

ЛИТЕРАТУРА

1. Янкелевич, Р. К. Влияние норм внесения азотного удобрения на продуктивность сорго / Р. К. Янкелевич, Р. Ф. Юровский // Приемы повышения плодородия почв, эффективности удобрений и средств защиты растений: Материалы международной научно-практической конференции. – Горки, 2003. – Ч. 2. – С. 357-359.
2. Хагур, М. Н. АПК Юга России: состояние и перспективы / М. Н. Хагур // Сборник докладов Региональной научно-практической конференции, 15-17 октября 2014 года. – Майкоп: Изд-во «Магарин О. Г.», 2014 г. – С. 204-206.
3. Кормление сельскохозяйственной птицы / В. И. Фисинин [и др.] // Сергиев Посад. – 2004. – С. 279.
4. Зерновое сорго – ценный корм для птицы / И. И. Егоров [и др.] // Комбикорма. – 2002. – № 5. – С. 45-46.

УДК 636.13.083.13 (476)

МЕЖПОРОДНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВЕРХОВЫХ ЛОШАДЕЙ, РАЗВОДИМЫХ В БЕЛАРУСИ, ПО 17 STR-ЛОКУСАМ

**А. Н. Рудак, А. И. Герман, Ю. И. Герман, М. А. Горбуков,
В. И. Чавлытко**

РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»

г. Жодино, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 222160,

г. Жодино Минская область, ул. Фрунзе, 11; e-mail: belniig@tut.by)

Ключевые слова: лошади верховых пород, аллели, микросателлиты ДНК, популяция, гетерозиготность, уровень полиморфности.

Аннотация. Исследована межпородная дифференциация верховых лошадей, разводимых в Беларуси, по 17 локусам микросателлитов ДНК.

Установлено, что показатель числа действующих эффективных аллелей (уровень полиморфности) был наиболее высоким у полукровных спортивных лошадей ($4,36 \pm 0,30$). Несколько ниже данный показатель оказался в популяции лошадей ганноверской породы – $4,34 \pm 0,31$. У лошадей тракненской породы уровень полиморфности составил $3,83 \pm 0,31$. Это в первую очередь связано с относительной закрытостью ее ступбука, что ведет к снижению уровня генетического разнообразия в породе.

Выявлено, что из трех популяций лошадей верховых пород в наиболее равновесном состоянии находятся полукровные спортивные лошади, о чем свидетельствует индекс фиксации равный $-0,011 \pm 0,02$, обусловленный высоким показателем уровня полиморфности ($4,36 \pm 0,30$).

Наименьшее генетическое расстояние наблюдалось между лошадьми тракненской породы и полукровными спортивными, которое составило $0,033$, а самое высокое было выявлено между ганноверанами и полукровными спортивными лошадьми – $0,040$, что свидетельствует о их меньшем генетическом сходстве. Однако во всех случаях указанные показатели различаются

незначительно, что подтверждает общность происхождения данных пород от потомков западноевропейской селекции.

INTERBREED DIFFERENTIATION OF RIDING HORSES BRED IN BELARUS BY 17 STR LOCI

A. N. Rudak, A. I. Herman, Y. I. Herman, M. A. Gorbukov,
V. I. Chavlytko

RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding»

Zhodino, Republic of Belarus (Republic of Belarus, 222160, Zhodino, 11 Frunze st., e-mail: belniig@tut.by)

Key words: riding horses, alleles, microsatellite DNA, population, heterozygosity, level of polymorphism.

Summary. Interbreed differentiation of riding horses bred in Belarus by 17 microsatellite DNA loci was studied.

It was found that the index of the number of effective alleles (level of polymorphism) was the highest in half-blood sport horses ($4,36 \pm 0,30$). This index was slightly lower in the Hanoverian breed population – $4,34 \pm 0,31$. The level of polymorphism in the Trakehner horses was $3,83 \pm 0,31$. This is primarily due to the relative closeness of its studbook, which leads to a decrease in the level of genetic diversity in the breed.

It was revealed that among three populations of riding horses, half-blood sport horses were in the most balanced state, as evidenced by the fixation index equal to $-0,011 \pm 0,02$, due to the high level of polymorphism ($4,36 \pm 0,30$).

The smallest genetic distance was observed between Trakehners and half-blood sport horses, which was 0,033, and the largest genetic distance was found between Hanoverians and half-blood sport horses – 0,040, which indicates their lesser genetic similarity. However, in all cases, these indicators differ slightly, which confirms the common origin of these breeds from the descendants of Western European selection.

(Поступила в редакцию 01.06.2023 г.)

Введение. Важнейшей задачей генетических исследований в животноводстве является совершенствование методов генотипической оценки животных, существенно влияющей на результативность селекционного процесса. Современные достижения в области молекулярной генетики, успехи в расшифровке генома лошади значительно расширили базу маркер-вспомогательной селекции и обусловили актуальность стратегии и тактики генетического мониторинга в коневодстве [1].

Изучение аллелофонда пород с последующим проведением анализа полученных данных необходимо для предотвращения снижения генетического разнообразия в субпопуляциях и породах, и его результаты могут быть использованы в селекционных программах по

совершенствованию существующих и выведению новых пород лошадей и внутривидовых типов.

Применение систематического генетического мониторинга в популяциях позволяет использовать многие возможности маркер-вспомогательной селекции, включая оценку внутривидовой дифференциации и селекцию на гетерозис, что особенно актуально при разведении лошадей верховых пород. Данные о генетическом разнообразии позволяют также более обоснованно подойти к проблеме комплектования племенных хозяйств типичными для породы животными с разными аллелями с целью поддержания характерной для данной породы генетической структуры и достаточно высокого уровня гетерозиготности [2].

Характеристика генетической структуры популяции должна основываться, прежде всего, на оценке аллелофонда ее репродуктивной части, включая жеребцов-производителей и маток. Раздельный учет частот встречаемости типов и аллелей тестируемых локусов у жеребцов и племенных кобыл дает полную характеристику генетической структуры популяции и позволяет прогнозировать ее изменение в следующем поколении

Для оценки межпородной дифференциации популяций и пород наиболее часто используют два основных показателя – уровень полиморфности и степень гомозиготности (гетерозиготности), которые рассчитываются по каждому локусу и в среднем по всем протестированным полиморфным локусам [3].

Цель работы – оценить степень межпородной дифференциации верховых лошадей, разводимых в Беларуси.

Материал и методика исследований. Для выполнения ДНК-анализа были отобраны пробы биоматериала (волосы с луковицами) у лошадей тракненской ($n = 138$), ганноверской ($n = 60$) пород и полукровных спортивных лошадей ($n = 93$) отечественных и зарубежных генотипов, разводимых в ведущих хозяйствах республики.

Исследования биологического материала проводились в лаборатории молекулярной генетики и ДНК-тестирования РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» согласно технологии генотипирования лошадей по микросателлитным локусам ДНК [4]. Для определения межпородной дифференциации лошадей по STR-локусам были рассчитаны следующие показатели (с помощью Microsoft Office Excel, 2010): частота встречаемости аллелей, уровень полиморфности (A_e), наблюдаемая гетерозиготность (H_o), ожидаемая гетерозиготность (H_e), индекс фиксации Райта (F_{is}), индекс генетического сходства и генетические дистанции по следующим формулам (1, 2, 3, 4, 5, 6):

$$p = n/2 N, \quad (1)$$

где p – частота аллеля; n – число животных носителей данного аллеля; N – общее количество обследованных животных;

$$A_e = 1/\sum p_{ij}^2, \quad (2)$$

где A_e – уровень полиморфности (показатель числа действующих эффективных аллелей); p – частота встречаемости j аллеля для локуса i и суммирование распространяется на n аллелей;

$$H_o = h_j/n, \quad (3)$$

где H_o – наблюдаемая гетерозиготность по одному локусу; h_j – количество гетерозиготных генотипов в локусе; n – общее количество генотипов в локусе;

$$H_e = 1 - \sum p_i^2, \quad (4)$$

где H_e – ожидаемая гетерозиготность по одному локусу; p_i – частота встречаемости i -го аллеля;

$$F_{is} = (H_e - H_o)/H_e, \quad (5)$$

где F_{is} – индекс фиксации Райта; H_e – ожидаемая гетерозиготность; H_o – наблюдаемая гетерозиготность;

$$I = J_{xy}/\sqrt{(J_x * J_y)} = (\sum \sum X_{ij} Y_{ij}) / (\sqrt{(\sum X_{ij}^2 * \sum Y_{ij}^2)}), \quad (6)$$

где I – показатель генетической идентичности; X_{ij} и Y_{ij} – частоты i -х аллелей j -го локуса в популяциях X и Y соответственно.

Дистанция (D_n) равняется натуральному логарифму значения генетической идентичности со знаком «минус» [5].

Результаты исследований и их обсуждение. Характеристика генетической дифференциации лошадей верховых пород по 17 STR-локусам представлена в таблице 1.

При изучении генетической дифференциации STR-локусов лошадей верховых пород выявлено, что в тракененской породе число идентифицированных аллелей (N_a) варьировало от 5 до 9 и в среднем составило $7,06 \pm 0,36$, в ганноверской породе и у полукровных спортивных лошадей – от 5 до 11 (средний показатель составил $7,35 \pm 0,43$ и $8,24 \pm 0,45$ соответственно).

Минимальное количество идентифицированных аллелей у лошадей тракененской породы наблюдалось в локусах HTG6 и HTG7, у лошадей ганноверской породы – в локусах АНТ4 и HTG7, у полукровных спортивных лошадей – также в локусе HTG7. Максимальное их количество в тракененской породе выявлено в локусах ASB17, CA425, HMS3, HTG10 и LEX3. В ганноверской породе максимальным указанный показатель был в локусе ASB17, у полукровных спортивных лошадей – в локусах ASB17 и LEX3.

Локус	Тракенская						Ганновская						Полукровные спортивные лошади							
	Na	Ho	He	Ae	Fis	Na	Ho	He	Ae	Fis	Na	Ho	He	Ae	Fis	Na	Ho	He	Ae	Fis
AHT4	6	0,712	0,700	3,33	-0,0171	5	0,712	0,711	3,46	-0,0014	7	0,753	0,695	3,27	-0,08345					
AHT5	6	0,784	0,794	4,85	0,0126	7	0,850	0,829	5,85	-0,0253	6	0,774	0,792	4,82	0,022727					
ASB2	8	0,813	0,794	4,84	-0,0239	8	0,783	0,753	4,05	-0,0398	9	0,721	0,785	4,64	0,081529					
ASB17	9	0,863	0,776	4,46	-0,1121	11	0,883	0,830	5,90	-0,0638	11	0,882	0,830	5,89	-0,06265					
ASB23	6	0,863	0,796	4,90	-0,0842	6	0,783	0,791	4,78	0,0101	6	0,893	0,807	5,18	-0,10657					
CA425	9	0,673	0,648	2,84	-0,0386	8	0,667	0,700	3,34	0,0471	9	0,817	0,749	4,00	-0,09079					
HMS1	6	0,583	0,541	2,17	-0,0776	6	0,663	0,623	2,65	-0,0642	6	0,495	0,526	2,11	0,058935					
HMS2	7	0,676	0,653	2,88	-0,0352	7	0,683	0,743	3,89	0,0808	8	0,710	0,750	4,00	0,053333					
HMS3	9	0,863	0,835	6,04	-0,0335	10	0,817	0,847	6,32	0,0354	10	0,755	0,848	6,57	0,10967					
HMS6	7	0,676	0,655	2,90	-0,0321	7	0,783	0,745	3,92	-0,0510	8	0,774	0,739	3,83	-0,04736					
HMS7	6	0,742	0,807	5,18	0,0806	6	0,733	0,770	4,34	0,0481	7	0,763	0,731	3,73	-0,04378					
HTG4	6	0,504	0,503	2,01	-0,0020	6	0,683	0,597	2,48	-0,1440	8	0,570	0,603	2,52	0,054726					
HTG6	5	0,763	0,715	3,51	-0,0671	6	0,650	0,680	3,13	0,0441	9	0,774	0,742	3,88	-0,04313					
HTG7	5	0,647	0,603	2,51	-0,0730	5	0,767	0,655	2,90	-0,1710	5	0,817	0,679	3,11	-0,20324					
HTG10	9	0,683	0,680	3,12	-0,0044	9	0,833	0,825	5,73	-0,0097	10	0,849	0,824	5,70	-0,05034					
VHL20	7	0,748	0,740	3,84	-0,0108	9	0,850	0,818	5,51	-0,0391	10	0,817	0,806	5,16	-0,01365					
LEX3	9	0,590	0,826	5,75	0,2857	9	0,783	0,814	5,37	0,0381	11	0,700	0,824	5,68	0,150485					
Среднее	7,06 ±0,36	0,720 ±0,01	0,710 ±0,01	3,83 ±0,31	-0,014 ±0,02	7,35 ±0,43	0,760 ±0,02	0,749 ±0,02	4,34 ±0,31	-0,018 ±0,02	8,24 ±0,45	0,757 ±0,02	0,749 ±0,02	4,36 ±0,30	-0,011 ±0,02					

Таблица 1 – Генетико-популяционные характеристики лошадей верховых пород по 17 локусам микросателлитов ДНК

В исследуемой группе лошадей тракененской породы наблюдаемая гетерозиготность (Ho) варьировала от 50,4 % (локус HTG4) до 86,3 % (локусы ASB17, ASB23 и HMS3), а ожидаемая (He) – от 50,3 % (локус HTG4) до 82,6 % (локус LEX3). В 14 локусах из 17 наблюдаемая гетерозиготность превышала ожидаемую, лишь в трех локусах (АНТ5, HMS7 и LEX3) ожидаемая гетерозиготность была выше наблюдаемой.

В популяции лошадей ганноверской породы показатель наблюдаемой гетерозиготности (Ho) находился в пределах от 65,0 % (локус HTG6) до 88,3 % (локус HTG10). Самый низкий показатель ожидаемой гетерозиготности (He) выявлен в локусе HTG4 (59,7 %), а наиболее высокий – в локусе HMS3 (84,7 %). В отличие от лошадей тракененской породы здесь в 10 локусах из 17 наблюдаемая гетерозиготность превышала ожидаемую.

Наиболее низкий показатель наблюдаемой гетерозиготности (Ho) у полукровных спортивных лошадей оказался в локусе HMS1 (49,5 %), а самый высокий – в микросателлитном локусе ASB23 (89,3 %). Ожидаемая гетерозиготность варьировала в пределах от 52,6 % (локус HMS1) до 84,8 % (локус HMS3). Здесь также, как и в ганноверской породе, в 10 локусах из 17 наблюдаемая гетерозиготность превышала ожидаемую.

Показатель числа действующих эффективных аллелей (уровень полиморфности, Ae) был наиболее высоким у полукровных спортивных лошадей ($4,36 \pm 0,30$). Несколько ниже он оказался в популяции лошадей ганноверской породы – $4,34 \pm 0,31$. У лошадей тракененской породы уровень полиморфности составил $3,83 \pm 0,31$. Это, в первую очередь, связано с относительной закрытостью ее студбука, что ведет к снижению уровня генетического разнообразия в породе.

Анализ индекса фиксации (Fis) у лошадей тракененской породы показал, что локусы АНТ5, HMS7 и LEX3 отличаются смещением равновесия в сторону недостатка гетерозигот (минимальное значение Fis = 0,0126 в локусе АНТ5 и максимальное Fis = 0,2858 в локусе LEX3). В среднем по породе показатель Fis составил $-0,014 \pm 0,02$, что указывает на избыток гетерозигот в пределах субпопуляции по сравнению с ожидаемым значением в состоянии HWE.

У лошадей ганноверской породы смещением равновесия в сторону недостатка гетерозигот отличаются локусы ASB23, CA425, HMS2, HMS3, HMS7, HTG6 и LEX3, однако указанный показатель был невысоким, колебания составили 0,0101-0,0807. В среднем по 17 локусам индекс фиксации в породе отмечен на уровне $-0,018 \pm 0,02$, что свидетельствует о достаточном количестве гетерозиготных генотипов в исследуемой популяции.

Положительный индекс Fis отмечен у полукровных спортивных лошадей в локусах AHT5, ASB2, HMS1, HMS2, HMS3, HTG4 и VHL20 (от 0,0227 – в локусе AHT5 до 0,1505 – в локусе VHL20). В среднем по 17 локусам указанный показатель составил $-0,011 \pm 0,02$.

В целом следует отметить, что из трех популяций лошадей верховых пород в наиболее равновесном состоянии находятся полукровные спортивные лошади, о чем свидетельствует индекс фиксации равный $-0,011 \pm 0,02$, обусловленный высоким показателем уровня полиморфности ($4,36 \pm 0,30$).

После изучения генетической дифференциации лошадей по 17 STR-локусам был проведен кластерный анализ генетических расстояний между изучаемыми породами, который позволяет определить их генетическое сходство. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Генетические дистанции (нижняя диагональ) и генетическое сходство (верхняя диагональ) лошадей верховых пород по STR-локусам

Породы	Тракененская	Ганноверская	Полукровные спортивные лошади
Тракененская	-	0,919	0,927
Ганноверская	0,037	-	0,913
Полукровные спортивные лошади	0,033	0,040	-

В результате проведенных исследований установлено, что наименьшее генетическое расстояние наблюдалась между лошадьми тракененской породы и полукровными спортивными и составило 0,033, а самое высокое генетическое расстояние было выявлено между ганноверанами и полукровными спортивными лошадьми – 0,040, что свидетельствует об их меньшем генетическом сходстве. Однако во всех случаях указанные показатели различались незначительно, что подтверждает общность происхождения данных пород от немецкого корня.

Полученные данные также могут свидетельствовать о возможном сокращении генетического разнообразия в популяции лошадей верховых пород, разводимых в Беларуси, в связи с сокращением их поголовья.

Заключение. В результате исследований установлено, что показатель числа действующих эффективных аллелей (уровень полиморфности) был наиболее высоким у полукровных спортивных лошадей ($4,36 \pm 0,30$). Несколько ниже данный показатель оказался в популяции лошадей ганноверской породы – $4,34 \pm 0,31$. У лошадей тракененской породы уровень полиморфности составил $3,83 \pm 0,31$. Это в первую очередь связано с относительной закрытостью ее студбука, что ведет к снижению уровня генетического разнообразия в породе.

Выявлено, что из трех популяций лошадей верховых пород в наиболее равновесном состоянии находятся полукровные спортивные лошади, о чем свидетельствует индекс фиксации равный $-0,011 \pm 0,02$, обусловленный высоким показателем уровня полиморфности ($4,36 \pm 0,30$).

Наименьшее генетическое расстояние наблюдалось между лошадьми тракененской породы и полукровными спортивными, которое составило 0,033, а самое высокое генетическое расстояние было выявлено между ганноверанами и полукровными спортивными лошадьми – 0,040, что свидетельствует о их меньшем генетическом сходстве. Однако во всех случаях указанные показатели различаются незначительно, что подтверждает общность происхождения данных пород от потомков западноевропейской селекции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храброва, Л. А. Теоретические и практические аспекты генетического мониторинга в коневодстве: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.02.07 / Л. А. Храброва; ВНИИК. – Дивово, 2011. – 38 с.
2. Храброва, Л. А. Использование ДНК-технологий в коневодстве / Л. А. Храброва // Эффективное животноводство. – 2015. – № 6 (115). – С. 13-17.
3. Храброва, Л. А. Характеристика популяций лошадей чистокровной верховой породы по микросателлитам ДНК / Л. А. Храброва, М. А. Зайцева // Актуальные проблемы развития животноводства на современном этапе. Межвузовские научные труды. – СПб., 2006. – С. 46-50.
4. Шейко, И. П. Технология генотипирования лошадей по микросателлитным локусам ДНК: мет. рекомендации / И. П. Шейко; РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»; сост. И. П. Шейко [и др.]. – Жодино, 2016. – 18 с.
5. Методы генетической сертификации лошадей по полиморфным системам крови: мет. указания / ГНУ ВНИИК; сост. Л. А. Храброва [и др.]. – Дивово, 2010. – 70 с.