

Оригинальная статья / Original article
УДК 591.151:636.32/.38.082.13
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-78-84

Полиморфизм генов *GH/HaeIII* и *GDF9/AspEI*, генетическая изменчивость, ассоциация их генотипов с иммунным статусом у овец разных пород, разводимых в различных природно-географических зонах

Алимсолтан А. Оздемиров¹, Александр И. Суров², Евгения С. Суржикова²,
Абдусалам А. Хожоков¹, Закир К. Гаджиев², Дарья Д. Евлагина²,
Етар М. Алиева¹, Рабият А. Акаева¹

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», Махачкала, Россия

²ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Михайловск, Россия

Контактное лицо

Алимсолтан А. Оздемиров, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр РД»; 367014, Россия, г. Махачкала, ул. А. Шахбанова, 30.
Тел. +79094806199
Email alim72@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

Формат цитирования

Оздемиров А.А., Суров А.И., Суржикова Е.С., Хожоков А.А., Гаджиев З.К., Евлагина Д.Д., Алиева Е.М., Акаева Р.А. Полиморфизм генов *GH/HaeIII* и *GDF9/AspEI*, генетическая изменчивость, ассоциация их генотипов с иммунным статусом у овец разных пород, разводимых в различных природно-географических зонах // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 3. С. 78-84. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-78-84

Получена 19 апреля 2022 г.
Прошла рецензирование 14 мая 2022 г.
Принята 24 мая 2022 г.

Резюме

Цель. Одной из важных задач в решении проблемы повышения эффективности ведения овцеводства является рациональное использование кормовых угодий Северного Кавказа и Юга России, значительная часть которых располагается в разных природно-климатических условиях. В недостаточной изученности механизмов адаптации сельскохозяйственных животных, в частности овец, к эколого-географическим особенностям этих регионов заключается и сложность их решений. Целью настоящих исследований стало изучение полиморфизма генов, степени генетической изменчивости и иммунного статуса у овец разных пород, так как генетический полиморфизм является мерой его адаптивности, а в основе жизнедеятельности организма лежит гемопоэтическая функция крови.

Материал и методы. Генетическая структура генов *GH/Hae III*, *GDF9/AspEI*, иммунный статус, изучен методами генетико-статистического и иммунного анализа у овец разных пород, содержащихся в различных природно-климатических зонах Дагестана и Краснодарского края.

Результаты. В результате ДНК-генотипирования исследуемых выборок овец разных пород было установлено, что полиморфизм генов *GH/HaeIII*, *GDF9/AspEI* представлен тремя вариантами генотипов: гомозиготными *GH/HaeIII^{AA}*, *GH/HaeIII^{BB}*; *GDF9/AspEI^{AA}*, *GDF9/AspEI^{GG}*; гетерозиготными *GH/HaeIII^{AB}*; *GDF9/AspEI^{AG}* и двумя аллелями: А и В – гена *GH/HaeIII*; А и G – гена *GDF9/AspEI* с разной частотой встречаемости, соответственно.

Заключение. Впервые изучена генетическая изменчивость в контексте с иммунным статусом популяций овец разных пород, разводимых в условиях предгорья Республики Дагестан и Краснодарского края. Полученная информация о роли степени генетической изменчивости и иммунного статуса овец разных пород дает ответ при формировании приспособительно-компенсаторных механизмов к определенным условиям среды разведения. Более глубоко изучить адаптивные характеристики овец разных пород для дальнейшего его совершенствования позволяют использование молекулярно-генетических и гематологических методов.

Ключевые слова

Адаптация, популяция, овцы, генетическая изменчивость, иммунный статус, условия разведения.

Polymorphism of *GH/HaeIII* and *GDF9/AspEI* genes, genetic variation and association of their genotypes with immune status in sheep of different breeds ranched in different natural and geographic areas

Alimsoltan A. Ozdemirov¹, Alexander I. Surov², Evgeniya S. Surzhikova²,
Abdusalam A. Khozhokov¹, Zakir K. Gadzhiev², Darya D. Evlagina²,
Etar M. Alieva¹ and Rabiya A. Akaeva¹

¹Federal Agrarian Scientific Centre of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

²North Caucasus Federal Scientific Agrarian Centre, Mikhaylovsk, Russia

Principal contact

Alimsoltan A. Ozdemirov, Hea, Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding, Federal Agrarian Research Centre of the Republic of Dagestan; 30A, Shakhbanova St, Makhachkala, Russia 367014.
Tel. +79094806199

Email alim72@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

How to cite this article

Ozdemirov A.A., Surov A.I., Surzhikova E.S., Khozhokov A.A., Gadzhiev Z.K., Evlagina D.D., Alieva E.M., Akaeva R.A. Polymorphism of *GH/HaeIII* and *GDF9/AspEI* genes, genetic variation and association of their genotypes with immune status in sheep of different breeds ranched in different natural and geographic areas. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 3, pp. 78-84. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-78-84

Received 19 April 2022

Revised 14 May 2022

Accepted 24 May 2022

Aim. One of the important tasks in solving the problem of improving the efficiency of sheep breeding is the rational use of fodder lands in the North Caucasus and the South of Russia, a significant part of which is located in different natural and climatic conditions. The complexity of solutions lies in insufficient knowledge of the mechanisms of adaptation of farm animals, in particular sheep, to the ecological and geographical features of these regions. The purpose of this research was to study the genetic polymorphism of genes, the degree of genetic variability and immune status in sheep of different breeds, since genetic polymorphism is a measure of its adaptability and the hematopoietic function of blood is the basis of the life of the organism.

Material and Methods. The genetic structure of the *GH/Hae III*, *GDF9/AspEI* genes and immune status, was studied by the methods of genetic-statistical and immune analysis in sheep of different breeds kept in different climatic zones of Dagestan and the Krasnodar Territory.

Results. As a result of DNA genotyping of the studied samples of sheep of different breeds, it was found that polymorphism of *GH/HaeIII*, *GDF9/AspEI* genes is represented by three genotype variants: homozygous *GH/HaeIII*^{AA}, *GH/HaeIII*^{BB}; *GDF9/AspEI*^{AA}, *GDF9/AspEI*^{GG}; heterozygous *GH/HaeIII*^{AB}; *GDF9/AspEI*^{AG} and two alleles: A and B – of the *GH/HaeIII* gene; A and G – *GDF9/AspEI* gene with different frequency of occurrence, respectively.

Conclusion. For the first time, genetic variability has been studied in the context of the immune status of sheep populations of different breeds bred in the foothills of the Republic of Dagestan and Krasnodar Territory. The information obtained about the role of the degree of genetic variability and the immune status of sheep of different breeds is answered in the formation of adaptive-compensatory mechanisms to specific conditions of the breeding environment. A deeper study of the adaptive characteristics of sheep of different breeds for their further improvement allows the use of molecular genetic and hematological methods.

Key Words

Adaptation, population, sheep, genetic variability, immune status, breeding conditions.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время овцеводство базируется на промышленном разведении племенных овец с целью обеспечения различных сфер производства сырьём. В овцеводческой отрасли появились новые виды направлений: мясо-шерстно-молочное, мясо-шерстное, мясо-сальное, смушковое, шубное овцеводство. Каждому из этих направлений разведения овец соответствует своя климатическая зона. На территориях с мягким климатом и богатыми лугами превалирует полутонкорунное направление, а в горных районах с холодным климатом можно отметить, что преобладают хозяйства, ориентированные на разведение мясо-шерстно-молочных и грубошерстных пород овец [1].

Поскольку при выведении, дальнейшем совершенствовании новой породы с одной стороны под воздействием селекционного давления и условием внешней среды обитания, с другой формируется определенная генетическая структура, а также своеобразный уклад генов, характерный каждой отдельной породе. Информация о генофонде различных пород, их филогенезе, направленности и динамике генетических процессов, происходящих в организме животных, позволяет получить объективную оценку физиологического состояния особей.

Для овцеводства Северного Кавказа и Юга России изучение адаптивных способностей животных имеет важное практическое значение, так как значительную часть этих территории занимают предгорья и горы. По литературным данным отечественных и зарубежных исследователей процесс адаптации животных в различных условиях среды, сопровождается изменениями функциональной деятельности различных систем [2; 3]. Свойство иммунной защиты возникло как функция живой системы, обеспечивающей сохранение биологической индивидуальности, сохранение гомеостаза. Контроль за обеспечением динамического постоянства внутренней среды организма отводится В-, Т-клеткам и их субпопуляциям, к которым относятся Т-хелперы и Т-супрессоры. Хороший иммунный статус животного не только обеспечивает защиту организма, но и является важным фактором при создании пород, хорошо адаптированных к окружающей среде при это не теряющих свою высокую продуктивностью в процессе адаптации. Отсюда следует, что предположительно изменения реакций естественной резистентности в живых организмах можно рассматривать, как один из факторов их адаптации к условиям окружающей среды [4; 5].

Метод молекулярной генетики позволяет выявлять, изучать и оценивать адаптационно-компенсаторные механизмы, обеспечивающие разведения животных в разных природно-географических зонах. Также способен выявлять тот спектр адаптационных преобразований, образованные в условиях среды обитания, обеспечивают жизнедеятельность организма [6].

Особая роль в адаптационном процессе отводится генетическому полиморфизму, что является мерой генетической изменчивости и при этом обеспечивая организму ту пластичность, которая необходима для выживания в создавшихся условиях [7]. В практической селекции методы молекулярной генетики дают возможность выявить особо ценные генотипы, адаптированные к существующим условиям содержания [8].

Северный Кавказ и Юг России являются традиционными регионами разведения племенного овцеводства. В настоящее время нет полной информации об особенностях их генофонда и генетической дифференциации по генам. В связи с этим целью настоящего исследования послужило изучение генетической изменчивости и иммунного статуса, овец разных пород, разводимого в различных эколого-географических зонах Дагестана и Юга России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С использованием молекулярно-генетических методов были исследованы овцы (ярки) дагестанской горной породы ($n = 34$) и лакон ($n = 36$), разводимых в различных эколого-географических зонах Республики Дагестан и Краснодарского края. Биологическим материалом для выделения геномной ДНК и определения иммунного статуса являлась цельная кровь, взятая в асептических условиях из яремной вены. Выделение геномной ДНК из крови проводилась согласно протокола при использовании специализированного коммерческого набора реагентов *DIAtom™ DNA Prep 100* (ИЗОГЕН, Россия). Для проведения и постановки реакции амплификации методом ПЦР использовались коммерческие *Gene Pak PCR Core* (ИЗОГЕН, Россия) наборы [9-11].

Методом ПЦР (полимерно-цепной реакции) с использованием синтезируемых специфических наборов олигонуклеотидов (праймеров) на термоциклере «Терцик» фирмы «ДНК-технология» (Россия) проведено генотипирование исследуемых популяций овец разных пород по изучению полиморфизма генов *GH/HaeIII* (соматотропин), *GDF9/AspIEI* (дифференциальный фактор роста) (табл. 1).

Таблица 1. Индивидуальные характеристики условий ПЦР-ПДРФ**Table 1.** Individual characteristics of PCR-RFLP conditions

Олигонуклеотидная последовательность Nucleotide sequences	Участок амплификации, (п.н.) Amplification site, (p.n.)	Отжиг, Т°С Annealing, T°C,	Генотип Genotypes	Эндонуклеаза/ сайт узнавания Endonuclease/ Recognition site
<i>GH/Hae III</i>				
F: 5'-GGAGGCAGGAAGGGATGAA-3' R: 5'-CCAAGGGAGGGAGAGACAGA-3'	934	60	AA/AB/BB	<i>Hae III</i> GG^CC
<i>GDF9/AspIEI</i>				
F:5'- GAAGACTGGTATGGGGAAATG -3' R:5'- CCAATCTGCTCCTACACACCT -3'	462	63	AA/AG/GG	<i>AspIEI</i> GCG^C

Анализ ПДРФ включал обработку амплификата сайт-специфической эндонуклеазой *HaeIII*, *AspI* (СИБЭНЗИМ, Россия), после проведения ПЦР-амплификации, с последующим разделением полученных фрагментов при помощи метода горизонтального гель-электрофореза с разной концентрацией от 1,8 до 2,5% агарозного геля, после окрашивания этидием бромистым. В ультрафиолетовом свете определялось число и длина фрагментов рестрикции [12; 13].

По содержанию Т-, В-лимфоцитов в периферической крови согласно методическим рекомендациям с использованием микрометода образования Е-розеток (Е-РОК и ЕАС-РОК) определяли уровень клеточного и гуморального иммунитета (Т-, В-лимфоцитов, Т-супрессоров, Т-хелперов).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате ДНК-генотипирования исследуемых выборок овец разных пород было установлено, что

полиморфизм генов *GH/HaeIII*, *GDF9/AspI* представлен тремя вариантами генотипов: гомозиготными *GH/HaeIII^{AA}*, *GH/HaeIII^{BB}*; *GDF9/AspI^{AA}*, *GDF9/AspI^{GG}*; гетерозиготными *GH/HaeIII^{AB}*; *GDF9/AspI^{AG}* и двумя аллелями: А и В – гена *GH/HaeIII*; А и G – гена *GDF9/AspI* с разной частотой встречаемости, соответственно.

При анализе полиморфизмов генов *GH/HaeIII*, *GDF9/AspI* в исследованной выборке ярок дагестанской горной породы, разводимой в предгорной зоне Республики Дагестан, характерна высокая (0,97; 0,78) концентрация аллелей *GH/HaeIII^A*; *GDF9/AspI^G* и низкая (0,03; 0,22) аллелей *GH/HaeIII^B*, *GDF9/AspI^A*. У ярок данной породы преобладал гомозиготный *GH/HaeIII^{AA}*; *GDF9/AspI^{GG}* (0,94; 0,74) генотип. Практически одинаковая (0,06) *GH/HaeIII^{AB}* и (0,09) *GDF9/AspI^{AG}* отмечена частота встречаемости гетерозиготного генотипа изучаемых генов (табл. 2).

Таблица 2. Частота встречаемости аллелей и генотипов по генам *GH/Hae III* *GDF9/AspI* у ярок дагестанской горной породы

Table 2. Frequency of occurrence of alleles and genotypes for the *GH/Hae III* *GDF9/AspI* genes in Dagestan yams

Генотип Genotype	n	Частота встречаемости ± sp Frequency of occurrence ± sp		χ ²	Ho	He	TG
		генотипов genotypes	аллелей alleles				
GH/Hae III							
GH/HaeIII ^{AA}	32	0,94±0,042	A – 0,97±0,019 B – 0,03±0,020	0,03	0,062	0,060	+0,002 Ho > He
GH/HaeIII ^{AB}	2	0,06±0,040					
GH/HaeIII ^{BB}	0	0,0					
GDF9/AspI							
GDF9/AspI ^{AA}	6	0,18±0,066	A – 0,22±0,050 G – 0,78±0,051	18,79	0,100	0,520	-0,420 Ho < He
GDF9/AspI ^{AG}	3	0,09±0,049					
GDF9/AspI ^{GG}	25	0,74±0,075					

Количество животных-носителей гомозиготных *GH/HaeIII^{AA}*, *GH/HaeIII^{BB}*; *GDF9/AspI^{AA}*, *GDF9/AspI^{GG}* генотипов в популяции дагестанской горной породы составило 32 и 31 гол., гетерозиготных *GH/HaeIII^{AB}* и *GDF9/AspI^{AG}* – 2 и 3 головы.

Уровень наблюдаемой гетерозиготности (Ho) генов *GH/HaeIII* и *GDF9/AspI^{GG}* был сравнительно одинаковым и составил 0,062–0,100, а ожидаемой (He) варьировался от 0,060 до 0,520.

Анализ встречаемости разных вариантов генотипов и аллелей изучаемых генов показал, что в изучаемой выборке исследуемой породе овец преобладали аллели *GH/HaeIII^A*, *GDF9/AspI^G* и гомозиготные *GH/HaeIII^{AA}*, *GDF9/AspI^{GG}* генотипы, из этого следует, что снижение гетерозиготных особей отмечается в ожидаемом распределении и это подтверждается тестом на гетерозиготность (TG), который был положительным и отрицательным +0,002 и -0,420 для генов *GH/HaeIII* *GDF9/AspI*. С целью выявления соответствия фактических частот генотипов теоретически ожидаемым, согласно закону Харди-Вайнберга, для оценки значимости селективного различия между генотипами, был рассчитан критерий соответствия Пирсона (χ^2). Полученное значение χ^2 для гена *GDF9/AspI* составило 18,79, что свидетельствует о том, что за счет преобладания гомозиготных

особей фактическое распределение генотипов не соответствует теоретически ожидаемому.

Анализом исследований, проведенных с помощью метода ПЦР-ПДРФ по локусам генов *GH/HaeIII*, *GDF9/AspI* у ярок породы лакон, разводимых в условиях предгорья Краснодарского края, было выявлено также три генотипа и два аллеля с разными частотами встречаемости. В гене *GH/HaeIII* отмечается почти в два раза (0,61) преобладание аллеля – *GH/HaeIII^A* над аллелем *GH/HaeIII^B* (0,39). Что касается частоты встречаемости аллеля *GDF9/AspI^G* гена *GDF9/AspI*, то она была наивысшей – 0,97. Количество животных-носителей гомозиготных *GH/HaeIII^{AA}* *GH/HaeIII^{BB}*; *GDF9/AspI^{GG}* генотипов составило 24 и 34 головы, из них с генотипом *GH/HaeIII^{AA}* – 45,0% (n = 16), *GH/HaeIII^{BB}* – 22,0% (n = 8) и *GDF9/AspI^{GG}* 94,0% (n = 34), отсутствие *GDF9/AspI^{AA}* (0). Присутствие гетерозиготных *GH/HaeIII^{AB}*, *GDF9/AspI^{AG}* генотипов составило 33,0% (n = 12) и 6,0% (n = 2) (табл. 3).

Аналогичная тенденция наблюдалась по уровню (Ho) наблюдаемой и (He) ожидаемой гетерозиготности изучаемых генов у ярок породы лакон в сравнении с овцами дагестанской горной породы. Об уровне генетического разнообразия популяции в генах *GH/HaeIII*, *GDF9/AspI* свидетельствует тест гетерозиготности (TG) который

имел как отрицательное, так и положительное значение. Показателя хи-квадрат (χ^2) свидетельствовал о том, что генетическое равновесие по изучаемым генам соблюдается ($\chi^2 = 3,21; 0,03$).

Сравнительный анализ констант изученных полиморфизмов генов *GH/HaeIII*, *GDF9/AspIEI* в исследуемых

популяциях, характеризующих генетическую структуру, а также иммунного статуса, свидетельствует о неоднозначности величины сравниваемых показателей, зависящей в свою очередь не только от гена, но и от разведения животных, среды обитания (табл. 4).

Таблица 3. Частота встречаемости аллелей и генотипов по генам *GH/Hae III* *GDF9/AspIEI* у ярок породы лакон
Table 3. Frequency of occurrence of alleles and genotypes for the *GH/Hae III* *GDF9/AspIEI* genes in Laconian ewes

Генотип Genotype	n	Частота встречаемости ± sp Frequency of occurrence ± sp		χ²	Ho	He	ТГ
		генотипов genotypes	аллелей alleles				
		GH/Hae III					
GH/HaeIII ^{AA}	16	0,45±0,032	A – 0,61±0,057 B – 0,39±0,058	3,21	0,500	0,906	-0,406 Ho < He
GH/HaeIII ^{AB}	12	0,33±0,059					
GH/HaeIII ^{BB}	8	0,22 ±0,059					
GDF9/AspIEI							
GDF9/AspIEI ^{AA}	0	0,0	A – 0,03±0,020 G – 0,97±0,019	0,03	0,059	0,057	+0,002 Ho > He
GDF9/AspIEI ^{AG}	2	0,06±0,039					
GDF9/AspIEI ^{GG}	34	0,94±0,040					

Таблица 4. Генетическая структура овец разных пород, содержащихся в различных эколого-географических зонах
Table 4. Genetic structure of sheep of different breeds kept in different ecological and geographical zones

Порода Breed	Ген Gene	Показатель / Indicator				
		Количество гомозигот Number of homozygotes	Количество гетерозигот Number of heterozygotes	Ca, %	V, %	Na
Дагестанская горная Dagestan mountain	<i>GH/Hae III</i>	32	2	94,3	2,77	1,06
	<i>GDF9/AspIEI</i>	31	3	65,6	31,4	1,52
	Среднее / Average			79,9	17,0	1,29
Лакон Lacaune	<i>GH/Hae III</i>	24	8	52,5	44,7	1,90
	<i>GDF9/AspIEI</i>	34	2	94,5	2,62	1,05
	Среднее / Average			73,5	23,7	1,47

Анализируя результаты показателей генетической структуры, нами было установлено, что константа степени гомозиготности (Ca) изучаемых локусов *GH/Hae III* и *GDF9/AspIEI* в выборках разных пород овец, была значительно выше (на 6,4%) у ярок дагестанской горной породы (Республика Дагестан) по сравнению с породой лакон (Краснодарский край), составившей, в среднем, в предгорье Дагестана – 79,9, в предгорье Краснодарского края – 73,5%. При этом число эффективно действующих аллелей (Na), в исследуемых популяциях, варьировало от 1,29 до 1,47. Уровень генетической изменчивости в популяции овец породы лакон оказался достаточно высоким и составил – 23,7, против 17,0% – у овец дагестанской горной, с разницей в 39,4%. О недостатке гетерозигот в обеих популяциях свидетельствует и показатель теста гетерозиготности (ТГ). Полиморфизм генов *GH/HaeIII* и *GDF9/AspIEI*, как известно по описанию многими исследователями, влияет на множество процессов в организме. Однако информации об изучаемых полиморфизмах генов и участие в формировании иммунного статуса, реактивности не много, а на овцах разных пород, разводимых в различных природно-географических зонах, это вовсе не исследовалось. Также известно, что от иммунной реактивности организма напрямую зависят интенсивность роста и развития, что в период активного развития и роста овец особенно важно.

Так как становление иммунного статуса и процесса индивидуального развития находится под генетическим контролем [13], то о формировании защитного потенциала судили по уровню генетически детерминированных Т-, В-клеток и их субпопуляций в периферической крови ярок овец дагестанской горной породы и лакон с разными генотипами по генам *GH/HaeIII* и *GDF9/AspIEI*. Анализируя полученные показатели, характеризующие иммунную реактивность (Т-, В-клеток), было установлено, что у ярок дагестанской горной породы с гомозиготными *GH/HaeIII^{BB}* и *GDF9/AspIEI^{AA}* генотипами количество Т- и В-лимфоцитов было сравнительно выше, по сравнению с аналогами *GH/HaeIII^{AA}* и *GDF9/AspIEI^{GG}* и составило: 0,71 и 0,55; 0,65 и 0,37 $\times 10^9/n$ – против 0,62 и 0,48; 0,57 и 0,32 $\times 10^9/n$, соответственно (табл. 5).

Относительно взаимоотношений между субпопуляциями (Т-хелперами и Т-супрессорами) было установлено, что в крови ярок дагестанской горной породы *GH/HaeIII^{BB}* и *GDF9/AspIEI^{AA}* генотипов, по сравнению с аналогами *GH/HaeIII^{AA}* и *GDF9/AspIEI^{GG}*, мигрировало Т-хелперов больше 0,26; 0,27 и 0,28; 0,34 $\times 10^9/n$, но меньше Т-супрессоров 0,23; 0,24 и 0,33; 0,39 $\times 10^9/n$. Между субпопуляциями такое относительное взаимоотношение оказало влияние на величину ИРИ (иммунорегуляторный индекс). В крови ярок дагестанской горной породы с *GH/HaeIII^{BB}* и *GDF9/AspIEI^{AA}* генотипами показатель ИРИ был выше, чем у *GH/HaeIII^{AA}*

и $GDF9/AspIE^{GG}$, составив 0,93 и 0,79 против 0,70 и 0,69. Также было установлено, что в крови ярок породы лакон носителей желательных гомозиготных генотипов $GH/HaeIII^{BB}$ и $GDF9/AspIE^{AA}$ циркулировало большее количество Т- и В-лимфоцитов, по сравнению с

аналогами $GH/HaeIII^{AA}$ и $GDF9/AspIE^{GG}$ на 22,2 и 24,4%, соответственно. У ярок породы лакон с гетерозиготным $GDF9/AspIE^{AG}$ и гомозиготным $GH/HaeIII^{AA}$ генотипами по сравнению с аналогами ($GDF9/AspIE^{GG}$, $GH/HaeIII^{AB}$) величина (ИРИ) была выше на 17,0 и 6,0%.

Таблица 5. Показатели иммунной реактивности у овец разных пород

Table 5. Indicators of immune reactivity in sheep of different breeds

Генотипы по генам Genotypes by genes	Показатель / Indicator				ИРИ / IRI
	Иммунная реактивность / Immune reactivity, 10 ⁹ /л				
	T-клетки T-cells	B-клетки B-cells	T-супрессоры T-suppressors	T-хелперы T-helpers	
Дагестанская горная порода / Dagestan mountain breed, (n = 26)					
GH/HaeIII ^{AA}	0,62±0,11	0,48±0,07	0,33±0,04	0,23±0,09	0,70
GH/HaeIII ^{BB}	0,71±0,21	0,55±0,08	0,28±0,05	0,26±0,07	0,93
GH/HaeIII ^{AB}	0,67±0,18	0,52±0,13	0,31±0,08	0,25±0,06	0,81
GDF9/AspIEI ^{GG}	0,57 ±0,07	0,32±0,05	0,39±0,06	0,24±0,07	0,61
GDF9/AspIEI ^{AA}	0,65 ±0,06	0,37±0,08	0,34±0,05	0,27±0,06	0,79
GDF9/AspIEI ^{AG}	0,59±0,13	0,35±0,07	0,36±0,07	0,25±0,06	0,69
Порода Лакон / Lakon breed (n = 36)					
GH/HaeIII ^{AA}	0,54±0,08	0,45±0,05	0,33±0,03	0,35±0,05	1,06
GH/HaeIII ^{BB}	0,67±0,10	0,54±0,07	0,36±0,02	0,38±0,03	1,05
GH/HaeIII ^{AB}	0,62±0,05	0,51±0,09	0,37±0,05	0,37±0,06	1,00
GDF9/AspIEI ^{GG}	0,51±0,10	0,39±0,06	0,30±0,01	0,35±0,04	1,17
GDF9/AspIEI ^{AA}	0,64±0,02	0,48±0,01	0,28±0,01	0,30±0,02	1,07
GDF9/AspIEI ^{AG}	0,57±0,02	0,47±0,02	0,34±0,02	0,34±0,02	1,00

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что у каждого генотипа иммунная реактивность индивидуальна и вероятнее всего зависит от генетической программы организма, которая в свою очередь позволяет реагировать ему на негативные факторы окружающей среды. В процессе формирования фенотипа, на всех этапах онтогенеза у особей может, путём интенсивной выработки, корректироваться большее количества лимфоцитов (Т- и В-клеток), Т-хелперов, но меньшее количества Т-супрессоров при недостатке адаптивно-компенсаторных механизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований, их анализа можно заключить, что полученная информация о степени генетической изменчивости, иммунном статусе изучаемых популяций особо важны для получения ответа особенностей формирования приспособительно-компенсаторных механизмов в изменяющихся условиях среды обитания и разведения животных.

На основании молекулярно-генетических и иммунного анализа, с целью дальнейшего их совершенствования, проводимые исследования позволяют более глубоко изучить адаптивные (приспособительные) характеристики у овец разных пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селионова М.И., Чижова Л.Н., Михайленко А.К., Суржикова Е.С., Шарко Г.Н. Оценка адаптационной перестройки овец в разных условиях на основе биомаркеров // Вестник АПК Ставрополя. 2019. N 2(34). С. 19-25.
2. Абдулмуслимов А.М., Хожаков А.А., Бейшова И.С., Юлдашбаев Ю.А., Арилов А.Н., Хататаев С.А. Анализ

3. полиморфизма генов CAST, GH и GDF9 у овец Дагестанской горной породы // Зоотехния. 2020. N 11. С. 5-8.
4. 3 Оздемиров А.А., Акаева Р.А., Алиева П.О., Алиева Е.М., Гамзатова С.К., Гусейнова З.М., Даветеева М.А. Районированная порода овец Дагестана // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. N 4. С. 67-69.
5. 4. Оздемиров А.А., Анаев М.С. Биохимический статус молодняка овец в разные периоды их физиологического состояния при стационарно-пастбищном ведении отрасли // Ветеринарный врач. 2012. N 1. С. 51-54.
6. 5. Силкина С.Ф., Барнаш Е.Н. Морфо-биохимические показатели крови овец каракаевской породы в разных условиях содержания // Овцы, козы, шерстяное дело. 2012. N 2. С. 83.
7. 6. Абонеев В.В., Шумаенко С.Н., Скорых Л.Н. Возрастные особенности морфологического состава крови молодняка овец разных генотипов в онтогенезе // Овцы, козы, шерстяное дело. 2015. N 2. С. 41-42.
8. 7. Лушников В.П., Сазонова И.А., Шпуль С.В. Некоторые гематологические и биохимические показатели крови баранчиков эдильбаевской породы в зависимости от природно-климатической зоны Поволжья // Вестник СГАУ. 2013. N 11. С. 34-38.
9. 8. Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Колосов Ю.А., Широкова Н.В. Генетическая структура стада по генам GDF9, GH у овец Волгоградской и эдильбаевской пород // Аграрно-пищевые инновации. 2021. N 2(14). С. 51-59.
10. 9. Kolosov Yu.A., Getmantseva L.V., Shirockova N.V. et al. Polymorphism of the GDF9 Gene in Russian Sheep Breeds // Cytol. & Histol. 2015. V. 6. Iss. 1. Article number: 305. DOI: 10.4172/2157-7099.1000305
11. 10. Лушников В.П., Фетисова Т.О., Селионова М.И., Чижова Л.Н., Суржикова Е.С. Полиморфизм генов соматотропина (GH), кальпастина (CAST), дифференциального фактора роста (GDF 9) у овец татарстанской породы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. N 1. С. 2-3.

11. Широкова Н.В., Колосов А.Ю., Гетманцева Л.В. Полиморфизм гена дифференциального фактора роста (GDF9) у овец сальской породы // Главный зоотехник. 2014. N 11. С. 22-28.
12. Селионова М.И., Чижова Л.Н., Суржикова Е.С., Подкoryтов Н.А., Подкoryтов А.Т. Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец горно-алтайской породы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. N 1. С. 92-100.
13. Чижова Л.Н., Суржикова Е.С., Забелина М.В., Луцтва Е.Д., Ефимова Н.И. Полиморфизм генов GH, CAST у овец в связи с показателями резистентности // Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. 2020. N 12. С. 75-77.

REFERENCES

1. Selionova M.I., Chizhova L.N., Mikhailenko A.K., Surzhikova E.S., Sharko G.N. Evaluation of the adaptive restructuring of sheep under different conditions based on biomarkers. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the APK of Stavropol]. 2019, no. 2(34), pp. 19-25. (In Russian)
2. Abdulmuslimov A.M., Khozhokov A.A., Beishova I.S., Yuldashbaev Yu.A., Arilov A.N., Khatataev S.A. Analysis of the polymorphism of the CAST, GH and GDF9 genes in sheep of the Dagestan mountain breed. *Zootekhnika* [Zootekhnics]. 2020, no. 11, pp. 5-8. (In Russian)
3. Ozdemirov A.A., Akaeva R.A., Alieva P.O., Alieva E.M., Gamzatova S.K., Huseynova Z.M., Daveteeva M.A. Zoned sheep breed of Dagestan. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Bulletin of the Russian agricultural science]. 2021, no. 4, pp. 67-69. (In Russian)
4. Ozdemirov A.A., Anaev M.S. Biochemical status of young sheep in different periods of their physiological state in stationary-pasture management of the industry. *Veterinarnyi vrach* [Veterinary doctor]. 2012, no. 1, pp. 51-54. (In Russian)
5. Silkina S.F., Barnash E.N. Morpho-biochemical parameters of the blood of sheep of the Karachay breed in different conditions of detention. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo* [Sheep, goats, woolen business]. 2012, no. 2, p. 83. (In Russian)

6. Aboneev V.V., Shumaenko S.N., Skorykh L.N. Age features of the morphological composition of the blood of young sheep of different genotypes in ontogenesis. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo* [Sheep, goats, wool business]. 2015, no. 2, pp. 41-42. (In Russian)
7. Lushnikov V.P., Sazonova I.A., Shpul S.V. Some hematological and biochemical parameters of the blood of lambs of the Edilbaev breed depending on the natural and climatic zone of the Volga region. *Vestnik SGAU* [Bulletin of the SSAU]. 2013, no. 11, pp. 34-38. (In Russian)
8. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Kolosov Yu.A., Shirokova N.V. Genetic structure of the herd by genes GDF9, GH in sheep of the Volgograd and Edilbaev breeds. *Agrarno-pishchevye innovatsii* [Agrarian and food innovations]. 2021, no. 2(14), pp. 51-59. (In Russian)
9. Kolosov Yu.A., Getmantseva L.V., Shirokova N.V. et al. Polymorphism of the GDF9 Gene in Russian Sheep Breeds. *Cytol. & Histol.*, 2015, vol. 6, iss. 1, article number: 305. DOI: 10.4172/2157-7099.1000305
10. Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Selionova M.I., Chizhova L.N., Surzhikova E.S. Polymorphism of somatotropin (GH), calpastatin (CAST), differential growth factor (GDF 9) genes in sheep of the Tatarstan breed. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo* [Sheep, goats, wool business]. 2020, no. 1, pp. 2-3. (In Russian)
11. Shirokova N.V., Kolosov A.Yu., Getmantseva L.V. Polymorphism of the differential growth factor gene (GDF9) in sheep of the Sal breed. *Glavnyi zootekhnik* [Chief livestock specialist]. 2014, no. 11, pp. 22-28. (In Russian)
12. Selionova M.I., Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Podkorytov N.A., Podkorytov A.T. Polymorphism of the CAST, GH, GDF9 genes in sheep of the Gorno-Altai breed. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science]. 2020, vol. 50, no. 1, pp. 92-100. (In Russian)
13. Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Zabelina M.V., Lutsiva E.D., Efimova N.I. Polymorphism of GH, CAST genes in sheep in connection with resistance indicators. *Saratovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni N. I. Vavilova* [Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov]. 2020, no. 12, pp. 75-77. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Абдусалам А. Хожок, Александр И. Суворов отобрали биоматериала для исследований. Алимсолтан А. Оздемиров, Евгения С. Суржикова, Закир К. Гаджиев, Дарья Д. Евлагина провели гематологические и ДНК-исследования, проанализировали данные. Етар М. Алиева и Рабият А. Акаева провели гематологические исследования. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Abdusalam A. Khozhokov and Alexander I. Surov selected biomaterial for research. Alimsoltan A. Ozdemirov, Evgeniya S. Surzhikova, Zakir K. Gadzhiev and Darya D. Evlagina conducted DNA and hematological research and analysed the data. Etar M. Alieva and Rabiya A. Akaeva undertook hematological research. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Алимсолтан А. Оздемиров / Alimsoltan A. Ozdemirov <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>
 Александр И. Суворов / Alexander I. Surov <https://orcid.org/0000-0002-3892-6621>
 Евгения С. Суржикова / Evgeniya S. Surzhikova <https://orcid.org/0000-0002-3955-0902>
 Абдусалам А. Хожок / Abdusalam A. Khozhokov <https://orcid.org/0000-0002-7303-0222>
 Закир К. Гаджиев / Zakir K. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0003-1966-7000>
 Дарья Д. Евлагина / Darya D. Evlagina <https://orcid.org/0000-0001-6101-7293>
 Етар М. Алиева / Etar M. Alieva <https://orcid.org/0000-0002-7437-9231>
 Рабият А. Акаева / Rabiya A. Akaeva <https://orcid.org/0000-0002-5682-6712>