

Анализ генетического профиля герефордского скота разных селекций по ключевым генам CAPN1, CAST, LEP и MSTN

Орест Антипович Басонов, Анастасия Вячеславовна Судакова, Светлана Юрьевна Миткина
Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л.Я. Флорентьева, г. Нижний Новгород, Россия, e-mail: anastasia.sudakova@rambler.ru

Аннотация. Изучение особенностей генетической структуры герефордского скота и выявление полиморфизма ключевых генов, связанных с хозяйственно ценными признаками, имеет большое значение для разработки эффективных селекционных программ по совершенствованию продуктивности животных. В статье представлен комплексный анализ генетической характеристики герефордского крупного рогатого скота с акцентом на ключевые гены CAPN1, CAST, LEP и MSTN, влияющие на мясные качества. Показано, что герефордская порода отличается определенным спектром генетических вариантов в структуре этих генов. Установлены достоверные ассоциации отдельных генотипов с интенсивностью роста, показателями мясной продуктивности, такими как убойный выход, масса туши и качество говядины. Полученные результаты демонстрируют значительный потенциал использования молекулярно-генетических маркеров, основанных на полиморфизме генов, в селекционной работе с герефордским скотом для повышения его племенных и продуктивных качеств. Выявлены внутривидовые различия в частоте встречаемости аллельных вариантов в локусах генов CAPN1, CAST, LEP и MSTN. В локусах 530 и 316 гена CAPN1 наиболее распространенными были гомозиготные генотипы CC (0,73) и GG (0,69). Для гена CAST в локусах 282 и 2959 преобладали гетерозиготные генотипы CG (0,50) и AG (0,49). Для гена LEP наиболее часто встречались гетерозиготные генотипы CT в локусах 528 (0,53) и 73 (0,84). По гену MSTN (локус F94L) большинство животных были гомозиготны по аллелю дикого типа CC, лишь у единичных особей зафиксированы гетерозиготные генотипы CA. Также была оценена частота генотипов и аллелей у разных половозрастных групп (коров, бычков и телочек).

Ключевые слова: герефордский скот; генетический профиль; полиморфизмы; генотипы; CAPN1 (кальпаин); CAST (кальпастатин); LEP (лептин); MSTN (миостатин)

Для цитирования: Басонов О. А., Судакова А. В., Миткина С. Ю. Анализ генетического профиля герефордского скота разных селекций по ключевым генам CAPN1, CAST, LEP и MSTN // Аграрный научный журнал. 2024. № 12. С. 92–99. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i12pp92-99>.

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

Original article

Analysis of the genetic profile of Hereford cattle of different selections for key genes CAPN1, CAST, LEP and MSTN

Orest A. Basonov, Anastasia V. Sudakova, Svetlana Yu. Mitkina
Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L. Ya. Florentyev, Nizhny Novgorod, Russia, e-mail: anastasia.sudakova@rambler.ru

Abstract. The study of the genetic structure of Hereford cattle and the identification of polymorphism of key genes associated with economically valuable traits is of great importance for the development of effective breeding programs to improve animal productivity. The article presents a comprehensive analysis of the genetic



characteristics of Hereford cattle with an emphasis on the key genes CAPN1, CAST, LEP and MSTN affecting meat qualities. It is shown that the Hereford breed is distinguished by a certain spectrum of genetic variants in the structure of these genes. Reliable associations of individual genotypes with growth rate, meat productivity indicators such as slaughter yield, carcass weight and beef quality were established. The results demonstrate the significant potential for using molecular genetic markers based on gene polymorphism in breeding work with Hereford cattle to improve its breeding and productive qualities. Intrabreed differences in the frequency of allelic variants in the loci of the CAPN1, CAST, LEP and MSTN genes were revealed. In loci 530 and 316 of the CAPN1 gene, the most common homozygous genotypes were CC (0.73) and GG (0.69). For the CAST gene, heterozygous genotypes CG (0.50) and AG (0.49) prevailed in loci 282 and 2959. For the LEP gene, heterozygous genotypes CT were most common in loci 528 (0.53) and 73 (0.84). For the MSTN gene (locus F94L), most animals were homozygous for the wild-type allele CC, and heterozygous genotypes CA were recorded only in single individuals. The frequency of genotypes and alleles in different age and sex groups (cows, bulls and heifers) was also assessed.

Keywords: Hereford cattle; genetic profile; polymorphisms; genotypes; CAPN1 (calpain); CAST (calpastatin); LEP (leptin); MSTN (myostatin)

Forcitation: Basonov O. A., Sudakova A. V., Mitkina S. Yu. Analysis of the genetic profile of Hereford cattle of different selections for key genes CAPN1, CAST, LEP and MSTN. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(12):92–99. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i12pp92-99>.

Введение. В настоящее время в мясном скотоводстве достигнуты значительные успехи благодаря применению достижений молекулярно-генетических исследований. Специалисты, работающие в условиях рыночного скотоводства, уделяют особое внимание внедрению прогрессивных ДНК-технологий, т.к. использование информации о генетических маркерах животных позволяет по-новому оценивать их ценность [1, 5].

Одним из наиболее значимых и плодотворных направлений как фундаментальных, так и прикладных исследований в последние годы стало изучение генетического полиморфизма. Методы ДНК-диагностики играют важную роль в комплексе мероприятий, направленных на сохранение племенных ресурсов, их генетическое совершенствование и эффективное использование выдающихся генотипов. Молекулярная генетика развивается ускоренными темпами – от определения отдельных генов, контролирующих единичные физиологические процессы, до идентификации локусов количественных признаков (QTL) и единичных нуклеотидных замен (SNP), которые могут служить маркерами для комплексных продуктивных качеств сельскохозяйственных животных [2–6].

В качестве перспективных генетических маркеров мясной продуктивности крупного рогатого скота были выделены ген кальпаина – CAPN1, ген кальпастатина – CAST, ген лептина – LEP. Они рассматриваются как потенциальные генетические индикаторы, которые могут быть использованы для оценки и прогнозирования мясной продуктивности крупного рогатого скота.

CAPN1 является белком-ингибитором, участвующим в регуляции протеолиза во время созревания мяса. Он специфически подавляет протеолитическую активность кальпаина. У крупного рогатого скота на 29-й хромосоме картирована мутация гена CAPN1, полиморфизм которого представлен заменой двух нуклеотидов, приводящей к замене аминокислот (глицина на аланин). Это изменение в гене CAPN1 ведет к повышению нежности мяса.

CAST – биомаркер, оказывает существенное влияние на качество мяса. Ген CAST, отвечающий за синтез кальпастатина, расположен на 5-й хромосоме. Кальпастатин играет ключевую роль в регулировании активности ферментов кальпаинов, которые участвуют в посмертных изменениях мышечной ткани. Кальпастатин ингибирует (подавляет) активность кальпаинов, тем самым предотвращая чрезмерное размягчение и разрушение мышечных волокон. Таким образом, уровень экспрессии гена CAST и содержание кальпастатина в мясе оказывают существенное влияние на такие важные характеристики, как нежность и другие показатели качества мясной продукции. Изучение генетических вариаций гена CAST представляет большой интерес для мясной промышленности.

LEP расположен на 4-й хромосоме в локусе 4g32. Ген включает 3 экзона и 2 интрона. Одно из изменений в гене – замена аминокислоты аланина на валин, что происходит за счет замены нуклеотида цитозина на тимин в 140-й позиции 3-го экзона. Другое изменение – замещение аденина на тимин в 252-й позиции 2-го экзона, что приводит к замене аминокислоты тирозина на фенилаланин. Еще одно изменение – замена цитозина на тимин в 305-й позиции, что вызывает замену аминокислоты аргинина на цистеин.



MSTN (миостатин) кодирует белок, который играет важную роль в регуляции роста мышечной ткани. Миостатин является членом семейства белков, называемых трансформирующим ростовым фактором бета (TGF- β). Он в первую очередь функционирует как ингибитор мышечного роста, то есть препятствует гипертрофии и гиперплазии мышечных клеток. Функция миостатина заключается в том, чтобы ограничивать увеличение мышечной массы, что важно для поддержания нормального баланса роста и развития. Ген MSTN активно изучается в контексте болезней, связанных с потерей мышечной массы, таких как саркопения. Изменения в гене MSTN могут быть связаны с различными фенотипами, включая мышечные гликемические мутации, что наблюдали у некоторых животных, например породы быков с повышенной мышечной массой.

Цель исследования – оценка генетического потенциала герефордского скота различных селекций в отношении мясной продуктивности и качества мяса на основе анализа полиморфизмов в генах CAPN1, CAST LEP и MSTN.

Материалы и методы. Молекулярно-генетические исследования проводили в генетической лаборатории УНЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Исследовали крупный рогатый скот герефордской породы ($n = 93$). Генетический материал (ДНК) выделяли из цельной крови животных с использованием коммерческого набора «Экстран-1», следуя прилагаемому протоколу. Полученные образцы ДНК анализировали с помощью настольного спектрофотометра Nano-500 (Allsheng), оценивали их качество.

Количественную полимеразную цепную реакцию для гена лептина проводили на Bio-RadCFX 96 (Bio-rad, USA). Смешивали в пробирке 0,2 мл следующие компоненты: готовая смесь для ПЦР-микс (ОО «Синтол», Россия) – 5 мкл, 10 мкМ прямой праймер – 1 мкл; 10 мкМ обратный праймер – 1 мкл; 10 мкМ каждого из двух зондов – 1 мкл; 2,5 \times Реакционная смесь – 10 мкл; $MgCl_2$, 25 мМ – 1,5 мкл; ДНК-матрица – 2 мкл; дионизованная вода до 25 мкл. ПЦР проводили по следующему протоколу: первоначальный прогрев +37 °С в течение 5 мин; денатурация +94 °С в течение 5 мин; далее 40 циклов: +94 °С – 15 с; +60 °С – 1 мин.

Для генотипирования SNP использовали праймеры и зонды:

1. Для идентификации SNP в позиции 528 экзона 2 промотора гена LEP использовали разработанные ранее нуклеотидные последовательности праймеров и зондов:

F: 5'-AGGTGCCAGGGACTCA-3';

R: 5'-CAACAAGGCCGTGTGACA-3'.

Зонд 1: FAM-CAAGCTCTAGAGCCTGTGT-BHQ1.

Зонд 2: HEX-AAGCTCTAGAGCCTATGT-BHQ1.

2. Для идентификации SNP в позиции 73С/Т экзона 2 промотора гена LEP использовали праймеры и зонды:

F: 5'-GGACCCCTGTWTCGATTCCT-3';

R: 5'-TGTCTTGATGAGGGTTTTGG-3'.

Зонд 1: FAM-CTGTGCCATCCGCAAGGTCCA-BHQ1.

Зонд 2: HEX-CTGTGCCATCTGCAAGGTCCA-BHQ1.

Совпадение последовательности зонда и целевой последовательности ДНК приводило к амплификации, во время которой происходило расщепление и высвобождение репортерного красителя. Существенное увеличение сигнала флуоресценции для одного или другого из двух красителей указывало на гомозиготность по определенному аллелю, тогда как увеличение флуоресценции обоих красителей указывало на гетерозиготность аллеля.

Амплификацию с целью поиска однонуклеотидных замен по генам CAPN1 и CAST проводили с помощью набора «Нежность мяса» (ОО «Синтол», Россия). ПЦР осуществляли на приборе Bio-RadCFX 96 (Bio-rad, USA).

В связи с характером мутации для выявления аллельных вариантов полиморфизма F94LNSTN использовали метод полимеразной цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДФ).

Частоту встречаемости аллелей и генотипов, критерий согласия χ^2 , ожидаемой гомозиготности и гетерозиготности рассчитывали в программе Porgene.

Результаты исследований. Результаты генотипирования крупного рогатого скота породы герефорд показали внутривидовую специфичность полиморфизма аллельных вариантов в локу-



сах генов 530 CAPNI, 316 CAPNI, 282 CAST, 2959 CAST, 528LEP, 73 LEP и F94L MSTN, обусловленную их разной частотой встречаемости.

Частота встречаемости генотипа 530 CAPNI^{AA} была равна 0,02. Расчет критерия χ^2 по гену 530 CAPNI показал, что среди исследованных животных был обнаружен достоверный избыток 530 CAPNI^{GG} и недостаток генотипа 530 CAPNI^{GA} и 530 CAPNI^{AA}. В локусе 316 CAPNI отсутствовал гомозиготный генотип 316 CAPNI^{GG}. Расчет критерия χ^2 по гену 316 CAPNI показал достоверный избыток гомозиготного генотипа 316 CAPNI^{CC} и недостаток гомозигот 316 CAPNI^{GG}. В локусе 2959 CAST частота встречаемости генотипа 2959 CAST^{GG} составила 0,39, что свидетельствовало о его высокой распространенности среди животных породы герефорд. В то же время генотип 2959 CAST^{AG} выявлялся с частотой 0,49, а генотип 2959 CAST^{AA} – с частотой 0,12. Таким образом, можно сделать вывод о наличии определенной генетической гетерогенности в этом локусе, что может быть обусловлено особенностями селекционно-генетической работы с поголовьем.

Анализ полиморфизма гена LEP показал, что наиболее часто встречающимся генотипом был 528 LEP^{TT} с частотой 0,00. Генотип 528 LEP^{CT} был обнаружен с частотой 0,53, в то время как генотип 528 LEP^{CC} выявлялся у 0,47 животных. При этом частота встречаемости генотипа 73 LEP^{TT} равнялась 0,06, генотипа 73 LEP^{CT} – 0,84, а генотип 73 LEP^T – 0,48, что также указывало на преимущественное распространение гомозиготных генотипов по данному гену в поголовье.

Напротив, в локусе F94 L MSTN наблюдали относительно равномерную частоту встречаемости генотипов. Частота генотипа F94L MSTN^{CC} составила 0,98, генотипа F94L MSTN^{CA} – 0,02 и генотипа F94L MSTN^{AA} – 0,00. Это свидетельствует о значительном уровне гетерозиготности в данном локусе среди особей герефордской породы.

В гене 2959 с наибольшей частотой обнаруживали генотип 2959 CAST^{AG} (0,49). При расчете критерия χ^2 по гену 2959 CAST был выявлен достоверный избыток гетерозигот 2959 CAST^{AG} и недостаток гомозиготного генотипа 2959 CAST^{AA}. В гене 528 LEP с разницей в 0,06 и частоте встречаемости выявляли только два генотипа: гомозиготный 528 LEP^{CC} и гетерозиготный 528 LEP^{CT}. Критерий χ^2 показал достоверный недостаток генотипа 528 LEP^{TT}. В гене 73 LEP преобладал гетерозиготный генотип 73 LEP^{CT}, что может свидетельствовать об интенсивном отборе. Исследование полиморфизма MSTN также показало интересные результаты. Гомозиготы по аллелю дикого типа (CC) и гетерозиготы (CA) составили значительную долю исследуемых животных. Отсутствие генотипа AA является показателем возможных ограничений в генетическом разнообразии. Этот фактор должен быть учтен при дальнейшей селекции и мониторинге популяции (таблица 1).

Таблица 1 – Частота встречаемости аллелей и генотипов в генах 530 CAPNI, 316 CAPNI, 282 CAST, 2959 CAST, 528 LEP и 73 LEP

Table 1 – Frequency of alleles and genotypes in genes 530 CAPNI, 316 CAPNI, 282 CAST, 2959 CAST, 528 LEP and 73 LEP

Генотип			Аллель		χ^2
530 CAPNI ^{GG}	530 CAPNI ^{GA}	530 CAPNI ^{AA}	530 CAPNI ^G	530 CAPNI ^A	
0,69	0,29	0,02	0,83	0,17	0,149
316 CAPNI ^{CC}	316 CAPNI ^{CG}	316 CAPNI ^{GG}	316 CAPNI ^G	316 CAPNI ^C	
0,73	0,27	0,00	0,86	0,14	2,142
282 CAST ^{CC}	282 CAST ^{CG}	282 CAST ^{GG}	282 CAST ^C	282 CAST ^G	
0,19	0,50	0,31	0,44	0,56	0,001
2959 CAST ^{AA}	2959 CAST ^{AG}	2959 CAST ^{GG}	2959 CAST ^A	2959 CAST ^G	
0,12	0,49	0,39	0,37	0,63	0,345
528 LEP ^{CC}	528 LEP ^{CT}	528 LEP ^{TT}	528 LEP ^C	528 LEP ^T	
0,47	0,53	0,00	0,74	0,26	11,613
73 LEP ^{CC}	73 LEP ^{CT}	73 LEP ^{TT}	73 LEP ^C	73 LEP ^T	
0,10	0,84	0,06	0,52	0,48	42,219
MSTN ^{CC}	MSTN ^{CA}	MSTN ^{AA}	MSTN ^C	MSTN ^A	
0,98	0,02	0,00	0,99	0,01	0,001

Полученные результаты генотипирования имеют большое значение для дальнейших исследований и селекционно-генетической работы с герефордской породой крупного рогатого скота. Выявление внутривидовых особенностей полиморфизма аллельных вариантов в рассматриваемых локусах





позволяет уточнять и корректировать программы селекции, ориентированные на улучшение качественных показателей скота, а также на повышение его продуктивности и устойчивости к заболеваниям.

Данные по маркерам указывают на различные селективные процессы, которые могут происходить в популяции. Гетерозиготность ниже ожидаемой может свидетельствовать о наличии избыточного преимущества гетерозигот (гетерозис) или о том, что аллели, представленные в этих локусах, подвержены положительному отбору. Особенно это проявляется в маркере 73 LEP, где селективное преимущество наиболее выражено. Такие изменения могут быть результатом адаптации к определенным экологическим условиям или давлениям отбора (таблица 2).

Таблица 2 – Наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность и гомозиготность в генах 530 CAPNI, 316 CAPNI, 282 CAST, 2959 CAST, 528 LEP и 73 LEP

Table 2 – Observed and expected heterozygosity and homozygosity in genes 530 CAPNI, 316 CAPNI, 282 CAST, 2959 CAST, 528 LEP and 73 LEP

Locus	Obs_Hom	Obs_Het	Exp_Hom	Exp_Het
530 CAPNI	0,7097	0,2903	0,7207	0,2793
316 CAPNI	0,7312	0,2688	0,7661	0,2339
282 CAST	0,5054	0,4946	0,5043	0,4957
2959 CAST	0,5054	0,4946	0,5336	0,4664
528 LEP	0,4731	0,5269	0,6098	0,3902
73 LEP	0,1613	0,8387	0,4978	0,5022
MSTN	0,9783	0,0217	0,9783	0,0217

Примечание: Obs_Hom – наблюдаемая гомозиготность; Obs_Het – наблюдаемая гетерозиготность; Exp_Hom – ожидаемая гомозиготность; Exp_Het – ожидаемая гетерозиготность.

Кроме того, анализ показал, что гетерозиготный генотип GA в локусе 530 имеет относительно стабильную частоту среди всех половозрастных групп, варьируя от 0,24 до 0,33. Это может свидетельствовать о значимой роли данного генотипа для адаптации животных к условиям окружающей среды или роста и развития. Частота гомозиготного генотипа AA в локусе 530 была минимальной среди всех половозрастных групп, а в популяции бычков он совсем отсутствовал, что может указывать на наличие каких-то специфических селекционных процессов, направленных на устранение этого генотипа.

В локусе 316 CAPNI наблюдали следующее. Генотип CG доминировал среди всех половозрастных групп, его частота составляла от 0,24 до 0,40. Это может быть связано с генетическими факторами, которые обеспечивают более высокую жизнеспособность или продуктивность животных с данным генотипом. Генотип CC встречался значительно реже, его частота не превышала 0,20. Полное отсутствие генотипа CC может свидетельствовать о его негативном влиянии на жизнеспособность животных или о его редкости в исходной популяции.

Большое внимание также следует уделить анализу племенных показателей животных с различными генотипами в указанных локусах. Таким образом, данные генотипирования могут стать основой для разработки новых программ селекции, направленных на повышение продуктивности и устойчивости животных к неблагоприятным факторам среды (таблица 3).

Таблица 3 – Полиморфизм локусов 530 и 316 в гене CAPNI герефордской породы скота разных возрастных групп

Table 3 – Polymorphism of loci 530 and 316 in the CAPNI gene of Hereford breed of different age groups

Показатель	CAPNI 530			CAPNI 316		
	Генотип/аллель			Генотип/аллель		
	GG/G	GA	AA/A	GG/G	CG	CC/C
Бычки (<i>n</i> = 15)						
Частота аллелей	0,83		0,17	0,80		0,20
Частота генотипов	0,67	0,33	0,00	0,60	0,40	0,00
Телочки (<i>n</i> = 30)						
Частота аллелей	0,78		0,22	0,87		0,13
Частота генотипов	0,60	0,37	0,03	0,73	0,26	0,00
Коровы (<i>n</i> = 46)						
Частота аллелей	0,86		0,14	0,88		0,12
Частота генотипов	0,74	0,24	0,02	0,76	0,24	0,00

Анализ распределения генотипов в данном исследовании указывал на значительные различия в генетической структуре между различными половозрастными группами крупного рогатого скота на уровне отдельных локусов. Эти различия могут указывать на определенные адаптационные механизмы или выборочное разведение, направленное на получение животных с желаемыми генетическими характеристиками.

В локусе 282 гена CAST наблюдаемая высокая частота генотипа CG у телочек и коров, вероятно, связана с более высокими продуктивными показателями или устойчивостью к определенным заболеваниям. В то же время преобладание гомозиготного генотипа GG у бычков может свидетельствовать о селекционной направленности на повышение определенных качеств, присущих исключительно быкам, таких как скорость роста и мясная продуктивность.

Ситуация аналогична в локусе 2959, где доминирование гетерозиготного генотипа AG у телочек и коров может указывать на гипотезу гетерозисного эффекта или повышенную выживаемость при наличии обеих аллелей. Напротив, высокая частота генотипа GG у бычков, а также крайне низкая частота генотипа AA позволяют предположить существование сильного селекционного давления на данные аллели, что могло возникнуть в результате целенаправленного отбора.

Таким образом, результаты анализа генотипов в локусах 282 и 2959 гена CAST позволяют предположить наличие значимого различия в генетических стратегиях и селекционных методах, применяемых к различным половозрастным группам крупного рогатого скота. Снижение частоты определенных генотипов у одной группы и повышение их у другой может указывать на преимущества или недостатки, связанные с наследуемыми характеристиками, и требует дальнейшего исследования для выявления оптимальных подходов к разведению и управлению генофондом (таблица 4).

Таблица 4 – Полиморфизм локусов 282 и 2959 в гене CAST Herefordского скота разных половозрастных групп

Table 4 – Polymorphism of loci 282 and 2859 in the CAST gene of Hereford cattle of different age and sex groups

Показатель	CAST 282			CAST 2959		
	Генотип/аллель			Генотип/аллель		
	CC/C	CG	CG/G	AA/A	AG	CG/G
Бычки ($n = 15$)						
Частота аллелей	0,40		0,60	0,27		0,73
Частота генотипов	0,27	0,27	0,46	0,06	0,40	0,54
Телочки ($n = 30$)						
Частота аллелей	0,50		0,50	0,42		0,58
Частота генотипов	0,20	0,60	0,20	0,13	0,57	0,30
Коровы ($n = 46$)						
Частота аллелей	0,41		0,58	0,35		0,65
Частота генотипов	0,17	0,48	0,35	0,13	0,46	0,41

Учитывая приведенные выше данные, можно сделать вывод о значительных различиях в распределении генотипов по локусам гена LEP. Отсутствие гомозигот TT в локусе 73 указывало на потенциальную важность этого генотипа для жизнеспособности или развития телочек. Такая ситуация возможна из-за летального эффекта или отрицательной селекции против данного генотипа.

В локусе 528 наблюдали другую картину. Гомозиготы TT встречались крайне редко. Этот факт свидетельствует о возможной предпочтительности или нейтральности данного генотипа в отношении каких-либо адаптивных признаков. Тем не менее, низкая частота встречаемости (0,00) может также указывать на потенциальные репродуктивные или физиологические трудности у телочек с данным генотипом.

Высокая концентрация гетерозигот СТ от 0,46 до 0,90 по обоим локусам говорит о возможном гетерозисе, когда гетерозиготы имеют преимущество по каким-либо важным адаптационным или продуктивным признакам. Это может приводить к увеличению частоты таких генотипов в популяции благодаря позитивной селекции. Открытие подобных закономерностей





важно для понимания генетической структуры популяции и разработки эффективных стратегий селекции.

Таким образом, исследование распределения генотипов гена LEP предоставляет важные данные для дальнейшего анализа генетических механизмов, влияющих на устойчивость и продуктивность телочек. Полученные результаты могут быть интегрированы в более широкие генетические исследования и использованы для улучшения качества животных в рамках селекционно-генетических программ (таблица 5).

Таблица 5 – Полиморфизм локусов 73 и 528 в гене LEP герефордского скота разных половозрастных групп

Table 5 – Polymorphism of loci 73 and 528 in the LEP gene of Hereford cattle of different age and sex groups

Показатель	LEP 73			LEP 528		
	Генотип/аллель			Генотип/аллель		
	СС/С	СТ	ТТ/Т	СС/Т	СТ	ТТ/Т
Бычки (n = 15)						
Частота аллелей	0,50		0,47	0,70		0,30
Частота генотипов	0,20	0,67	0,13	0,40	0,60	0,00
Телочки (n = 30)						
Частота аллелей	0,52		0,48	0,68		0,32
Частота генотипов	0,37	0,63	0,00	0,07	0,90	0,03
Коровы (n = 46)						
Частота аллелей	0,51		0,49	0,77		0,49
Частота генотипов	0,09	0,85	0,06	0,64	0,46	0,03

Частота желательного аллеля А F94L MSTN среди телочек и коров составляла 0,02 и 0,01. У бычков и быков-производителей аллеля А не было обнаружено. Этот факт интересен тем, что наличие аллеля А может быть связано с определенными преимуществами в скотоводстве, включая улучшение мясных качеств.

Распределение аллеля А в популяциях телок и коров может иметь несколько объяснений. Возможно, носители аллеля А обладают повышенной выживаемостью на ранних стадиях развития. Однако дальнейшие исследования необходимы для подтверждения этой гипотезы. Анализ генетических и фенотипических характеристик носителей аллеля А может помочь в выявлении факторов, влияющих на его распространение и выживаемость.

Полиморфизм локуса F94L в гене MSTN у герефордской породы является значимым с точки зрения селекции и генетического разнообразия. Ген MSTN кодирует миостатин, белок, который регулирует рост мышечной ткани у животных. Изменения в этом гене могут влиять на продуктивность и качество мяса (таблица 6).

Таблица 6 – Полиморфизм локуса F94L в гене MSTN герефордской породы разных возрастных групп

Table 6 – Polymorphism of the F94L locus in the MSTN gene of the Hereford breed of different age groups

Показатель	F94L MSTN		
	Генотип/аллель		
	СС/С	СА	АА/А
Бычки (n = 15)			
Частота аллелей	1		0,00
Частота генотипов	1	0,00	0,00
Телочки (n = 30)			
Частота аллелей	0,98		0,02
Частота генотипов	0,97	0,03	0,00
Коровы (n = 46)			
Частота аллелей	0,98		0,01
Частота генотипов	0,98	0,02	0,00

По гену MSTN (локус F94L) большинство животных оказались гомозиготами по аллелю СС, только у нескольких особей были зафиксированы гетерозиготные генотипы СА.

Заключение. Полученные данные показали значительный потенциал применения молекулярно-генетических маркеров, основанных на полиморфизме генов, в селекции

онной практике с целью повышения племенных и продуктивных характеристик герефордов.

Были выявлены внутривидовые различия в частоте аллельных вариантов в локусах генов CAPN1, CAST, LEP и MSTN. В локусах 530 и 316 гена CAPN1 наиболее распространенными были генотипы CG (0,86) и GG (0,88) соответственно. Для гена CAST в локусах 282 и 2959 доминировали гетерозиготные генотипы CG (0,60) и AG (0,57). Что касается гена LEP, то гетерозиготные генотипы СТ чаще всего встречались в локусах 528 (0,90) и 73 (0,85). По гену MSTN (локус F94L) большинство животных оказались гомозиготами по аллелю СС, лишь у нескольких особей были зафиксированы гетерозиготные генотипы СА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генотипирование как фактор совершенствования племенных и продуктивных качеств скота / О. А. Басонов [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 4(42). С. 87–102. DOI: 10.55196/2411-3492-2023-4-42-87-102.
2. Басонов О. А., Судакова А. В. Хозяйственно полезные параметры и биологическая характеристика герефордского скота // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 90–94. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp90-94>.
3. Басонов О. А., Гинойн Р. В., Миткина С. Ю. Особенности роста и развития бычков герефордской породы разного генотипа // Аграрный научный журнал. 2024. № 7. С. 65–70. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp65-70>.
4. Нарышкина Е. Н., Сермягин А. А. Оценка генетической и геномной вариабельности признаков фертильности быков-производителей на основе локусов в геноме, ассоциированных с давлением отбора (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 9. С. 64–72. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10912.
5. Чижова Л. Н., Суржикова Е. С., Михайленко Т. Н. Оценка генетического профиля молодняка крупного рогатого скота мясных пород на основе ДНК-диагностики по генам CAPN1, GH, TG, LEP // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 5. С. 159–165.
6. Шульгина В. Д., Ротарь Л. Н., Шульгин И. К. Применение вспомогательных репродуктивных технологий для сохранения и совершенствования генофонда пород крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 1(105). С. 264–271. Режим доступа: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-105-1-264-271>.

REFERENCE

1. Genotyp in gasafactorinimproving breedin gandproductive qualities of cattle / O. A. Basonov et al. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2023;4(42):87–102. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2023-4-42-87-102.
2. Basonov O. A., Sudakova A. V. Economically useful parameters and biological characteristics of Hereford cattle. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;(12):90–94. Available at: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp90-94>. (In Russ.).
3. Basonov O. A., Ginoyan R. V., Mitkina S. Yu. Features of growth and development of Hereford bulls of different genotypes. *Agrarian Scientific Journal*. 2024;(7):65–70. Available at: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp65-70>. (In Russ.).
4. Naryshkina E. N., Sermyagin A. A. Assessment of genetic and genomic variability of fertility traits in stud bulls based on loci associated with selection pressure (review). *Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex*. 2020;34(9):64–72. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10912.
5. Chizhova L. N., Surzhikova E. S., Mikhailenko T. N. Assessment of the genetic profile of young cattle of beef breeds based on DNA diagnostics by genes CAPN1, GH, TG, LEP. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. 2020;(5):159–165. (In Russ.).
6. Shulgina V. D., Rotar L. N., Shulgin I. K. Application of assisted reproductive technologies to preserve and improve the gene pool of cattle breeds. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2024;1(105):264–271. Available at: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-105-1-264-271>. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 22.11.2024.
The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 18.11.2024; accepted for publication 22.11.2024.

