga-sycheva@mail.ru

Аннотация. Изучение полиморфизма продуктивных генов-маркеров имеет значительный потенциал для совершенствования молочных пород овец в Российской Федерации. Внедрение методов геномной селекции на основе идентифицированных маркеров позволяет целенаправленно повышать молочную продуктивность разных пород животных. Цель данного исследования: изучить полиморфизм гена инсулиноподобного фактора роста-1 (IGF-1) и выявить ассоциацию полиморфных вариантов гена с показателями молочной продуктивности овец породы лакон. Объект исследования: овцематки породы лакон ($n = 39$), разводимые в хозяйстве ИП «Ваньжа» Белогорского района Республики Крым. Аллельные варианты гена IGF-1 идентифицировали с помощью ПЦР-ПДРФ анализа, что позволило дифференцировать генотипы на основе полиморфизма нуклеотидной последовательности в сайте рестрикции. Генотипирование овец породы лакон показало, что данная выборка полиморфна по данному гену, то есть отмечено присутствие двух аллелей (C и T) и трёх генотипов с преобладанием гетерозиготного СТ варианта (89,7%). Особи с гетерозиготным СТ генотипом характеризовались более высоким содержанием жира (6,83%) и белка (5,24%) в молоке по сравнению с гомозиготами ТТ. Полученные данные могут свидетельствовать о потенциальной ценности аллеля C в качестве маркера для селекции на улучшение качества молока. Перспективы работы включают валидацию выявленной ассоциации на расширенной выборке и изучение связи полиморфизма гена инсулиноподобного фактора роста-1 с другими хозяйственно-полезными признаками.

Ключевые слова: полиморфизм, IGF-1, молочная продуктивность, овцы породы лакон

Summary. The study of polymorphism of productive marker genes has significant potential for improving dairy sheep breeds in the Russian Federation. The introduction of genomic

breeding methods based on identified markers will make it possible to purposefully increase the milk productivity of different animal breeds. The purpose of this study was to study the polymorphism of the insulin-like growth factor-1 (IGF-1) gene and to identify the association of polymorphic variants of the gene with indicators of dairy productivity in Lacon sheep. The object of the study is sheep of the Lacon breed ($n = 39$), bred on the farm of IP "Wanzha" Belogorsky district of the Republic of Crimea. Allelic variants of the IGF-1 gene were identified using PCR-RDRF analysis, which made it possible to differentiate genotypes based on the polymorphism of the nucleotide sequence at the restriction site. Genotyping of Lacon sheep showed that this sample is polymorphic for this gene, that is, the presence of two alleles (C and T) and three genotypes with a predominance of the heterozygous CT variant (89.7%) was noted. Individuals with the CT genotype demonstrated significantly higher fat (6.83%) and protein (5.24%) content in milk compared to TT homozygotes. The data obtained may indicate the potential value of the C allele as a marker for breeding to improve milk quality. The prospects of the work include the validation of the identified association in an expanded sample and the study of the relationship of the polymorphism of the insulin-like growth factor-1 gene with other economically useful traits.

Keywords: polymorphism, IGF-1, milk productivity, Lacon sheep

Введение. В связи с растущим интересом на овчье молоко и продукты его переработки, возникает необходимость увеличения объёмов и улучшения качественных показателей сырья. В этой связи интеграция методов молекулярной генетики в селекционную практику представляется перспективным направлением для оптимизации молочного овцеводства [1].

Изучение и анализ генов, детерминирующих молочную продуктивность, позволяет осуществлять отбор животных с высокой прогнозируемой племенной ценностью ещё в раннем возрасте. Особый интерес для селекции представляют гены, кодирующие белки молока, ввиду их ключевой роли в формировании продуктивности и технологических свойств сырья [1, 2].

Имеются научные публикации с выявленными статистически значимыми ассоциациями между полиморфными вариантами гена инсулиноподобного фактора роста-1 и показателями роста и развития у представителей различных видов сельскохозяйственных животных, в том числе у крупного рогатого скота [3]. Однако, есть многочисленные исследования, проведенные на разных породах овец, которые демонстрируют устойчивую связь между определенными аллельными вариантами гена инсулиноподобного фактора роста-1 (*IGF-1*) и ключевыми показателями молочности [5].

У овец данный ген локализован на 3 хромосоме и включает 5 экзонов, кодирующих одноименный белок длиной 172 аминокислоты. Он является важнейшим эндокринным посредником действия соматотропного гормона, участвует в процессах роста и развития. Экспрессия гена *IGF-1* положительно коррелирует с выработкой молока, а это означает, что разные полиморфные варианты гена *IGF-1* могут повысить эффективность лактации [6]. Однако исследования по изучению связи полиморфизмов гена *IGF-1* с молочной продуктивностью у овец, разводимых на территории Российской Федерации, не проводились.

Цель исследования: определить полиморфизм гена инсулиноподобного фактора роста-1 (*IGF-1*) и выявить ассоциацию полиморфных вариантов гена с показателями молочной продуктивности овец породы лакон.

Материал и методики исследований. Исследования проводили в лабораториях ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Объект исследования – овцематки породы лакон ($n = 39$), разводимые в хозяйстве ИП «Ваньжа» Белогорского района Республики Крым. Для геномных исследований забор крови осуществляли из яремной вены животных с использованием вакуумных пробирок объемом 10,0 мл. Выделение ДНК проводили на автоматической станции Nexo 96 (НПФ «НекстБио», Россия) с использованием коммерческого набора Magnoprim Vet (ООО «Диагностические системы», Россия).

Таблица 1. Частота встречаемости генотипов и аллелей гена инсулиноподобного фактора роста-1

Table 1. Frequency of occurrence of genotypes and alleles of the insulin-like growth factor-1 gene

Показатель	Генотип		
	ТТ	СТ	СС
Количество животных	3	35	1
Частота встречаемости генотипов, %	7,7	89,7	2,6
Частота встречаемости аллелей	Т – 0,53 С – 0,47		

Для постановки ПЦР использовали наборы GenPak® PCR Core (ООО «Изоген», Россия) и специфичные праймеры (прямой F: 5'-TTGCACTCCTGAGGGGAGAG-3; обратный R: 5'-GAGCATCCAACCAACTCAGC-3'). В результате проведения ПЦР был амплифицирован фрагмент гена *IGF-1* размером 265 п.н. Последующий анализ методом ПДРФ проводили с использованием эндонуклеазы рестрикции *Alu I*. Визуализацию длины рестрикционных фрагментов проводили методом горизонтального электрофореза в 3,0% агарозном геле (окрашенном бромистым этидием), оценивали результаты под УФ-светом.

Отбор проб молока для анализа выполняли в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 26809.1-2014 «Молоко. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к испытанию». Исследования по изучению химического состава молока (содержание жира, белка) проводили на анализаторе «ИнфраМилк» согласно протоколу исследования. Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась с помощью компьютерной программы Microsoft Excel по стандартным методикам.

Результаты исследования и их обсуждение.

В ходе выполнения работы проведенный молекулярно-генетический анализ полиморфизма гена *IGF-1* на овцах породы лакон ($n = 39$) позволил идентифицировать три аллельных варианта гена: гомозиготные ТТ и СС, гетерозиготный – СТ. Распределение частот аллелей и генотипов в исследованной выборке приведено в таблице 1.

В исследованной выборке было зафиксировано, что частота встречаемости аллеля С составила 0,47, в то время как аллель Т являлся преобладающим с частотой 0,53. Отмечено, что чаще всего ($n = 35$) встречались особи с гетерозиготным СТ генотипом, составив 89,7%. Количество овец носителей гомозиготных генотипов составило 4 головы, частота встречаемости ТТ генотипа была равна 7,7% ($n = 3$); при этом в выборке была всего одна особь с генотипом СС – 2,6%. Полученные нами данные согласуются с рядом исследований. Так, например, в исследованиях, проведенных В.П. Лушниковым с соавторами, выявлено, что у баранчиков эдильбаевской и цигайской породы гомозиготный СС генотип встречается редко. В изученных стадах овец Т аллель преобладал, в то время как аллель С был в меньшинстве [7].

При изучении полиморфизма гена *IGF-1* овец южной мясной породы также отмечено, что аллель Т характеризовался наибольшей частотой встречаемости (0,715). В изучаемой популяции овец преобладали генотипы ТТ (49,0%) и СТ (45,0%) [8].

Однако при изучении овец мясо-сальных пород овец Казахстана команда учёных во главе с Н. Мухановым установила, что преобладающим по изучаемому гену в популяции овец казахской курдючной породы был генотип СС (70,9%). Исследование показало, что при анализе полиморфизма гена *IGF-1* в популяции овец эдильбаевской породы были

идентифицированы два аллельных варианта: СС и СТ. Доминирующим в исследованной выборке оказался гомозиготный СС генотип, частота встречаемости которого составила 56,7%. При этом отмечено, что в данных породах частота встречаемости С аллеля была значительно выше, чем Т аллеля [9].

В зависимости от генотипов по гену *IGF-1* нами были сформированы группы овец для дальнейших исследований показателей молочной продуктивности овцематок. Поскольку среди животных данной выборки только одна овцематка имела гомозиготный СС генотип, для статистического анализа была проведена оценка по изучению химического состава молока между особями с генотипами ТТ и СТ (рис. 1).

Овцематки-носители гетерозиготного СТ генотипа лидировали по показателям содержания в молоке жира и белка по сравнению с гомозиготными животными. Содержание жира в молоке овец с генотипом ТТ составило 6,75%, белка – 5,12%. Статистический анализ показал, что овцы с генотипом СТ отличались повышенным содержанием основных компонентов молока: массовая доля жира ставила 6,83%, а белка – 5,24%, что, возможно, может позволить рассматривать данный аллельный вариант в качестве потенциального маркера селекции на улучшение качественных показателей молочной продуктивности у данной породы.

В зарубежных исследованиях, проведённых M.L. Dettori и др. выявили, что у овец породы сарда полиморфизм данного гена значительно влияет на компоненты молока. Имеются данные о том, что овцы носители гомозиготного АА генотипа показали самые высокие показатели содержания белка (5,76%) и казеина (4,51%) в сравнении со сверстницами [7]. Группа учёных во главе с A. Crisà обнаружили, что ген *IGF1* был полиморфным у некоторых итальянских пород молочных овец и разные аллельные варианты гена показали значительный эффект влияния на липидный состав молока [6].

Заключение (выводы). Изучение генетических основ молочной продуктивности овец приобретает особую актуальность, поскольку ключевой задачей в данном контексте является поиск и валидация генетических маркеров, связанных с продуктивными качествами животных. В результате проведенного исследования методом ПЦР-ПДРФ анализа выявили, что полиморфизм гена *IGF-1* в выборке овец породы лакон был представлен двумя аллелями и тремя генотипами. Частота встречаемости гомозиготных генотипов составила: ТТ – 7,7% и СС – 2,6%, гетерозиготного СТ варианта – 89,7%. Изучив молочную продуктивность овцематок породы лакон, выявлено, что у животных носителей гетерозиготного СТ генотипа зафиксированы максимальные показатели массовой доли жира (6,83%) и белка (5,24%) в молоке, превышающие показатели, полученные от животных с ТТ генотипом. Вероятно, выявленные различия

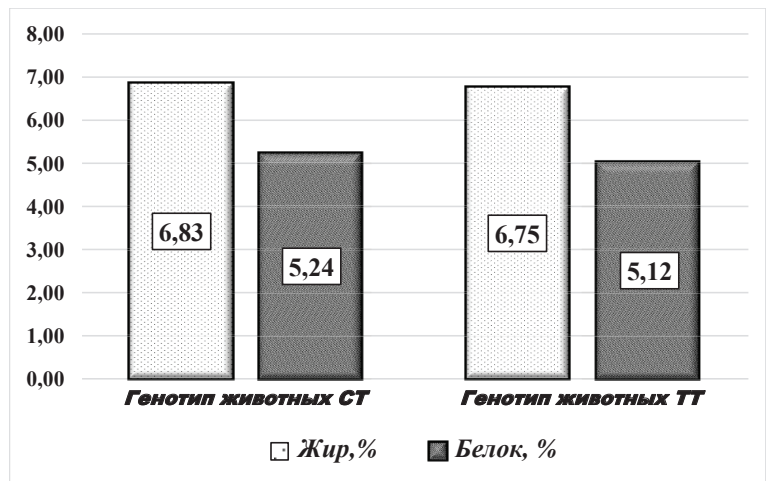


Рис. 1. Химический состав молока овец породы лакон разных генотипов

Fig. 1. Chemical composition of milk from different genotypes of Lacaune sheep

обосновывают потенциальную ценность аллеля С для маркер-вспомогательной селекции на улучшение химического состава молока. Следовательно, можно сделать заключение о том, что в рамках дальнейших исследований целесообразно провести комплексный анализ ассоциаций полиморфных вариантов гена *IGF-1* с широким спектром хозяйственно-полезных признаков на большем поголовье животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Исследования выполнены по теме FNMU-2024-0002 «Изучить влияние адаптационной пластичности, паратипических и кормовых факторов на качество молока и молочную продуктивность мелкого рогатого скота при гетерогенном подборе в зависимости от технологии содержания». В рамках национального проекта «Наука и университеты».

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflicts of interest. The research was carried out under the topic FNMU-2024-0002 "Studying the effect of adaptive plasticity, paratypical and feeding factors on the quality of milk and the milk productivity of small ruminants in heterogeneous selection depending on the technology of keeping." Within the framework of the national project "Science and Universities".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Суров А.И., Сулыга Н.В., Карпова Е.Д., Евлагина Д.Д. Перспективы развития отрасли молочного овцеводства • *Zootechnia*, 2024. № 9. С. 22-26. DOI: 10.25708/ZT.2024.94.92.006.
- Surov A.I., Sulyga N.V., Karpova E.D., Evlagina D.D. Prospects for the development of the dairy sheep industry • *Zootechnia*, 2024. No. 9. Pp. 22-26. DOI: 10.25708/ZT.2024.94.92.006.

2. Deniskova T.E., Solovyova A.D. Polymorphism of the insulin-like growth factor (IGF-1) gene in sheep of the southern meat breed • *Izvestiya St. Petersburg State Agrarian University*, 2024. № 3 (77). Pp. 98-105.

3. Lestari D.A. et al. Effect of insulin-like growth factor 1 gene on growth traits of Kejobong goat and its growth analysis • *Veterinary World*, 2020. № 13. Pp. 127-133. DOI: 10.14202/vetworld.2020.127-133.

4. Crisà A. et al. Exploring polymorphisms and effects of candidate genes on milk fat quality in dairy sheep • *J. Dairy Sci.* 93, 3834-3845. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-3014> (2010).

5. Dettori M.L. et al. Association between the GHR, GHRHR, and IGF1 gene polymorphisms and milk yield and quality traits in Sarda sheep • *Journal of dairy science*, 2018. T. 101. № 11. С. 9978-9986. doi.org/10.3168/jds.2018-14914

6. Kumar S., Dahiya S.P., Magotra A., Ratwan P., Bangar Y. Influence of single nucleotide polymorphism in the IGF-1 gene on performance and conformation traits in Munjal sheep • *Zygote*, 2023;31(1):70-77. doi:10.1017/S0967199422000545

7. Лушников В.П., Стрильчук А.А., Васильев А.А., Кудрявцева А.Д. Полиморфизм гена инсулиноподобного фактора роста (IGF-1) у овец цигайской и эдильбаевской пород и его связь с живой массой • *Овцы, козы, шерстяное дело*, 2025. № 2. С. 9-11. DOI: 10.26897/2074-0840-2025-2-9-11.

Lushnikov V.P., Strilchuk A.A., Vasiliev A.A., Kudryavtseva A.D. Polymorphism of the insulin-like growth factor (IGF-1) gene in sheep of the Tsigai and Edilbaev breeds and its relationship to body weight • *Sheep, goats, wool business*, 2025. No. 2. Pp. 9-11. DOI: 10.26897/2074-0840-2025-2-9-11.

8. Соловьева А.Д., Денискова Т.Е. Полиморфизм гена инсулиноподобного фактора роста (IGF-1) у овец южной мясной породы • *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, 2024. № 3 (77). С. 98-105. DOI: 10.24411/2078-1318-2024-3-98-105.

Solovyova A.D., Deniskova T.E. Polymorphism of the insulin-like growth factor (IGF-1) gene in sheep of the southern meat breed • *Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University*, 2024. № 3 (77). Pp. 98-105. DOI: 10.24411/2078-1318-2024-3-98-105.

9. Мұханов Н.Б., Бакберген Қ.Б., Әлибекова Ғ.Б., Ділімбетов М.Д. Қазақтың құйрықты қой тұқымының өнімділік белгілерімен байланысқан кандидат-гендердің аллельдік полиморфизмі • *3i: Intellect, Idea, Innovation – интеллект, идея, инновация*, 2023. No. 2. Pp. 141-147. DOI: 10.52269/22266070_2023_2_141.

Mukhanov N.B., Bakbergen K.B., Alibekova G.B., Dilimbetov M.D. Kazaktyn kuyrykty koi tukymyn onimdilik belgilerim baylaniskan candidate-genderdine allelic polymorphisms • *3i: Intellect, Idea, Innovation – intelligence, idea, innovation*, 2023. No. 2. Pp. 141-147. DOI: 10.52269/22266070_2023_2_141.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Валерия Александровна Степаненко, мл. науч. сотрудник лаборатории перспективных молочных ресурсов, тел.: (988) 734-24-23, e-mail: stepanenko-lera@mail.ru;

Екатерина Дмитриевна Карпова, канд. биол. наук, зав. лабораторией перспективных молочных ресурсов; тел.: (988) 094-31-21, e-mail: lucziwa@yandex.ru;

Александр Иванович Суров, доктор с.-х. наук, директор, гл. науч. сотрудник лаборатории перспективных молочных ресурсов, тел.: (865) 271-70-33, e-mail: surov.stv@yandex.ru;

Дарья Дмитриевна Евлагина, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории перспективных молочных ресурсов; тел.: (918) 131-97-31, e-mail: d1319731@yandex.ru;

Лидия Валентиновна Кононова, канд. с.-х. наук, доцент вед. науч. сотрудник лаборатории разведения и селекции сельскохозяйственных животных (с сектором скотоводства), тел.: (918) 747-47-37, e-mail: kononova-lidij@mail.ru;

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49

Ольга Владимировна Сычева, доктор с.-х. наук, профессор, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, (918) 747-47-37, e-mail: olga-sycheva@mail.ru.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», Российская Федерация, 355035, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valeria A. Stepanenko, Junior Researcher at the Laboratory of Promising Dairy Resources, phone: (988) 734-24-23, e-mail: stepanenko-lera@mail.ru;

Ekaterina D. Karpova, Ph D. Biol. sciences, head. laboratory of advanced dairy resources; tel.: (988) 094-31-21, e-mail: lucziwa@yandex.ru;

Alexander I. Surov, Doctor of Agricultural Sciences, Director, Chief Scientific Officer. employee of the laboratory of advanced dairy resources, tel.: (865) 271-70-33, e-mail: surov.stv@yandex.ru;

Daria D. Evlagina, Ph D. Biol. sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Advanced Dairy Resources; tel.: (918) 131-97-31, e-mail: d1319731@yandex.ru;

Lidia V. Kononova, PhD in Agriculture, Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Animal Breeding and Selection (with the Department of Cattle Breeding, phone: (918) 747-47-37, e-mail: kononova-lidij@mail.ru;

Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasus Federal Agricultural Research Center”, Russian Federation, 356241, Stavropol, Mikhailovsk, Nikonova Street, 49;

Olga V. Sycheva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Production and Processing Technology, (918) 747-47-37, e-mail: olga-sycheva@mail.ru;

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russian Federation, 355035, Stavropol, Zootechnicheskii lane, 12.

Поступила в редакцию / Received 30.10.2025

Поступила после рецензирования / Revised 06.11.2025

Принята к публикации / Accepted 14.11.2025