ГОМО- И ГЕТЕРОЗИГОТНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ СКОТА СМОЛЕНСКОГО ТИПА БУРОЙ ШВИЦКОЙ ПОРОДЫ

ГОНТОВ Михаил Елисеевич, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур»

КОЛЬЦОВ Дмитрий Николаевич, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур»

АНДРЕЕВА Светлана Алексеевна, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур»

ДМИТРИЕВА Валентина Ивановна, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур»

Для более объективной оценки уровня гомо- и гетерозиготности популяции скота смоленского типа бурой швицкой породы в процессе иммуногенетического мониторинга использовали шесть локусов групп крови. Установлено, что в пяти поколениях крупного рогатого скота сохраняется постоянный уровень гомозиготности. Общий коэффициент гомозиготности составил 0,55–0,58, что соответствует среднему значению, но в разных локусах варьировал от 0,08 в EAB-локусе до 0,85 в EAL-локусе. Сокращение уровня гомозиготности в локусах EAA и EAZ компенсируется повышением уровня гомозиготности в локусах групп крови EAF, EAL и EAZ, что позволяет сохранить постоянный уровень гомогенности популяции. В группах коров с удоем свыше 5000 – 6000 кг молока за 305 дней первой лактации возрастает уровень гетерозиготности в локусах EAB и EAF и снижается в EAL-локусе, что следует учитывать при подборе быков-производителей к маточному поголовью.

Введение. Поддержание оптимального уровня гетерозиготности популяций связано с приспособительными способностями к изменяющимся условиям среды. Считается, что именно гетерогенность служит причиной проявления гетерозиса [2, 15, 18]. Без необходимого разнообразия теряется эволюционная приспособленность вида.

Уровень гетерозиготности в популяции определяется как отношение количества генов, находящихся в гетерозиготном состоянии у всех особей данной популяции, к общему количеству генов у этих особей. Уровень гомозиготности является величиной обратной и характеризует степень консолидации наследственного материала в данной популяции. Генетическая структура пород и стад крупного рогатого скота постоянно претерпевает изменения в результате проводимой селекции (искусственный подбор и отбор), естественного отбора, действия генетико-автоматических процессов [3, 4, 7, 9, 10, 14, 19].

При совершенствовании смоленского типа бурого швицкого скота, разводимого

в Смоленской области, вместе с накоплением в популяции ценных генов племенных животных должна возрастать численность других сопряженных с ними генов при возрастании уровня гомозиготности, что может негативным образом сказаться на хозяйственных показателях, получаемых в результате разведения животных. Поэтому мониторинг уровня гомо- и гетерозиготности популяции имеет актуальное значение для дальнейшего повышения эффективности молочного скотоводства.

В большинстве случаев при оценке уровня гомо- и гетерозиготности с применением иммуногенетического метода используют наиболее информативный EAB-локус групп крови (здесь и далее В-локус эритроцитных антигенов) [4, 5, 10]. Но более точную и объективную информацию о состоянии гетерогенности исследуемой группы животных можно получить, вовлекая в анализ большее количество локусов групп крови и других полиморфных структур.

Целью наших исследований было изучение уровня гомо- и гетерозиготности популяции скота смоленского типа бурой швицкой породы в процессе иммуногенетического мониторинга с использованием шести локусов групп крови в связи с молочной продуктивностью.

Методика исследований. Исследования проводили в лаборатории зоотехнологий Смоленского института сельского хозяйства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур» с 1985 по 2018 г. на маточном поголовье крупного рогатого скота смоленского типа бурой швицкой породы племязавода «Доброволец» численностью 1664 головы.

Получение и унификацию диагнос-тиков для определения групп крови проводили общепринятыми методами [17]. Аллели и генотипы животных в ЕАВ-локусе выявляли семейным анализом, в ЕАФ-локусе прямым подсчетом по результатам гемолитических тестов, в локусах ЕАА, ЕАJ, ЕАL, ЕАЗ на основании теоретических расчетов с использованием рекомендаций [6].

Для мониторинга уровня гомозиготности из животных, родившихся в 1985–2010 гг. и завершивших хозяйственное использование, сформировали пять опытных групп с различиями по возрасту 5 лет.

Данные молочной продуктивности коров брали из базы данных хозяйства. Биометрическую обработку экспериментальных данных осуществляли на основе методических указаний [6, 11], компьютерной программы Microsoft Excel.

Формулу (1) использовали для определения фактического уровня гомозиготности по ЕАВ-локусу, в котором гомозиготные животные выявляются семейным анализом, а также по ЕАФ-локусу на основании гемолитического теста:

$$H_j = \frac{P}{n}, \quad (1)$$

где H_j – фактический уровень гомозиготности по одному локусу; P – число гомозиготных животных; n – число всех животных.

Формулу (2) применяли для нескольких локусов:

$$H = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_j, \quad (2)$$

где H – фактический уровень гомозиготности по всем локусам; m – число локусов, включенных в обработку.

Формула (3) – для определения теоретического уровня гомозиготности для одного локуса:

$$Ca_j = \sum_{j=1}^n q^2, \quad (3)$$

где n – число аллелей в локусе (системе); q – их частота.

Формула (4) – для теоретического уровня гомозиготности для нескольких локусов (систем):

$$Ca = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Ca_j, \quad (4)$$

где Ca – средняя гомозиготность по всем локусам; Ca_j – гомозиготность по одному локусу; m – число локусов.

Формула (5) – для определения частоты альтернативных аллелей в двухаллельном локусе:

$$P = \sqrt{\frac{R}{n}}, \quad q = 1 - P, \quad (5)$$

где R – количество гомозиготных животных по рецессивному аллелю; P и q – частоты альтернативных аллелей.

В обработке материалов исследований использовали 6 локусов аутосом, контролирующего наследование эритроцитарных антигенов крови.

В локусах ЕАВ, ЕАФ гомозиготность устанавливали прямым подсчетом гомозигот, в остальных 4 локусах А, J, L, Z – на основе теоретических расчетов с использованием вышеприведенных формул.

Степень гомозиготности групп животных оценивали через коэффициенты, со значениями от 0 до 1 [15]. Низкому показателю соответствовали значения 0–0,35; среднему – 0,35–0,65; высокому – 0,66–1,0.

Полученные данные группировали в таблицы с приведением стандартной ошибки, обозначенной символом «±».

Результаты исследований. В результате исследований установили степень гомозиготности пяти поколений животных смоленского типа бурой швицкой породы скота, родившихся в 1985–2010 гг.

Использование собственных реагентов, выявляющих гены групп крови, неоднократно унифицированных с международными стандартами, позволило исключить возможные ошибки при определении генотипов животных во всех опытных группах.

Для характеристики степени изменчивости и уровня гомозиготности (гетерозиготности) пород, стад, родственных групп наиболее часто используют многоаллельный ЕАВ-локус. В стадах крупного рогатого скота России коэффициент гомозиготности, теоретически рассчитанный с использованием частоты ЕАВ-аллелей, составляет в среднем 0,1 с небольшими отклонениями [10, 12, 13, 15, 16].

В наших исследованиях фактически наблюдаемый коэффициент гомозиготности в ЕАВ-локусе на протяжении пяти поколений, несмотря на проводимую селекционную работу со стадом, практически не изменился и составил 0,08–0,10, что указывает на сохраняющийся высокий уровень гетерозиготности в этом локусе (табл. 1). У исследованных животных выявлено 58 ЕАВ-аллелей.

В локусах ЕАФ, ЕАА, ЕАJ, ЕАL, ЕАЗ в отличие от ЕАВ-локуса установлено только по два аллеля, поэтому гомозиготность в них оказалась значительно выше, чем в ЕАВ-локусе. Большинство животных в локусах ЕАА, ЕАJ, ЕАL, ЕАЗ были гомозиготами по

рецессивному аллелю, контролирующему отсутствие антигена.

В ЕАФ-локусе аллели устанавливали непосредственно по результатам гемолитического теста. Коэффициент гомозиготности имел тенденцию к повышению от среднего уровня (0,43) в 1985–1990 гг. до высокого (0,68) в 2001–2005 гг., а в 2006–2010 гг. наблюдали снижение до среднего уровня (0,51).

В ЕАА-локусе гомозиготность животных стада, родившихся в 1985–1990 гг., имела высокий уровень с коэффициентом 0,78. У коров, родившихся позже, она постепенно снижалась до среднего уровня и составила в 2001–2005 гг. 0,58. В последующие годы гомозиготность стада установилась на уровне среднегодовых показателей – 0,66.

В ЕАJ-локусе самый высокий уровень гомозиготности (0,82) регистрировали в группе коров 1985–1990 гг. рождения, который заметно снизился до 0,68 в 2001–2005 гг., но все-таки имел высокий показатель. Следовательно, уровень гетерозиготности в этом локусе хотя и возрастал, но имел низкое значение (менее 0,35).

В ЕАL-локусе наиболее высокий уровень и показатель гомозиготности (0,85) отмечали в группе коров, родившихся в 2006–2010 гг. В других группах в этом локусе животные имели высокий и средний уровень гомозиготности.

Таблица 1

Уровень гомозиготности коров смоленского типа бурой швицкой породы при смене поколений

ЕА-локусы	Год рождения коров					
	1985–1990 <i>n</i> = 42	1991–1995 <i>n</i> = 246	1996–2000 <i>n</i> = 440	2001–2005 <i>n</i> = 508	2006–2010 <i>n</i> = 424	В среднем <i>n</i> = 1660
В, <i>Hj</i>	0,10	0,08	0,08	0,08	0,10	0,09
F/V, <i>Hj</i>	0,43	0,55	0,64	0,68	0,51	0,56
А, <i>Ca_j</i>	0,78	0,75	0,60	0,58	0,66	0,67
J, <i>Ca_j</i>	0,82*	0,72	0,74	0,75	0,68*	0,74
L, <i>Ca_j</i>	0,68*	0,55	0,66	0,50	0,85*	0,65
Z, <i>Ca_j</i>	0,54	0,51	0,56	0,57	0,57	0,55
В среднем, <i>Ca</i>	0,56	0,53	0,55	0,53	0,56	0,54

Примечание: *Ca_j* – гомозиготность, рассчитанная теоретическим путем; *Hj* – гомозиготность фактическая; *Ca* – гомозиготность общая; * разница достоверна при $p \leq 0,05$ (здесь и далее).

В EAZ-локусе во всех исследуемых группах степень гомозиготности стада имела среднее значение (0,53–0,56).

Уровень гомозиготности (Ca) в каждой из сформированных групп стада, с учетом всех шести исследованных локусов групп крови, практически не изменялся и сохранял постоянную среднюю величину с коэффициентом 0,53–0,56, но приближался к границе с высоким уровнем.

Полученные данные согласуются с результатами наших аналогичных исследований на бурой швицкой породе скота племрепродуктора «Талашкино-Агро» Смоленской области, проведенных ранее, а также с результатами с использованием ДНК-методов. Так, Н.А. Зиновьева и др. [8] на основе полногеномного анализа SNP (однонуклеотидного полиморфизма), изучая генетическое разнообразие пород крупного рогатого скота России и голштинской породы, установила средний уровень наблюдаемой гомозиготности, который составил от 0,61 по голштинской породе, до 0,62 по бесстужевской. Более низкие показатели гомозиготности (от 0,32 у местного зебувидного скота до 0,4 у черно-пестрой породы) скота были установлены Ф.С. Амиршоевым [1], с использованием микросателлитного локуса.

В наших исследованиях средний показатель гомозиготности сохранялся в стаде на протяжении пяти поколений. В то же время

в разных локусах уровень гомозиготности варьировал от 0,08 в EAB-локусе до 0,85 в EAL-локусе. В EAL-локусе и в EAZ-локусе наблюдали сокращение уровня гетерозиготности и повышение уровня гомозиготности. В локусах EAA и EAJ гомозиготность стада снижалась.

Умеренный уровень гомозиготности в стаде поддерживается как формой племенной работы, так и природными генетическими механизмами, направленными на самосохранение вида. Происходит компенсация недостатка гетерозигот в одном локусе за счет увеличения их в другом локусе хромосом, в итоге сохраняется средний уровень гомозиготности.

В связи с теоретическими предпосылками на более высокий генетический потенциал продуктивности гетерозиготных животных нами была изучена степень гомо- и гетерозиготности коров хозяйства с учетом уровня молочной продуктивности. С этой целью коров независимо от даты рождения ($n = 1464$) распределили на группы в зависимости от величины удоя за 305 дней первой лактации с разницей между группами в 1000 кг (табл. 2). В каждой группе определяли уровень гомозиготности.

Как видно из табл. 2, коэффициент гомозиготности, рассчитанный по шести локусам групп крови, изменялся в зависимости от уровня удоя незначительно и составил по

Таблица 2

Гетерогенность коров смоленского типа бурой швицкой породы в зависимости от уровня молочной продуктивности

Показатель	Продуктивность, кг					
	до 3000 $n = 103$	3001–4000 $n = 401$	4001–5000 $n = 558$	5001–6000 $n = 353$	свыше 6000 $n = 49$	в среднем $n = 1464$
Удой (в среднем), кг	2579±38	3536±14	4534±12	5370±13	6385±55	4422±22
Жир, %	3,90±0,02	3,85±0,01	3,87±0,01	3,85±0,01	3,85±0,03	3,85±0,0
Белок, %	3,30±0,02	3,28±0,01	3,28±0,01	3,24±0,01	3,22±0,01	3,26±0,0
Гомозиготность EA-локусов: B, Hj	0,08	0,08	0,10	0,07	0,04	0,09
F/V, Hj	0,71*	0,61	0,64	0,55	0,41*	0,61
A, Ca_j	0,64	0,61	0,59	0,68	0,65	0,62
J, Ca_j	0,71	0,74	0,75	0,68	0,76	0,73
L, Ca_j	0,70	0,73	0,80	0,84	0,88	0,78
Z, Ca_j	0,54	0,54	0,57	0,56	0,56	0,56
В среднем, Ca	0,56	0,55	0,58	0,56	0,55	0,56

пяти группам коров от 0,55 до 0,58 (средний уровень гомозиготности).

Повышение уровня гетерозиготности животных одновременно с повышением удоя коров было наиболее заметным при отдельном анализе локусов EAB и EAF. Так, в группе первотелок с удоем 6000 кг молока и выше коэффициент гомозиготности в EAB-локусе составил 0,04 – в 2 раза ниже, чем у первотелок с удоем до 3000 кг. В то же время белкомолочность при увеличении гетерозиготности животных снизилась с 3,30 до 3,22 %.

В EAF-локусе также с повышением уровня продуктивности коров снижался уровень гомозиготности и повышался уровень гетерозиготности. В этом локусе по группе коров с удоем до 3000 кг показатель гомозиготности составил 0,71 (высокий уровень гомозиготности), а в группе с удоем свыше 6000 кг молока – 0,61 (среднее значение).

В EAL-локусе групп крови, наоборот, вместе с ростом продуктивности увеличивался показатель гомозиготности от 0,70 (по группе первотелок с удоем до 3000 кг молока) до 0,88 (по группе первотелок с удоем свыше 6000 кг молока за лактацию), то есть снижался уровень гетерозиготности.

Заключение. Общий уровень гомозиготности популяции бурого швицкого скота смоленского типа, установленный с использованием шести локусов эритроцитарных антигенов, соответствовал среднему значению и на протяжении пяти поколений сохранял постоянную величину 0,55–0,58.

Коэффициент гомозиготности в разных локусах варьировал от 0,08 в EAB-локусе до 0,85 в EAL-локусе. В локусах EAA и в EAZ наблюдали постепенное сокращение гомозиготности, которое компенсировалось повышением уровня гомозиготности в локусах EAF, EAL и EAZ, что способствовало сохранению общего уровня гомо- и гетерозиготности стада на протяжении 5 поколений.

При анализе молочной продуктивности первотелок установлено, что коровы с более высоким уровнем гетерозиготности в локусах EAB и EAF и более низким уровнем в EAL-локусе имели лучшие показатели по удою. Вероятно, уровень гомозиготности в разных локусах по-разному влияет на величину удоя коров.

Для сохранения и дальнейшего повышения молочной продуктивности стада следует сохранять достигнутый уровень гетерозиготности животных в EAB-локусе и повышать в EAF-локусе групп крови путем соответствующего подбора быков-производителей к маточному поголовью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиришоев Ф.С. Биологические аспекты совершенствования крупного рогатого скота в условиях Таджикистана: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Дубровицы, 2012. – 38 с.
2. Букаров Н.Г. Использование полиморфизма антигенов эритроцитов и главного комплекса тканевой совместимости в разведении и совершенствовании крупного рогатого скота: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Дубровицы, 1995. – 33 с.
3. Вагонис З. Использование иммуногенетических показателей в селекционно-племенной работе с молочным скотом // Совершенствование методов племенной работы с породами сельскохозяйственных животных: тр. Литовского НИИЖ. – Вильнюс; Мокслас, 1976. – Т. 14. – С. 146–159.
4. Генетический контроль селекционных процессов в популяции бурого швицкого скота с использованием маркерных генов групп крови / М.Е. Гонтов [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2016. – № 4. – С. 17–20.
5. Гонтов М.Е., Дмитриева В.И. Оценка генотипов животных с использованием маркерных генов групп крови // Актуальные проблемы животноводства и пути их решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Смоленск, 2010. – С. 27–29.
6. Животовский Л.А. Методические рекомендации по статистическому анализу иммуногенетических данных для использования в селекции животных. – Дубровицы: ВНИИЖ, 1974. – 30 с.
7. Иммуногенетический мониторинг при выведении и совершенствовании типа «Смоленский» бурого швицкого скота в Смоленской области / М.Е. Гонтов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 3. – С. 54–56.
8. Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры российских пород крупного рогатого скота с использованием полногеномного анализа SNP / Н.А. Зиновьева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – С. 788–800.
9. Карабаева М.Э., Гриняева Ю.Г. Повышение молочной продуктивности коров // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 9. – С. 19–21.
10. Марзанова Л.К., Попов Н.А. Контроль за генетической изменчивостью в стадах молочных

пород // Молочное и мясное скотоводство. – 2018. – № 8. – С. 16–18.

11. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 367 с.

12. Попов Н.А., Саморуков В.В. Использование аллелофонда систем групп крови крупного рогатого скота при чистопородном разведении и скрещивании. – М.: Дубровицы, 1996. – 64 с.

13. Применение разработанной системы использования групп крови на этапах селекции бурого швицкого скота в Смоленской области / М.Е. Гонтов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 9. – С. 86–89.

14. Программа селекционно-племенной работы с бурой швицкой породой крупного рогатого скота в Смоленской области на 2013–2022 годы / В.К. Чернушенко [и др.]. – Смоленск: Принт-Экспресс, 2014. – 182 с.

15. Рекомендации по использованию методов генетического мониторинга в селекции крупного рогатого скота и свиней / А.А. Новиков [и др.]. – Лесные Поляны, 2015. – 23 с.

16. Система иммуногенетических маркеров при совершенствовании новых молочных типов бурого швицкого и сычевского скота / В.К. Чернушенко [и др.]. – Смоленск: Смоленская городская типография, 2010. – 47 с.

17. Сороковой П.Ф. Методические рекомендации по исследованию групп крови в селекции крупного рогатого скота. – Дубровицы, 1974. – 40 с.

18. Термины и определения, используемые в селекции, генетике и воспроизводстве сель-

скохозяйственных животных / И.М. Дунин [и др.]. – М.: ВНИИплем, 1996. – 306 с.

19. Эффективность мониторинга групп крови на этапах селекции сычевской породы крупного рогатого скота в Смоленской области / Д.Н. Кольцов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 9. – С. 44–46.

Гонтов Михаил Елисеевич, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур». Россия.

Кольцов Дмитрий Николаевич, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур». Россия.

Андреева Светлана Алексеевна, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур». Россия.

Дмитриева Валентина Ивановна, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур». Россия.

214025, г. Смоленск, ул. Нахимова, 21.

Тел.: (4812) 66-29-41.

Ключевые слова: гетерозиготность; гомозиготность; крупный рогатый скот; бурая швицкая порода; группы крови; локус.

HOMO- AND HETEROZYGOSITY OF THE POPULATION OF THE SMOLENSK-TYPE CATTLE OF BROWN SCHWYZ BREED

Gontov Mikhail Alekseevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal Centre for Fiber Crops. Russia.

Koltsov Dmitriy Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal Centre for Fiber Crops. Russia.

Andreeva Svetlana Alekseevna, Researcher, Federal Centre for Fiber Crops. Russia.

Dmitrieva Valentina Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal Centre for Fiber Crops. Russia.

Keywords: heterozygosity; homozygosity; cattle; brown Schwyz breed; blood types; locus.

For a more objective assessment of the level of homo- and heterozygosity of the population of Smol-

ensk-type cattle of the brown Schwyz breed, six blood group loci were used in the process of immunogenetic monitoring. It has been established that in five generations of cattle a constant level of homozygosity remains. The overall homozygosity coefficient was 0.55–0.58, which corresponds to the average value, but in different loci it varied from 0.08 at the EAB locus to 0.85 at the EAL locus. A decrease in homozygosity at EAA and EAZ loci is offset by an increase in homozygosity at EAF, EAL, and EAZ blood group loci. It maintains a constant level of population homogeneity. In groups of cows with an increase in milk yield of more than 5000 - 6000 kg of milk for 305 days of the first lactation, the level of heterozygosity at the EAB and EAF loci increases and decreases at the EAL locus. It should be taken into account when selecting breeding bulls for breeding stock.