

ПОЛИМОРФИЗМ БЕЛКОВ СЫВОРОТКИ КРОВИ ДВУХ ЭКОГРУПП ЛОШАДЕЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ

Хаамируев Тимур Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник

Дашинимаев Солбон Мункуевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,

Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
672010 Россия, Забайкальский край, г. Чита, ул. Кирова, 49, e-mail: tnik0979@mail.ru

Ключевые слова: забайкальская порода лошадей, генотип, полиморфизм, гомозиготность, полиморфность, степень генетической изменчивости, индекс генетического сходства

Представлены результаты изучения полиморфных белков крови лошадей забайкальской породы, разводимых в разных эколого-географических зонах (лесостепная ZAB_{LEN} и степная ZAB_{BUD}). У исследуемых экогрупп лошадей в локусе трансферрина идентифицировано 10 типов трансферрина: DO, FF, FH, FO, FR, HH, HO, HR, OO и OR, детерминируемых пятью аллельными генами Tf^D , Tf^F , Tf^H , Tf^O , Tf^R , в локусе Es – 6 типов FF, FG, FI, HH, HG, HI, контролируемые четырьмя аллелями Es^F , Es^G , Es^H , Es^I и в локусе альбумина – 3 типа ALB^A , ALB^B , ALB^{BB} , детерминируемые 2 аллельными генами ALB^A и ALB^B . У лошадей ZAB_{LEN} и ZAB_{BUD} наиболее распространенными по локусу Tf являются генотипы Tf^{HO} (0,29 и 0,34) и Tf^{FO} (0,20 и 0,21), по локусу ALB – ALB^A (0,60-0,79). Для лошадей двух экогрупп частота встречаемости генотипов Tf^{FF} , Tf^{FR} и Tf^{HR} является редкой. Установлено, что у лошадей лесостепной зоны отсутствуют генотипы Tf^{DO} , а степной – Tf^{OR} . По локусу эстеразы у особей ZAB_{LEN} наибольшей частотой отличаются носители генотипа Es^F (0,38), наименьшей – Es^{HH} (0,02) у экогруппы ZAB_{BUD} – Es^{FG} (0,68) и Es^{HI} (0,02), не встречаются лошади-носители генотипа Es^{HI} и Es^{HG} соответственно. У лошадей ZAB_{LEN} достоверно чаще встречаются носители генотипов Tf^{FH} ($P < 0,05$), Tf^{FO} ($P < 0,05$), Es^F ($P < 0,001$) и ALB^{BB} ($P < 0,05$), тогда как у особей ZAB_{BUD} – Es^{FG} ($P < 0,001$) и ALB^A ($P < 0,05$). Анализ частоты аллелей полиморфных белков крови свидетельствует, что у изученных экогрупп лошадей забайкальской породы в локусе трансферрина выявлена наибольшая концентрация аллелей Tf^H (0,23-0,40) и Tf^O (0,31-0,44), в локусе эстеразы – Es^F (0,48-0,52), а в локусе альбумина – ALB^A (0,50-0,56). Экогруппа ZAB_{LEN} имеет достоверно большую концентрацию аллелей Tf^D ($P < 0,001$), Tf^R ($P < 0,05$), Es^H ($P < 0,05$), Es^I ($P < 0,01$), при этом у лошадей ZAB_{BUD} достоверно чаще встречаются Tf^H ($P < 0,01$), Es^G ($P < 0,001$). Уровень гомозиготности был ниже у особей лесостепной экогруппы, соответственно степень генетической изменчивости была выше (60,41 против 57,67%) с более широким диапазоном уровня полиморфности по локусам (2,00-3,36 против 2,00-3,22) в сравнении с лошадьми степной зоны. Индекс генетического сходства составил 0,801, генетическое расстояние – 0,223, что свидетельствует о близком сходстве изученных экогрупп лошадей.

Введение

В настоящее время в условиях рыночной экономики одной из основных задач в коневодстве является повышение его эффективности. Решением этой задачи является интенсификация животноводства с использованием достижений современной генетики [1].

С развитием молекулярно-генетических методов появилась возможность оценивать не только фенотипические различия между породами и их структурными элементами, но и непосредственно генетическую дифференциацию, что необходимо для эффективной селекционной работы с коммерческими стадами и сохранения аборигенных пород [2 - 4].

Проследить процессы микроэволюции популяции возможно с использованием одной из полиморфных систем – полиморфных белков крови животных [5 - 7].

Полиморфизм белков – широко встречаемое явление, обусловленное биологической не-

равноценностью аллотипов, ответственных за их синтез. У сельскохозяйственных животных он широко изучается в связи с тем, что полиморфные системы белков могут различаться по степени реализации своих биологических функций и по возможности их использования в селекции в качестве маркеров при определении хозяйственно-полезных признаков или в клинической практике в качестве указателей на предрасположенность к определенной патологии и уровень резистентности организма [8].

Без необходимого генетического разнообразия животные теряют свои приспособительные качества и становятся неустойчивыми к негативным влияниям окружающей среды, что в конечном результате может привести к снижению плодовитости, жизнестойкости и других хозяйственно-полезных признаков [9].

Под влиянием искусственного отбора возникает необходимость использования иммуногенетической аттестации для установления про-

исхождения и расширения генетического разнообразия [10].

Коневодство в Забайкалье в силу природно-климатических условий играло и будет играть важнейшую роль в жизни местного населения, во многом определяя его экономическое благополучие и быт [11].

По мнению авторов [12] изучение генетической структуры популяции табунных лошадей позволит вовремя оценить генотип пород и, учитывая распространение редких уникальных аллелей, проводить селекцию, способствующую сохранению генофонда локальных пород лошадей [13], управлению степени доминирования отдельных линий и семейств [14], что в дальнейшем повысит эффективность ведения племенной работы в табунном коневодстве [15].

Целью исследований является изучение полиморфизма сывороточных белков лошадей забайкальской породы.

Материалы и методы исследований

Выборка составлена по принципу случайного отбора. Образцы крови экогрупп лошадей забайкальской породы, принадлежащие гено-

фондному хозяйству АКФ им. Ленина (лесостепная зона) Могойтуйского и КФХ «Будажапов Б.Ц.» (степная зона) Агинского районов Забайкальского края, взятые из яремной вены в пробирки с антикоагулянтом, были доставлены с соблюдением требований их транспортировки в лабораторию иммуногенетической экспертизы КГУ «Агинская окружная ветеринарная лаборатория».

Генетическую структуру экогруппы (частоту антигенных факторов) вычисляли по формуле М. Нея:

$$P_i = n_i / N,$$

где P_i – частота антигена в выборке; n_i – число животных-носителей данного антигена; N – общее число животных в выборке.

Уровень гомозиготности рассчитывали по формуле А. Робертсона (1956):

$$Ca = \sum P^2,$$

где, Ca – уровень гомозиготности по одному локусу, а P – частота аллеля в локусе.

Число эффективных аллелей вычисляли по формуле:

$$Na = 1 / Ca,$$

где, Na – число эффективных аллелей, Ca – уровень гомозиготности.

Степень генетической изменчивости популяции (V) выражается через коэффициент (по А. Робертсону):

$$V = 1 - Ca / 1 - 1 / N \times 100$$

где: N – количество животных; Ca – коэффициент гомозиготности.

Индекс генетического сходства вычисляли по формуле К. Majala, G. Lindstrom (1966):

$$r = \frac{\sum (x_i \times y_i)}{\sqrt{\sum x_i^2 \times y_i^2}},$$

где, r – индекс генетического сходства; x_i и y_i – частоты аллелей в сравниваемых экогруппах.

Генетические дистанции между популяциями определяли по формуле М. Нея:

$$DN = -\ln r,$$

где, DN – генетическая дистанция; \ln – логарифм натурального числа; r – индекс генетического сходства.

Полученные экспериментальные данные обработаны методом вариационной статистики (Яковенко А.М., Антоненко Т.И., Селионова М.И., 2013).

Результаты исследований

При исследовании лошадей забайкальской породы были выявлены некоторые различия в распределении генотипов и аллельных частот в зависимости от эколого-географической зоны их разведения (табл. 1, 2).

Таблица 1

Частоты генотипов полиморфных белков крови лошадей

Локус	Генотип	ZAB _{LEN} , n=45		ZAB _{BUD} , n=47	
		n	P_i	n	P_i
Tf	Tf ^{DO}	0	0	1	0,02±0,01
	Tf ^{FF}	1	0,02±0,01	3	0,06±0,03
	Tf ^{FH}	12	0,27±0,04	5	0,11±0,04*
	Tf ^{FO}	9	0,20±0,04	10	0,21±0,06
	Tf ^{FR}	4	0,09±0,03	1	0,02±0,01
	Tf ^{HH}	2	0,04±0,05	7	0,15±0,05
	Tf ^{HO}	13	0,29±0,05	16	0,34±0,07
	Tf ^{HR}	4	0,09±0,03	3	0,06±0,03
	Tf ^{RO}	6	0,12±0,03	1	0,02±0,01*
	Tf ^{OR}	6	0,12±0,03	0	0
Es	Es ^{FF}	3	0,07±0,03	6	0,13±0,05
	Es ^{FG}	8	0,18±0,04***	32	0,68±0,07
	Es ^{FI}	17	0,38±0,05	5	0,11±0,04***
	Es ^{HH}	1	0,02±0,01	3	0,06±0,03
	Es ^{HG}	4	0,09±0,03	0	0
	Es ^{HI}	0	0	1	0,02±0,02
ALB	ALB ^{AA}	9	0,20±0,04	8	0,17±0,05
	ALB ^{AB}	27	0,60±0,05*	37	0,79±0,06
	ALB ^{BB}	9	0,20±0,04	2	0,04±0,03*

Примечание: ZAB_{LEN} – генофондное хозяйство АКФ им. Ленина, ZAB_{BUD} – КФХ «Будажапов Б.Ц.»; P_i – частота антигенов; * - $P < 0,05$; *** - $P < 0,001$

Таблица 2

Частоты аллелей полиморфных белков крови лошадей

Локус	Аллель	ZAB _{LEN} , n=45		ZAB _{BUD} , n=47	
		n	P	n	P
Tf	Tf ^D	0	0	1	0,01±0,01
	Tf ^F	15	0,17±0,04	22	0,23±0,04
	Tf ^H	21	0,23±0,03**	38	0,40±0,05
	Tf ^O	40	0,44±0,05	29	0,31±0,05***
	Tf ^R	14	0,15±0,04	4	0,04±0,02*
Es	Es ^F	43	0,48±0,05	49	0,52±0,05
	Es ^G	12	0,13±0,03***	32	0,34±0,05
	Es ^H	18	0,20±0,04	7	0,07±0,03*
	Es ^I	17	0,19±0,04	6	0,06±0,02**
ALB	ALB ^A	45	0,50±0,05	53	0,56±0,05
	ALB ^B	45	0,50±0,05	41	0,44±0,05

*Примечание: ZAB_{LEN} – генофондное хозяйство АКФ им. Ленина, ZAB_{BUD} – КФХ «Будажапов Б.Ц.»; P – частота аллеля в локусе; * - P<0,05; ** - P<0,01; *** - P<0,001*

леля Tf^D.

Одним из критериев, наглядно характеризующих состояние популяции, являются такие генетические константы, как степень гомозиготности (Ca), уровень полиморфности (Na) и степень генетической изменчивости (V) (табл. 3).

Таблица 3

Уровень гомозиготности, полиморфности и генетической изменчивости

Локус	ZAB _{LEN} , n=45			ZAB _{BUD} , n=47		
	Ca, %	Na, ед.	V, %	Ca, %	Na, ед.	V, %
Tf	29,8	3,36	67,98	31,1	3,22	66,68
Es	32,3	3,10	65,48	39,5	2,53	58,35
ALB	50,0	2,00	47,78	49,9	2,00	47,98
В среднем	37,3	2,82	60,41	40,2	2,58	57,67

Примечание: ZAB_{LEN} – генофондное хозяйство АКФ им. Ленина, ZAB_{BUD} – КФХ «Будажапов Б.Ц.»; Ca – уровень гомозиготности, Ne – число эффективных аллелей, V – степень генетической изменчивости

Наибольший уровень гомозиготности у экогрупп лошадей ZAB_{LEN} и ZAB_{BUD} наблюдается в локусе ALB (49,8-50,0%), наименьший – по трансферразе (29,8-31,1%), в среднем уровень гомозиготности составил 37,3 и 40,2% соответственно.

Степень гомозиготности по трем локусам у особей ZAB_{LEN} составила 8,96%, у ZAB_{BUD} – 7,65%.

Генетическая изменчивость характеризует способность животных адаптироваться к изме-

Наибольший полиморфизм выявлен в локусе трансферрина. Так было идентифицировано 10 типов трансферрина: DO, FF, FH, FO, FR, HH, HO, HR, OO и OR, детерминируемых пятью аллельными генами Tf^D, Tf^F, Tf^H, Tf^O, Tf^R.

У лошадей ZAB_{LEN} и ZAB_{BUD} наиболее распространенными по локусу Tf являются генотипы Tf^{HO} и Tf^{FO}, частота встречаемости составляет 0,29±0,05, 0,34±0,07 и 0,20±0,04, 0,21±0,06 соответственно. Отметим, что у исследованных особей двух хозяйств частота встречаемости генотипов Tf^{FF}, Tf^{FR} и Tf^{HR} является редкой (0,02±0,01 и 0,06±0,03; 0,09±0,03 и 0,02±0,01; 0,09±0,03 и 0,06±0,03). Кроме того установлено, что у экогруппы лошадей генофондного хозяйства АКФ им. Ленина отсутствуют генотипы Tf^{DO}, а в КФХ «Будажапова Б.Ц.» – Tf^{OR}.

В локусе Es установлено 6 типов эстеразы: FF, FG, FI, HH, HG, HI, контролируемые четырьмя генами Es^F, Es^G, Es^H, Es^I. У особой экогруппы ZAB_{LEN} наибольшей частотой отличаются носители генотипа Es^{FI} (0,38), наименьшей – Es^{HH} (0,02) у особой ZAB_{BUD} – Es^{FG} (0,68) и Es^{HI} (0,02) соответственно. Следует выделить, что в генофондном хозяйстве АКФ им. Ленина не встречаются лошади-носители генотипа Es^{HI}, а в КФХ «Будажапов Б.Ц.» – Es^{HG}.

В локусе альбумина выявлено 3 типа ALB^{AA}, ALB^{AB}, ALB^{BB}, детерминируемые 2 аллельными генами ALB^A и ALB^B. При этом, как у лошадей ZAB_{LEN} так и у ZAB_{BUD} чаще встречаются носители генотипа ALB^{AB} (0,60 и 0,79 соответственно), реже ALB^{AA} и ALB^{BB}.

У лошадей ZAB_{LEN} достоверно чаще встречаются носители генотипов Tf^{FH} (P<0,05), Tf^{FO} (P<0,05), Es^{FI} (P<0,001) и ALB^{BB} (P<0,05), тогда как у особой ZAB_{BUD} – Es^{FG} (P<0,001) и ALB^{AB} (P<0,05).

Анализ представленных данных свидетельствует, что у изученных экогрупп лошадей забайкальской породы в локусе трансферрина выявлена наибольшая частота встречаемости аллелей Tf^H (0,23-0,40) и Tf^O (0,31-0,44), в локусе эстеразы – аллель Es^F (0,48-0,52), а в локусе альбумина аллель ALB^A доминировала над аллелем ALB^B, частота которого в двух субпопуляциях варьировала от 0,56 до 1,50.

Экогруппа ZAB_{LEN} имеет достоверно выше концентрацию аллелей в локусе трансферрина Tf^O (P<0,001), Tf^R (P<0,05), в локусе эстеразы Es^H (P<0,05), Es^I (P<0,01), при этом у лошадей ZAB_{BUD} достоверно чаще встречаются аллели Tf^H (P<0,01), Es^G (P<0,001). Следует отметить, что у особой, принадлежащих генофондному хозяйству АКФ им. Ленина, отсутствуют носители ал-

нениям окружающей среды. Популяции с низким уровнем генетической изменчивости более восприимчивы к заболеваниям, изменению климата и др. С другой стороны высокий уровень генетической изменчивости обеспечивает большее биоразнообразие в популяциях, а генетические ресурсы являются потенциальным источником полезных селекционных признаков.

Полученные результаты свидетельствуют, что степень генетической изменчивости выше в экогруппе лошадей генофондного хозяйства АКФ им. Ленина (60,41 против 57,67 %) с более широким диапазоном уровня полиморфности (число эффективно действующих аллелей) по локусам (2,00-3,36 против 2,00-3,22).

У изучаемых экогрупп лошадей наибольшим уровнем полиморфности обладает локус трансферрина (3,22-3,36 ед.), наименьшим – локус альбумина (2,00 ед.). Число эффективных аллелей в экогруппе ZAB_{LEN} в среднем составило 2,82, у особей ZAB_{BUD} – 2,58 ед.

На основании выявленных частот антигенов мы рассчитали индексы генетического сходства и дистанцию между изученными экогруппами лошадей. Величина индекса до 0,50 указывает на значительную генетическую разобщенность сравниваемых пород, от 0,50 до 0,80 – на имеющиеся генетические различия, от 0,80 до 1,00 – на близкое сходство [16].

В наших исследованиях индекс генетического сходства составил 0,801, генетическое расстояние – 0,223, что свидетельствует о близком сходстве изученных экогрупп лошадей.

Обсуждение

В настоящее время большое внимание уделяется методам, позволяющим оценивать их приспособительные качества, обеспечивающие разведение животных в разных эколого-кормовых зонах. То есть, выявлять тот спектр адаптационных преобразований, который обеспечивает жизнедеятельность организма в конкретных условиях обитания [17] и поддерживать высокий уровень генетического биоразнообразия для сохранения аборигенных пород во избежание неблагоприятных последствий инбридинга [18]. Значительная роль в процессе адаптации отводится генетическому полиморфизму, который является мерой генетической изменчивости, обеспечивая организму ту пластичность, которая необходима для выживания в создавшихся условиях выращивания [19].

Результаты наших исследований по изучению биохимического полиморфизма крови лошадей забайкальской породы показали, что особи двух экогрупп несколько отличаются по генетиче-

ской структуре в зависимости от зоны разведения. Так у лошадей, разводимых в лесостепной зоне (ZAB_{LEN}) достоверно чаще встречаются носители генотипов T^{FH} (P<0,05), T^{FO} (P<0,05), E^{FI} (P<0,001) и ALB^{BB} (P<0,05) и не встречаются T^{FO}, E^{HI}, тогда как у экогруппы степной зоны (ZAB_{BUD}) – E^{FG} (P<0,001) и ALB^{AB} (P<0,05) и T^{FOR}, E^{HG} генотипы соответственно. В локусе эстеразы наиболее часто встречаются генотипы E^{FG} (0,18-0,68), в локусе альбумина – ALB^{AB} (0,60-0,79). Схожие результаты были получены в исследованиях [20], где частота встречаемости у лошадей-носителей якутской породы генотипа E^{FG} составила 0,507, ALB^{AB} – 0,582. При этом авторы цитируемой работы отмечают высокую концентрацию генотипа T^{FF} (0,2388) и низкую T^{HO} (0,0149), тогда как наши результаты свидетельствуют об обратном – выявлена высокая частота встречаемости генотипа T^{HO} (0,29-0,34) и низкая T^{FF} (0,02-0,06).

Повышение уровня гомозиготности (особенно по полиморфным локусам) сигнализирует об обеднении генофонда и появлении инбредной депрессии, что может иметь пагубные последствия для селекционируемых признаков [21, 22].

В наших исследованиях средний уровень гомозиготности у экогруппы лошадей лесостепной зоны был ниже, чем у особей степной зоны на 2,9 абс.%, при большем диапазоне эффективно действующих аллелей (+0,24 ед.), что нашло отражение в степени генетической изменчивости, уровень которой оказался выше на 2,74 абс. %.

По мнению [23] степень генетической изменчивости популяций животных характеризует формирование адаптационных механизмов в изменяющихся условиях среды их обитания. Так, в исследованиях авторов установлено, что у крупного рогатого скота кавказской бурой породы, разводимого в горной зоне Дагестана, уровень полиморфности и генетической изменчивости был выше, чем у особей предгорной зоны на 0,15 единиц и 8,2 абс.% соответственно.

Изучение биохимического полиморфизма крови лошадей карачаевской породы, разводимых в различных эколого-географических зонах (высокогорье и предгорье), не выявило между ними достоверных отличий. Так средняя степень гомозиготности у высокогорной популяции лошадей составила 56,5%, полиморфности – 2,3 и генетической изменчивости – 44,0%, против 56,1; 2,3 и 44,5% соответственно [24].

Заключение

Таким образом, сравнительный анализ изученных экогрупп аборигенных лошадей за-

байкальской породы, разводимых в различных эколого-географических зонах, свидетельствует, что имеются некоторые различия по частотам встречаемости отдельных генотипов и аллелей. У лошадей лесостепной экогруппы достоверно выше концентрация аллелей Tf^o (P<0,001), Tf^r (P<0,05), Es^h (P<0,05), Es^l (P<0,01), у особей степной экогруппы – Tf^h (P<0,01), Es^g (P<0,001). При этом уровень гомозиготности у лошадей лесостепной зоны разведения ниже, что обусловило большую их генетическую изменчивость с более широким спектром степени полиморфности.

Величина генетического сходства и расстояния указывает на близкую схожесть изученных лошадей забайкальской породы лесостепной и степной зон разведения.

Результаты исследования полезны в плане накопления новых знаний по генетическому биоразнообразию лошадей забайкальской породы и будут способствовать лучшему пониманию адаптационных механизмов табунных лошадей к конкретным эколого-кормовым условиям разведения.

Библиографический список

1. Додохов, В. В. Полиморфизм белков сыворотки крови лошадей якутской породы / В. В. Додохов, Н. П. Филиппова // Потенциал современной науки. - 2015. - № 4(12). - С. 70-75.
2. Анисимова, Е. И. Иммуногенетические показатели в селекции крупного рогатого скота симментальской породы / Е. И. Анисимова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2019. - № 20(4). - С. 398-406. – URL: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.398-406>
3. Кузнецов, В. М. Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом / В. М. Кузнецов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2021. - № 22(2). - С. 167-187. - DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.167-187>
4. Variability of mitochondrial DNA D-loop sequences in Zabaikalskaya horse breed / L. A. Khrabrova, N. V. Blohina, B. Z. Bazaron, T. N. Khamiruev // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2021. - № 25(5). - С. 486-491. - DOI 10.18699/VJ21.055
5. Мониторинг генетической структуры красно-пестрой и красных пород в племенных стадах / Н. Г. Букаров, Т. А. Князева, А. А. Новиков, А. И. Хрунова, Н. С. Марзанов // Молочное и мясное скотоводство. - 2016. - № 5. - С. 8-12.
6. Кузнецов, В. М. Методы Нея для анализа генетических различий между популяциями / В. М. Кузнецов // Проблемы биологии продуктивных животных. - 2020. - № 1. - С. 91-110. - DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbio.2020.1.91-110
7. Генетическое маркирование в племенном скотоводстве / А. А. Новиков, Н. Г. Букаров, Н. Г. Рыжова, А. И. Хрунова, М. И. Дунин // Зоотехния. - 2019. - № 5. - С. 2. - DOI: 10.25708/ZT.2019.29.37.002.
8. Румянцева, Н. В. Полиморфизм трансферринов сыворотки крови цыплят-бройлеров и его связь с обменом железосодержащих белков / Н. В. Румянцева, В. М. Холод // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена знака почета государственная академия ветеринарной медицины. - 2010. - № 1-1. - С. 265-267.
9. Зоотехническая и генетическая характеристика лошадей янского типа якутской породы / В. В. Додохов, Н. П. Филиппова, Н. П. Степанов, М. Н. Мартынов // Коневодство и конный спорт. - 2015. - № 3. - С. 34-36.
10. Генетическая структура лошадей якутской породы по полиморфным белкам сыворотки крови / В. В. Додохов, Н. П. Филиппова, Н. П. Степанов, Н. Н. Павлова // Достижения науки и техники АПК. - 2016. - Т. 30, № 11. - С. 100-102.
11. Базарон, Б. З. Биохимические показатели крови лошадей забайкальской породы / Б. З. Базарон, Г. М. Шкуратова, С. М. Дашинимаев // Ветеринария. - 2018. - № 7. - С. 53-56.
12. Изменчивость полиморфизма белков крови лошадей табунных пород Якутии / А. В. Чугунов, Н. П. Филиппова, М. Н. Халдеева, Н. П. Степанов // Наука и образование. - 2014. - № 2(74). - С. 78-81.
13. Оценка генетического разнообразия в популяциях тувинских лошадей по локусам систем крови и микросателлитным ДНК / Р. Б. Чысыма, Л. А. Храброва, А. М. Зайцев, Е. Ю. Макарова, Ю. Н. Федоров, Б. М. Луду // Сельскохозяйственная биология. - 2017. - Т. 52, № 4. - С. 679-685. - DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.679rus
14. Усманов, Р. А. Генетическое состояние конематок кушумской породы в Астраханской области / Р. А. Усманов, А. Р. Лозовский // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 5. - С. 610.
15. Блохина, Н. В. Анализ генетической структуры новоалтайской породы лошадей с учетом аллелофонда базовых пород / Н. В. Блохина, М. А. Царева // Агробиотехника. - 2019. - Т. 2, № 2. - С. 4. - DOI: 10.15838/alt.2019.2.2.4
16. Грашин, А. А. Генетический контроль структуры скота самарского типа черно-пестрой породы / А. А. Грашин, А. Г. Мещеряков, В. А. Грашин // Молочное и мясное скотоводство. -

2017. - № 8. - С. 13-16.

17. Роль геномной оценки в разведении молочного скота / И. Н. Янчуков, А. Н. Ермилов, С. Н. Харитонов, М. Глуценко // Молочное и мясное скотоводство. - 2013. - № 8. - С. 6-8.

18. Особенности SSR-полиморфизма лошадей / Н. А. Глинская, Е. И. Приловская, Д. А. Каспирович, О. А. Епишко, Е. С. Чебуранова // Вестник Полесского ГУ: Серия природоведческих наук. - 2017. - № 1. - С. 8-13.

19. Оценка адаптационной перестройки овец в разных условиях на основе биомаркеров / М. И. Селионова, Л. Н. Чижова, А. К. Михайленко, Е. С. Суржикова, Г. Н. Шарко // Вестник АПК Ставрополя. - 2019. - № 2(34). - С. 19-25.

20. Изучение особенностей аллелофонда по полиморфным системам крови молодняка якутских лошадей ООО «Хоробут» / В. К. Евсюкова, С. И. Степанова, С. Р. Плотников, С. А. Герасимов // Агрэкоинфо. - 2022. - № 6. - С. 6.

21. Leroy, G. Inbreeding depression in

livestock species: review and meta analysis / G. Leroy // Animal Genetics. - 2014. - Vol. 45, No 5. - P. 618-628. - DOI: 10.1111/age.12178.

22. Genome-wide mapping and estimation of inbreeding depression of semen quality traits in a cattle population / M. Ferenčaković, J. Sölkner, M. Kapš, I. Curik // Dairy Science. - 2017. - Vol. 100, No 6. - P. 4721-4730. - DOI: 10.3168/jds.2016-12164.

23. Гематологический профиль, генетическая изменчивость молочного скота кавказской бурой породы в разных эколого-географических зонах / А. А. Оздемиров, Л. Н. Чижова, А. А. Хожоков, Е. С. Суржикова, А. К. Михайленко // Юг России: экология, развитие. - 2021. - Т. 16, № 4. - С. 146-151. - DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-146-151

24. Целовальникова, М. И. Особенности аллелофонда по биохимическому полиморфизму крови лошадей карачаевской породы / М. И. Целовальникова, Л. В. Ольховская, С. В. Криворучко // Сборник научных трудов Ставропольского НИИЖК. - 2009. - Т. 1, № 1-1. - С. 114-117.

POLYMORPHISM OF BLOOD SERUM PROTEINS OF TWO ECOGROUPS OF TRANSBAIKAL BREED HORSES

Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M.

Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia - branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 672010 Russia, Trans-Baikal Territory, Chita, Kirova st., 49, e-mail: tnik0979@mail.ru

Key words: Transbaikal horse breed, genotype, polymorphism, homozygosity, polymorphism, degree of genetic variability, genetic similarity index

The results of a study of polymorphic blood proteins of horses of the Transbaikal breed bred in different ecological and geographical zones (forest-steppe ZAB_{LEN} and steppe ZAB_{BUD}) are presented. Ten types of transferrin were identified at the transferrin locus in the studied ecological groups of horses: DO, FF, FH, FO, FR, HH, HO, HR, OO and OR, determined by five allelic genes T^f⁰, T^f¹, T^f², T^f³, T^f⁴, in the Es locus - 6 types FF, FG, FI, HH, HG, HI, controlled by four alleles Es^f, Es^g, Es^h, Esⁱ and in the albumin locus - 3 types ALB^{AA}, ALB^{AB}, ALB^{BB}, determined by 2 allelic genes ALB^A and ALB^B. The most common genotypes at the T^f locus are T^f⁰ (0.29 and 0.34) and T^f⁰ (0.20 and 0.21) in horses ZAB_{LEN} and ZAB_{BUD} and at ALB locus - ALB^{AB} (0.60-0.79). The frequency of occurrence of T^f^{FF}, T^f^{FR} and T^f^{RR} genotypes is rare for horses of two ecogroups. It was established that horses in the forest-steppe zone do not have T^f⁰ genotypes, and horses in the steppe zone do not have T^f^{RR} genotypes. According to the esterase locus of ZAB_{LEN} individuals, carriers of Es^f genotype (0.38) have the highest frequency, Es^{HH} (0.02) have the lowest frequency in ZAB_{BUD} ecogroup - Es^{FG} (0.68) and Es^{HI} (0.02); horses carrying Es^h and Es^{IG} genotype are not found. ZAB_{LEN} horses are carriers of T^f^{FF} (P<0.05), T^f⁰ (P<0.05), Es^f (P<0.001) and ALB^{BB} (P<0.05) genotypes significantly more frequently, while ZAB_{BUD} individuals have more Es^{FG} (P<0.001) and ALB^{AB} (P<0.05). Analysis of the frequency of alleles of polymorphic blood proteins indicates that in the studied ecogroups of horses of Transbaikal breed have the highest concentration of alleles T^f¹ (0.23-0.40) and T^f⁰ (0.31-0.44) in the transferrin locus, in the esterase locus - Es^f (0.48-0.52), and in the albumin locus - ALB^A (0.50-0.56). The ZAB_{LEN} ecogroup has a significantly higher concentration of alleles T^f⁰ (P<0.001), T^f¹ (P<0.05), Es^f (P<0.05), Esⁱ (P<0.01), while T^f¹ (P<0.01), Es^g (P<0.001) are significantly more common for ZAB_{BUD} horses. The level of homozygosity was lower in individuals of the forest-steppe ecogroup; consequently, the degree of genetic variability was higher (60.41 versus 57.67%) with a wider range of polymorphism levels at loci (2.00-3.36 versus 2.00-3.22) in comparison with horses of the steppe zone. The genetic similarity index was 0.801, the genetic distance was 0.223, which indicates a close similarity of the studied ecogroups.

Bibliography:

1. Dodokhov, V.V. Polymorphism of serum proteins of horses of Yakut breed / V.V. Dodokhov, N.P. Filippova // Potential of modern science. - 2015. - №4(12). - P. 70-75.
2. Anisimova, E.I. Immunogenetic parameters in selection of Simmental cattle / E.I. Anisimova // Agrarian science of the Euro-North-East. - 2019. - №20(4). - P. 398-406. - URL: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.398-406>
3. Kuznetsov, V. M. Assessment of genetic differentiation of populations by molecular analysis of variance / V. M. Kuznetsov // Agricultural Science of the Euro-North-East. - 2021. - №22(2). - P. 167-187. - DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.167-187>
4. Variability of mitochondrial DNA D-loop sequences in Zabaikalskaya horse breed / L. A. Khrabrova, N. V. Blohina, B. Z. Bazaron, T. N. Khamiruev // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. - 2021. - №25(5). - P. 486-491. - DOI 10.18699/VJ21.055
5. Monitoring the genetic structure of red-and-white and red breeds in breeding herds / N. G. Bukarov, T. A. Knyazeva, A. A. Novikov, A. I. Khrunova, N. S. Marzanov // Dairy and beef cattle breeding. - 2016. - №5. - P. 8-12.
6. Kuznetsov, V. M. Ney's methods for analyzing genetic differences between populations / V. M. Kuznetsov // Problems of biology of productive animals. - 2020. - №1. - P. 91-110. - DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.1.91-110
7. Genetic marking in livestock breeding / A. A. Novikov, N. G. Bukarov, N. G. Ryzhova, A. I. Khrunova, M. I. Dunin // Zootechniya. - 2019. - №5. - P. 2. - DOI: 10.25708/ZT.2019.29.37.002
8. Rummyantseva, N.V. Polymorphism of transferrins in blood serum of broiler chickens and its connection with metabolism of iron-containing proteins / N.V. Rummyantseva, V.M. Kholod // Scientific notes of the educational institution of Vitebsk Order of Honor State Academy of Veterinary Medicine. - 2010. - №1-1. - P. 265-267.

9. Zootechnical and genetic characteristics of horses of Yana type of Yakut breed / V. V. Dodokhov, N. P. Filippova, N. P. Stepanov, M. N. Martynov // *Horse breeding and equestrian sport*. - 2015. - №3. - P. 34-36.
10. Genetic structure of horses of Yakut breed according to polymorphic proteins of blood serum / V. V. Dodokhov, N. P. Filippova, N. P. Stepanov, N. N. Pavlova // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. - 2016. - V. 30, №11. - P. 100-102.
11. Bazarov, B. Z. Biochemical blood parameters of horses of the Transbaikal breed / B. Z. Bazarov, G. M. Shkuratova, S. M. Dashinimaev // *Veterinary Medicine*. - 2018. - №7. - P. 53-56.
12. Variability of polymorphism of blood proteins in horses of herd breeds of Yakutia / A. V. Chugunov, N. P. Filippova, M. N. Khaldeeva, N. P. Stepanov // *Science and Education*. - 2014. - №2(74). - P. 78-81.
13. Assessment of genetic diversity in Tuvan horse populations based on blood system loci and microsatellite DNA / R. B. Chysyma, L. A. Khrabrova, A. M. Zaitsev, E. Yu. Makarova, Yu. N. Fedorov, B. M. Ludu // *Agricultural biology*. - 2017. - V. 52, №4. - P. 679-685. - DOI: 10.15389/agrobiol.2017.4.679rus
14. Usmanov, R. A. Genetic state of mares of Kushum breed in Astrakhan region / R. A. Usmanov, A. R. Lozovsky // *Modern problems of science and education*. - 2014. - №5. - P. 610.
15. Blokhina, N.V. Analysis of genetic structure of the Novo-Altai horse breed taking into account the allele pool of the base breeds / N.V. Blokhina, M.A. Tsareva // *Agrozootekhnika*. - 2019. - V. 2, №2. - P. 4. - DOI: 10.15838/alt.2019.2.2.4
16. Grashin, A. A. Genetic control of the cattle structure of Samara type of the black-and-white breed / A. A. Grashin, A. G. Meshcheryakov, V. A. Grashin // *Dairy and meat cattle breeding*. - 2017. - №8. - P. 13-16.
17. The role of genomic assessment in breeding of dairy cattle / I. N. Yanchukov, A. N. Ermilov, S. N. Kharitonov, M. Glushchenko // *Dairy and meat cattle breeding*. - 2013. - №8. - P. 6-8.
18. Features of SSR polymorphism of horses / N. A. Glinskaya, E. I. Prilovskaya, D. A. Kaspirovich, O. A. Epishko, E. S. Cheburanova // *Vestnik of Poleskiy State University: Series of natural sciences*. - 2017. - №1. - P. 8-13.
19. Assessment of adaptive restructuring of sheep in different conditions based on biomarkers / M. I. Selionova, L. N. Chizhova, A. K. Mikhailenko, E. S. Surzhikova, G. N. Sharko // *Vestnik of the AIC of Stavropol*. - 2019. - №2(34). - P. 19-25.
20. Study of the features of the allele pool according to polymorphic blood systems of young Yakut horses of OOO Khorobut / V. K. Evsyukova, S. I. Stepanova, S. R. Plotnikov, S. A. Gerasimov // *Agroecoinfo*. - 2022. - №6. - P. 6.
21. Leroy, G. Inbreeding depression in livestock species: review and meta analysis / G. Leroy // *Animal Genetics*. - 2014. - Vol. 45, №5. - P. 618-628. - DOI: 10.1111/age.12178.
22. Genome-wide mapping and estimation of inbreeding depression of semen quality traits in a cattle population / M. Ferenčaković, J. Sölkner, M. Kapš, I. Curik // *Dairy Science*. - 2017. - Vol. 100, №6. - P. 4721-4730. - DOI: 10.3168/jds.2016-12164.
23. Hematological profile, genetic variability of Caucasian brown dairy cattle breed in different ecological-geographical zones / A. A. Ozdemirov, L. N. Chizhova, A. A. Khozhokov, E. S. Surzhikova, A. K. Mikhailenko // *South of Russia: ecology, development*. - 2021. - V. 16, №4. - P. 146-151. - DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-146-151
24. Tselovalnikova, M. I. Features of the allele pool according to biochemical polymorphism of the blood of horses of Karachay breed / M. I. Tselovalnikova, L. V. Olkhovskaya, S. V. Krivoruchko // *Collection of scientific papers of Stavropol Research Institute of Livestock and Feed Production*. - 2009. - V. 1, №1-1. - P. 114-117.