

ПОЛИМОРФИЗМ ДНК-МАРКЕРОВ ESR И DGKH У ОВЕЦ ЭДИЛЬБАЕВСКОЙ И ЦИГАЙСКОЙ ПОРОД

В.П. ЛУШНИКОВ, А.А. СТРИЛЬЧУК✉, А.Д. КУДРЯВЦЕВА

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Российская Федерация; ✉ stirilchuk.aa@yandex.ru

POLYMORPHISM OF ESR AND DGKH DNA MARKERS IN EDILBAY AND CYGAI SHEEP

V.P. LUSHNIKOV, A.A. STRILCHUK✉, A.D. KUDRYAVTSEVA

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov,
Saratov, Russian Federation; ✉ stirilchuk.aa@yandex.ru

Аннотация. Исследован полиморфизм ДНК-маркеров диацилглицеролкиназы (DGKH) и эстрогенового рецептора (ESR) у баранчиков цигайской ($n=150$) и эдильбаевской ($n=135$) пород. Генотипирование показало наличие у цигайской породы генотипов CC, CT и TT по гену DGKH, в то время как у эдильбаевской породы генотип CC не выявлен. По гену ESR у обеих пород установлены генотипы CC, TC и TT с различием в их распределении: у цигайской породы – более сбалансированное, у эдильбаевской – с преобладанием генотипа TT. Анализ полученных данных показал более высокий уровень генетического разнообразия по гену ESR у цигайской породы и соответствие равновесию Харди–Вайнберга, тогда как у эдильбаевской породы по гену DGKH отмечено статистически значимое отклонение от равновесия вследствие избытка гетерозигот. Полученные данные указывают на породные различия в распределении аллелей и генотипов по исследованным маркерам.

Ключевые слова: цигайская порода, эдильбаевская порода, баранчики, диацилглицеролкиназа, DGKH, эстрогеновый рецептор, ESR, ген, полиморфизм, генотипы

Summary. The polymorphism of DNA markers of diacylglycerol kinase eta (DGKH) and estrogen receptor (ESR) was studied in ram lambs of the Cygai ($n=150$) and Edilbay ($n=135$) breeds. Genotyping revealed the presence of CC, CT, and TT genotypes for the DGKH gene in the Cygai breed, while the CC genotype was not detected in the Edilbay breed. For the ESR gene, CC, TC, and TT genotypes were identified in both breeds, with differences in their distribution: in the Cygai breed, the distribution was more balanced, whereas in the Edilbay breed the TT genotype predominated. Analysis of the data showed a higher level of genetic diversity for the ESR gene in the Cygai breed and conformity to Hardy–Weinberg equilibrium, while in the Edilbay breed the DGKH gene demonstrated a statistically significant deviation from equilibrium due to an excess of heterozygotes. The results indicate breed-specific differences in allele and genotype distribution for the studied markers.

Keywords: Cygai breed, Edilbay breed, ram lambs, diacylglycerol kinase eta, DGKH, estrogen receptor, ESR, gene, polymorphism, genotypes

Введение. В настоящее время отечественное овцеводство находится в условиях необходимости ускоренного развития, поскольку в связи с санкциями, введёнными против нашей страны, возрастает

потребность в расширении внутреннего производства баранины и улучшении генетического потенциала поголовья. Это требует поиска современных подходов к селекции, в том числе методов, основанных на использовании молекулярно-генетических маркеров. Применение ДНК-маркеров позволяет не только выявлять внутривидовую изменчивость, но и формировать стратегии отбора животных с учётом генетической предрасположенности к высоким показателям продуктивности и воспроизводительных качеств.

Ген диацилглицеролкиназы (DGKH) является частью семейства ферментов, которые играют ключевую роль в клеточной сигнализации, катализируя фосфорилирование диацилглицерола для образования фосфатидной кислоты [3].

Отмечается, что данный ген может быть связан с регуляцией роста и развития организма путем влияния на секрецию гормона роста в гипофизе, а также с возможностью регулирования неравномерного роста в начале полового созревания [2, 5]. Следовательно, ген DGKH может влиять на рост организма благодаря своим активирующим свойствам [4].

Ген ESR кодирует эстрогеновые рецепторы, то есть белки, с которыми связываются эстрогены. Существует два основных типа рецепторов: ER α у овец кодируется геном ESR1, который регулирует транскрипцию белков и, таким образом, регулирует экспрессию генов-мишеней путем связывания со специфическими эффекторными элементами в генах-мишенях и ER β , который влияет на клеточную пролиферацию, метаболизм и развитие тканей. Соответственно ген ESR1 кодирует белок ER α , ESR2 – ER β [4].

ESR1 находится на 8-й хромосоме, ESR2 на 7-й хромосоме. Анализ методом электрофореза в полиакриламидном геле выявил однонуклеотидный полиморфизм в экзоне 1 ESR1 как у овец с высокой, так и с низкой плодовитостью. Однонуклеотидный полиморфизм связан с увеличением размера помёта, что позволяет предположить его возможную роль в плодовитости или тесную связь с основным геном, влияющим на плодовитость [6].

Идентификация ДНК-маркера ESR открывает возможности для улучшения репродуктивных показателей. Внедрение мутировавших генов ESR может увеличить размер помета у свиней, а у мериносовых овец повышает частоту овуляции [9].

Несмотря на то, что прямых исследований ассоциаций гена ESR с признаками мясной продуктивности мало, существующие данные о влиянии эстрогенов на рост и метаболизм тканей позволяют предположить возможное влияние полиморфизмов этого гена на показатели мясной продуктивности [7, 8].

Следовательно, учитывая приведенные данные, гены диацилглицеролкиназы (DGKH) и эстрогенового рецептора (ESR) могут рассматриваться как гены-кандидаты для изучения влияния их полиморфных вариантов на продуктивные качества у овец.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на образцах ткани (ушной выщип) баранчиков цигайской и эдильбаевской пород.

Пробы биологического материала баранчиков цигайской породы (n=150) отбирали в племенном репродукторе ООО Агрофирма Биокор-С, Пензенская область, Мокшанский район. Образцы ткани баранчиков эдильбаевской породы (n=135) отбирались в селекционно-генетическом центре ООО «Волгоград-Эдильбай», Волгоградская область, Быковский район.

Определение полиморфизма ДНК-маркеров DGKH и ESR проводилось при помощи метода ПЦР-PB на базе центра коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных», расположенного в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Результаты исследований. В рамках исследования полиморфизма ДНК-маркеров DGKH и ESR было

выполнено тестирование 150 баранчиков цигайской породы и 135 баранчиков эдильбаевской породы.

При проведении анализа ПЦР-ПДРФ по ДНК-маркеру DGKH у баранчиков цигайской породы были обнаружены генотипы CC, CT и TT, у баранчиков эдильбаевской породы гомозиготный генотип CC не обнаружен. По гену ESR у баранчиков исследуемых пород были обнаружены генотипы CC, TC и TT.

Из данных таблицы 1 видно, что у овец цигайской породы по гену ESR наблюдается относительно сбалансированное распределение аллелей: частота аллеля C составила 0,42, аллеля T – 0,58. Наиболее часто встречался гетерозиготный генотип CT (47%), за ним следовали гомозиготы TT (35%) и CC (18%). Эффективное число аллелей оказалось достаточно высоким ($n_e = 1,95$), что указывает на достаточный уровень генетического разнообразия. По результатам критерия χ^2 (0,266 при $P > 0,05$) отклонений от равновесия Харди–Вайнберга не выявлено.

У овец эдильбаевской породы по ESR доминирует аллель T (0,74), тогда как аллель C встречается реже (0,26). Наиболее часто встречался гомозиготный генотип TT (56%), доля гетерозигот составила 40%, а генотип CC встречается только в 6% случаев. Эффективное число аллелей оказалось ниже, чем у цигайской породы ($n_e = 1,62$), что отражает снижение уровня разнообразия. χ^2 (0,231 при $P > 0,05$), также указывает на отсутствие значимых отклонений от равновесия Харди–Вайнберга.

По ДНК-маркеру DGKH у цигайских овец аллель T встречается с частотой 0,83, а аллель C – 0,17. Наиболее часто встречался генотип TT (68%), доля гетерозигот составила 30%, а гомозиготы CC редки (2%). Эффективное число аллелей низкое ($n_e = 1,39$), что связано с доминированием аллеля T. Популяция находится в равновесии ($\chi^2 = 0,597$ при $P > 0,05$).

У овец эдильбаевской породы по DGKH также доминирует аллель T (0,84), тогда как аллель C встречается лишь в 16% случаев. Наиболее распространенным генотипом является TT (69%), гетерозиготы CT составляют 31%, а генотип CC отсутствует. Эффективное число аллелей составило $n_e = 1,35$, что отражает низкое разнообразие. В отличие от цигайской породы, здесь отмечено достоверное отклонение от равновесия Харди–Вайнберга ($\chi^2 = 4,581$, при $P < 0,05$).

Анализ показателей генетического разнообразия (табл. 2) показывает, что по гену ESR у цигайской породы наблюдаемая гомозиготность (0,53) несколько выше ожидаемой (0,51), а у эдильбаевской наоборот – наблюдаемая гомозиготность (0,60) немного выше ожидаемой (0,62), при этом фиксируется небольшой избыток гетерозигот ($F_{is} \approx -0,041$).

Таблица 1. Частоты аллелей и генотипов у овец цигайской и эдильбаевской пород по ДНК-маркерам DGKH и ESR

Table 1. Allele and genotype frequencies in Cygai and Edilbay sheep breeds for DGKH and ESR DNA markers

ДНК-маркер	Порода	n	Аллель	Частота аллеля	Генотип	Частота генотипа	HWE	n_a	n_e
DGKH	Цигайская	150	C	0,17	CC	0,02	0,597	2	1,39
			T	0,83	CT	0,30			
					TT	0,68			
	Эдильбаевская	135	C	0,16	CT	0,31	4,581	2	1,35
			T	0,84	TT	0,69			
ESR	Цигайская	150	C	0,42	CC	0,18	0,266	2	1,95
			T	0,58	TC	0,47			
					TT	0,35			
	Эдильбаевская	135	C	0,26	CC	0,06	0,231	2	1,62
			T	0,74	TC	0,39			
					TT	0,55			

HWE – χ^2 отклонения от распределения по Харди-Вайнбергу, n_a – фактическое число аллелей, n_e – эффективное число аллелей

Таблица 2. Показатели генетического разнообразия овец цигайской и эдильбаевской пород по генам DGKH и ESR

Table 2. Genetic diversity parameters of Cygai and Edilbay sheep breeds for DGKH and ESR genes

ДНК-маркер	Порода	n	Hom _o	Het _o	Hom _e	Het _e	F _{is}
DGKH	Цигайская	150	0,70	0,30	0,72	0,28	≈ -0,063
	Эдильбаевская	135	0,69	0,31	0,74	0,26	≈ -0,184
ESR	Цигайская	150	0,53	0,47	0,51	0,49	≈ 0,042
	Эдильбаевская	135	0,60	0,40	0,62	0,38	≈ -0,041

Hom_o – наблюдаемая гомозиготность, Het_o – наблюдаемая гетерозиготность, Hom_e – ожидаемая гомозиготность, Het_e – ожидаемая гетерозиготность, F_{is} – индекс фиксации

По гену DGKH у цигайских овец наблюдаемая и ожидаемая гомозиготность практически совпадают (0,70 и 0,72 соответственно), индекс фиксации имеет отрицательное значение (F_{is} ≈ -0,063), что указывает на незначительный избыток гетерозигот. У эдильбаевской породы наблюдаемая гомозиготность (0,69) заметно ниже ожидаемой (0,74), что выражается в более низком значении F_{is} (≈ -0,184), указывающем на явный избыток гетерозигот, подтвержденный результатами χ².

Выводы. У обеих пород доминирует аллель Т по обоим ДНК-маркерам. Цигайская порода характеризуется более высоким генетическим разнообразием по гену ESR и равновесием Харди–Вайнберга по обоим генам. В то время как у эдильбаевской породы по гену ESR сохраняется равновесие, но наблюдается снижение разнообразия, а по ДНК-маркеру DGKH выявлено достоверное отклонение от равновесия за счёт избытка гетерозигот. Эти различия могут отражать специфику происхождения и разведения данных пород.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кошкина О.А., Денискова Т.Е., Зиновьева Н.А. Разработка и апробация тест-системы определения полиморфизма генов DGKH и PPP1R1C, ассоциированных с живой массой овец • *Аграрная наука*, 2023. № 12. С. 80-84.
Koshkina O.A., Deniskova T.E., Zinovieva N.A. (). Development and testing of a system for determining polymorphism of DGKH and PPP1R1C genes associated with sheep body weight • *Agrarian Science*, 2023. № 12. Pp. 80-84.
2. Khalkhali-Evrigh R. et al. Genomic evidence of improved fertility and adaptation in Iranian domestic sheep attributed to introgression from Asiatic Mouflon and urial • *Scientific Reports*, 2025. T. 15. № . 1. P. 1185.

3. Kovalchuk S.N. Intramuscular fatty acid composition in sheep: phenotypic variability, heritability, and candidate genes (review) • *Agricultural Biology*, 2021. Vol. 56. No. 6. Pp. 1049-1062.

4. Liu Q. et al. Polymorphisms of ESR1, PGR and CYP19A1 Genes and their Association with Litter Size in Small-Tailed Han Sheep • *Pakistan Journal of Zoology*, 2025. T. 57. № . 2. P. 539.

5. Lu X. et al. Comparative transcriptomic analysis of the pituitary gland between cattle breeds differing in growth: yunling cattle and leiqiong cattle • *Animals*, 2020. T. 10. № . 8. P. 1271.

6. Mishra C. Genetic basis of prolificacy in sheep • *Int J Livest Res*, 2014. T. 4. № . 1. Pp. 46-57.

7. Moravčíková N., Trakovická A. Association of SNPs in Porcine Estrogen Receptor Gene with Carcass Traits • *Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies*, 2015. T. 48. № . 1. Pp. 90-90.

8. Wali A.H., Abdulkareem A.A. Impact of Estrogen Receptor Gene Polymorphisms on Productive Traits and Carcass Quality in Japanese Quail • *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2025. T. 1487. № . 1. P. 012138.

9. Yousuf M., Yusuf A., Mohammed I. Review on current animal breeding and genetic technologies to increase production and productivity of cattle • *Journal of Animal Scientific Research*, 2024. T. 12. № . 1. Pp. 19-36.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Петрович Лушников, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой генетики, разведения, кормления животных и аквакультуры, e-mail: lushnikovwp@mail.ru;

Андрей Александрович Стрильчук, канд. с.-х. наук, ассистент кафедры генетики, разведения, кормления животных и аквакультуры e-mail: strilchuk.aa@yandex.ru;

Александра Дмитриевна Кудрявцева, аспирант кафедры генетики, разведения, кормления животных и аквакультуры

ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова. Российская Федерация; 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir P. Lushnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Genetics, Breeding, Animal Feeding and Aquaculture, e-mail: lushnikovwp@mail.ru;

Andrey A. Strilchuk, Candidate of Agricultural Sciences, Assistant Professor of the Department of Genetics, Breeding, Animal Feeding and Aquaculture, e-mail: strilchuk.aa@yandex.ru;

Alexandra D. Kudryavtseva, Postgraduate student of the Department of Genetics, Breeding, Animal Feeding and Aquaculture,

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov. Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Avenue, 4, build. 3

Поступила в редакцию / Received 28.08.2025

Поступила после рецензирования / Revised 29.08.2025

Принята к публикации / Accepted 29.08.2025