

УДК 636.4.082

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВИНЕЙ РАЗНЫХ ПОРОДНЫХ СОЧЕТАНИЙ И ИХ СВЯЗЬ СО СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬЮ

Г. М. Гончаренко, доктор биологических наук
В. А. Бекенёв, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
В. И. Фролова, кандидат сельскохозяйственных наук
Н. Б. Гришина, кандидат биологических наук
Ю. В. Фролова, младший научный сотрудник
Т. С. Хорошилова, младший научный сотрудник
О. В. Плахина, младший научный сотрудник

Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий РАН
E-mail: gal.goncharenko@mail.ru

Ключевые слова: скрещивание, генотип, ген, гомозиготный, гетерозиготный, аллель, стрессоустойчивые, стрессочувствительные.

Реферат. Исследована генотипическая характеристика свиней сафировского генотипа (СГ) и полученных при их скрещивании с хряками ландрас (Л) и дюрок (Д) двухпородных (СГхЛ) и трехпородных (СГхЛ) хД гибридов по генам *FABP-H*, *FABP-D*, *Mc4r*, *LEP*, *ECR*, *RYR-1*. У животных СГ обнаружена увеличенная по сравнению с двух- и трех породными гибридами частота генотипа *ECR^{GG}*, равная 0,41–0,54. Двухпородные помеси характеризуются более высокой частотой генотипа *FABP^{HH}* (на 0,22–0,27) и *FABP^{dd}* (на 0,27–0,39), чем СГ и трёхпородные. Особенностью трехпородных гибридов (СГхЛ) хД является более высокая частота гомозиготного генотипа *Mc4r^{AA}* (на 0,24–0,34), и более низкая – гетерозиготного *Mc4r^{AG}* (на 0,19–0,43) по сравнению с чистопородными СГ и двухпородными гибридами. Полиморфизм генов *LEP* и *RYR-1* в сравниваемых группах свиней в основном представлен желательными генотипами *TT* (71–75%) и *RYR-1^{NN}* (71–86%). Определены индексы генетического сходства между СГ и гибридами. Наиболее значительные различия были обнаружены между двухпородными и трехпородными гибридами ($0,7634 \pm 0,0613$), что можно объяснить наличием у них крови породы дюрок. Общая гомозиготность (*SH*) у свиней СГ составила 24,89%, у трехпородных гибридов – 14,6%. Выявлена генотипическая структура стрессоустойчивых и стрессочувствительных животных и ассоциативная связь генотипов с энергией роста. Поросята с генотипом *FABP^{HH}*, устойчивые к стрессу, за период выращивания превосходили своих сверстников с генотипами *FABP^{HH}* и *FABP^{hh}* по среднесуточному приросту на 81–139 г, чувствительных к стрессу – на 134 г. Животные с генотипом *FABPD^{DD}*, устойчивые к стрессу, имели самую высокую энергию роста (593 г), что было выше, чем у сверстников с гомозиготным генотипом *FABPD^{dd}*, на 91 г и гетерозиготным – *FABPD^{Dd}* – на 157 г. Среди поросят, чувствительных к стрессу, особи с генотипом *LEP^{TT}* имели на 87 г более высокую энергию роста по сравнению с гетерозиготным *LEP^{TC}*. Стрессоустойчивые свиньи с генотипом *RYR^{Nn}* превосходили гомозиготных сверстников *RYR^{NN}* по этому показателю на 95 г. Среди носителей генотипов *Mc4r* и *ECR* различий по энергии роста поросят не выявлено.

THE GENETIC CHARACTERISTICS OF PIGS OF DIFFERENT BREED COMBINATIONS AND THEIR RELATIONSHIP TO STRESS

G. M. Goncharenko, doctor of biological sciences
V. A. Bekenev, doctor of agricultural sciences, Professor
V. I. Frolova, candidate of agricultural sciences.
N. B. Grishina, candidate of biological sciences
Yu. V. Frolova, junior researcher
T. S. Khoroshilova, junior researcher
O. V. Plakhina, junior researcher

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the RAS

Key words: crossing, genotype, gene, homozygous, heterozygous, allele, stress-resistant, stress-sensitive.

Abstract. *The genotypic characteristics of the Sapphire genotype (SG) pigs and their hybridization with the boars Landras (L) and Duroc (D) of 2-breed (SGxL) and 3-breed [(SGxL) xD] hybrids by genes: FABR-H, FABR-D, Ms4r, LEP, ECR, RYR-1 was investigated. In SG animals, the frequency of the ECR^{GG} genotype, which is increased in comparison with 2- and 3- breed hybrids, is 0.41–0.54. Two-breed hybrids are characterized by a higher frequency of the genotype FABP^{HH} (by 0.22–0.27) and FABP^{dd} (by 0.27–0.39) than SG and three-breed. The peculiarity of the 3-breed hybrids (SGxL) xD is the higher frequency of the homozygous genotype Ms4r^{AA} (by 0.24–0.34), and the lower frequency of the heterozygous Mc4r^{AG} (by 0.19–0.43) compared with pure SG and 2-breed hybrids. The polymorphism of the LEP and RYR-1 genes in the compared groups of pigs is mainly represented by the desired genotypes LEP^{TT} (71–75%) and RYR-1^{NN} (71–86%). The indices of genetic similarity between the SG and hybrids were determined. The most significant differences were found between 2-breed and 3-breed hybrids (0.7634 ± 0.0613), which can be explained by the presence of blood of the breed D. General homozygosity (GH) in pigs SG was 24.89%, in 3-breed hybrids – 14.6%. The genotypic structure of stress-resistant and stress-sensitive animals and associative connection of genotypes with energy of growth are revealed. Piglets with genotype FABP^{HH}, resistant to stress, during the growing period surpassed their peers with the FABP^{Ph} and FABP^{hh} genotypes by an average daily gain of 81–139 g, sensitive to stress by 134 g. Animals with the FABP^{DD} genotype, stress-resistant, had the highest energy of growth (593 g), which was higher than in peers with the homozygous genotype FABP D^{dd} by 91 g and heterozygous FABP D^{Dd} by 157 g. Among the piglets sensitive to stress, individuals with the LEP^{TT} genotype had a higher growth energy of 87 g compared to heterozygous LEP^{TC}. Stress-resistant pigs with the RYR^{Nn} genotype outperformed homozygous peers of RYR^{NN} in this indicator by 95 g. Among the carriers of the Mc4r and ECR genotypes, no differences in growth energy of the pigs were detected.*

При селекции свиней и различных системах разведения, осуществляемых с целью снижения толщины шпика, повышения энергии роста молодняка, улучшения воспроизводительных качеств, повышения потребительских качеств мяса и сала, значительный неблагоприятный эффект оказывают стрессовые воздействия разной природы. В связи с этим разработка способов повышения адаптационных свойств животных, в первую очередь стрессоустойчивости, улучшения качественных показателей свинины приобретает исключительно важное значение [1, 2].

Наряду с использованием различных технологических и физиологических методов проблема профилактики отрицательного влияния стрессов может быть решена путём применения традиционных методов селекции и молекулярно-генетических маркёров, связанных с основными хозяйственно полезными признаками. В свиноводстве имеется ряд перспективных генов, принимающих непосредственное участие в липидном обмене и оказывающих влияние на биохимические и физиологические процессы в организме животного (FABP-H, FABP-D, LEP и ген рецептора меланокортина 4 – mc4r).

В ряде работ показано, что стресс-чувствительность свиней связана с геном RYR-1. Отмечено, что оплодотворяемость маток, живая масса поросёнка в возрасте двух месяцев, качественные показатели мышечной ткани лучше у стрессоустойчивых животных, гомозиготных (NN) по этому гену [3, 4]. Кроме того, выявлено, что генотип NN определяет более напряжённый обмен веществ у молодняка, о чём свидетельствует большее содержание лейкоцитов – на 0,6 тыс/мкл, и мочевины – 0,7 ммоль/л, активности АЛТ – на 1,1 ед/л, чем у гетерозиготных Nn [5].

Гены семейства белков, связывающих жирные кислоты, FABP-H, FABP-D представляют большой интерес в качестве генов-кандидатов содержания внутримышечного жира [6] и среднесуточного прироста [7–9]. Основная функция гена рецептора меланокортина mc4r заключается в контроле массы тела и регуляции пищевого обмена [10]. При изучении аллельного состояния этого гена в связи с толщиной спинного сала показано, что животные с аллелем А в этом генотипе имеют большее накопление жира, а аллелем Г соответственно меньшее [11–12]. Однако при селекции на увеличение скороспелости свиней, как отмечают некоторые авторы [13–15], предпочтение следует отдавать АА-генотипу. К желательному генотипу по этому показателю у свиней породы ландрас относится гетерозиготный генотип AG [16].

Одним из ключевых гормонов метаболизма липидов, оказывающих влияние на уровень развития жировой ткани у животного, в том числе и у свиней, считается ген лептина [17]. Он участвует в регу-

ляции гомеостаза энергии путём сигнализации гипоталамуса головного мозга о «сытости» для желудка и запаса жира в организме [18]. В гене LEP предпочтительным с точки зрения низкого содержания жира, лучших воспроизводительных качеств является генотип ТТ [18–21].

Сохранность молодняка является одной из главных проблем свиноводства, решение которой зависит не только от принятой технологии производства свинины, но и от устойчивости молодняка к диарее. Исследования показали [22], что она связана с генотипом ECR F18/FUT1^{AA}, частота которого в породах свиней довольно низкая: йоркшир – 1,6, белорусская чёрно-пёстрая – 2,0, ландрас – 4,5, дюрок – 10,3 и у животных породного сочетания БМхЛ – 12,5%. Учитывая это при подборе пар, предпочтение следует отдавать гетерозиготным животным, имеющим в своём генотипе хотя бы один желательный аллель А [23].

Поскольку селекция свиней по мясной продуктивности и качеству мяса традиционными методами затруднена из-за низкого коэффициента наследуемости этих признаков, привлечение генетических маркёров, напрямую или косвенно связанных с признаками мясной продуктивности, может обеспечить более высокую её эффективность.

Цель исследований – выявить генетические особенности свиней новой селекционной группы (СГ), их двух- и трёхпородных гибридов с хряками пород ландрас (Л) и дюрок (Д) на основе использования генов FABP-H, FABP-D, Mc4r, LEP, ECR, RYR-1 и определить желательные генотипы, связанные с устойчивостью поросят к стрессу и энергией роста.

Эксперименты проведены в племенном репродукторе ООО «Сапфир» Болотнинского района Новосибирской области, где создана новая селекционная группа свиней, названная сапфировским генотипом (СГ), представляющая собой 3–5-е поколение помесей (кровностью от 7/8 и более по йоркширам), полученных от поглотительного и воспроизводительного скрещиваний свиноматок крупной белой (КБ) породы новосибирского типа с хряками породы йоркшир (Й) канадской селекции.

Стресс-чувствительность свиней изучали по методу «кризиса отъёма» В. А. Коваленко и др. [24, 25], который заключается в оценке прироста поросят за 10 дней после отъёма. Поросят, показавших прирост выше среднего по группе, относили к стрессоустойчивым, ниже среднего – к стресс-чувствительным. Стресс вызывался отъёмом от матерей, перегруппировкой поросят, перегонем в другое помещение. В это время возраст поросят составлял 40 дней. Эксперимент проводился с двукратной повторностью.

Молекулярно-генетические исследования проводили в лаборатории биотехнологии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН. ДНК выделяли из ушных выщипов или крови с применением набора реагентов «Ампли Прайм ДНК-сорб-В» производства ООО «НекстБио». Анализ проводили методом ПЦР-ПДРФ по методикам, описанным для FABP систем H и D [8], Mc4R [26], LEP [18], ECR [27], RYR-1 [28]. Рестриктию амплифицированных фрагментов проводили эндонуклеазами Tag I и Hinf I, BSTHNI (СибЭнзим).

Цифровой материал обрабатывали по общепринятой методике с использованием расчётов по программе Excel 2007.

Селекция свиней сапфировского генотипа была направлена в первую очередь на снижение содержания сала в тушах, в результате которой удалось снизить толщину шпика над 6–7-м грудными позвонками до уровня $25,50 \pm 5,00$, тогда как у двухпородных помесей (СГхЛ) этот показатель находился на уровне $28,20 \pm 1,70$, а у трёхпородных (СГхЛ) хД – $29,90 \pm 1,09$ мм. Процессы скрещивания и отбора отразились на генотипической характеристике свиней СГ и их породных сочетаний по частотам генов FABP-H, FABP-D, Mc4r, LEP, ECR, RYR-1 (табл. 1).

Таблица 1

Генотипическая структура свиней разной породности

Генотип	Сапфировский генотип (СГ)	Двухпородные помеси (СГхЛ)	Трёхпородные помеси (СГхЛ) хД
	n=61	n=60	n=51
1	2	3	4
FABP ^{HH}	0,28±0,06	0,50±0,06	0,23±0,06
FABP ^{Hh}	0,49±0,06	0,43±0,06	0,25±0,06
FABP ^{hh}	0,23±0,05	0,07±0,03	0,52±0,07
FABP ^{DD}	0,13±0,04	0,0±0,0	0,35±0,07
FABP ^{Dd}	0,67±0,06	0,53±0,06	0,57±0,07
FABP ^{dd}	0,20±0,05	0,47±0,06	0,08±0,04

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Mc4r ^{AA}	0,15±0,04	0,05±0,03	0,39±0,07
Mc4r ^{AG}	0,65±0,06	0,62±0,06	0,43±0,05
Mc4r ^{GG}	0,20±0,05	0,33±0,06	0,18±0,06
LEP ^{TT}	0,75±0,06	0,71±0,09	0,74±0,04
LEP ^{TC}	0,16±0,05	0,29±0,09	0,21±0,06
LEP ^{CC}	0,09±0,05	0,0±0,0	0,05±0,03
ECR ^{GG}	0,74±0,05	0,30±0,06	0,43±0,07
ECR ^{AG}	0,10±0,04	0,53±0,06	0,41±0,06
ECR ^{AA}	0,16±0,05	0,17±0,05	0,16±0,05
RYR-1 ^{NN}	0,77±0,06	0,86±0,05	0,71±0,06
RYR-1 ^{Nn}	0,23±0,05	0,14±0,05	0,29±0,06
RYR-1 ⁿⁿ	0,0±0,00	0,0±0,00	0,0±0,00

Свиньи СГ характеризовались средними частотами, за исключением генотипа ECR^{GG}, который у них встречался чаще на 0,41–0,54 в сравнении с двух- и трех породными помесями ($P<0,001$).

Особенностью двухпородных помесей является повышенная частота генотипа FABP^{HH} – на 0,22–0,27 и FABP^{dd} – на 0,27–0,39, чем у СГ и трехпородных помесей (СГ х Л) х Д ($P<0,01$). Учитывая, что эти генотипы связаны с пониженным содержанием жира в туше и более тонким шпиком [6, 7], можно предполагать, что содержание мяса у двухпородных помесей будет выше, чем у трехпородных и чистопородных свиней (СГ).

Трехпородные помеси (СГ х Л) х Д характеризуются более высокой частотой гомозиготного генотипа Mc4r^{AA} (на 0,24–0,34) и более низкой – гетерозиготного Mc4r^{AG} (на 0,19–0,43) в сравнении с чистопородными и двухпородными помесями ($P<0,01$; $P<0,001$). По-видимому, на этот показатель повлияла порода дюрок, которая была заключительной при трехпородном скрещивании.

Полиморфизм гена LEP в сравниваемых группах свиней представлен в основном желательным генотипом TT (71–75 %), связанным с более тонким шпиком. Свиньи анализируемых групп характеризуются отсутствием гомозиготного генотипа nn гена RYR – 1 (чувствительность к стрессам), а частота доминантного генотипа NN (стрессоустойчивость свиней) является преобладающей. Однако у животных выявлен гетерозиготный генотип Nn, встречаемость которого составляет от 14 до 29 %.

На основании частот аллелей генотипов вычислен индекс генетического сходства, значение которого выше между сапфировским генотипом (СГ) и трехпородными гибридами (СГхЛ) хД (0,8731±0,0462). Несколько ниже генетическое сходство между СГ и (СГхЛ) – 0,8464±0,0484. Наиболее значимые различия выявлены между двух- и трехпородными гибридами (0,7634±0,0613), что можно объяснить прилитием «крови» породы дюрок как заключительной породы скрещивания.

Создание нового типа животных предполагает консолидацию наследственности, показателем которой может быть снижение в поколениях уровня гетерозиготности и увеличения гомозиготности. Анализ частот генотипов в сравниваемых группах свиней показал, что общий уровень гомозиготности (SH) в СГ составляет 24,89, тогда как у трехпородных гибридов всего 14,6 %. Гомозиготность двухпородных помесей занимает среднее положение – 22,77 %. Таким образом, можно констатировать, что свиньи СГ имеют более высокую консолидацию наследственности в сравнении с двух- и трех породными помесями.

Все подопытные животные разделены по методу кризис-отъёма на устойчивых и чувствительных к стрессу, генотипические особенности которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

Частота генотипов в зависимости от стрессоустойчивости животных

Генотип	Всего по выборке (n=172)	Стрессоустойчивые (n=95)	Стресс-чувствительные (n=77)
1	2	3	4
FABP ^{HH}	0,34±0,04	0,26±0,05	0,43±0,06*
FABP ^{Hh}	0,40±0,04	0,43±0,05	0,36±0,05
FABP ^{hh}	0,26±0,03	0,31±0,05	0,21±0,05
FABP ^{DD}	0,16±0,03	0,16±0,04	0,21±0,05
FABP ^{dd}	0,59±0,04	0,54±0,05	0,53±0,06

Окончание табл. 2

1	2	3	4
FABP ^{dd}	0,25±0,03	0,30±0,05	0,26±0,05
Mc4r ^{AA}	0,19±0,03	0,21±0,04	0,16±0,04
Mc4r ^{AG}	0,58±0,04	0,47±0,05	0,71±0,05
Mc4r ^{GG}	0,23±0,03	0,32±0,05	0,13±0,04
LEP ^{TT}	0,73±0,05	0,80±0,06	0,66±0,08
LEP ^{TC}	0,05±0,02	-	0,11±0,05
LEP ^{CC}	0,22±0,05	0,20±0,06	0,23±0,07
ECR ^{GG}	0,10±0,02	0,14±0,04	0,06±0,03
ECR ^{AG}	0,36±0,04	0,30±0,05	0,43±0,06
ECR ^{AA}	0,53±0,04	0,56±0,05	0,51±0,06
RYR-1 ^{NN}	0,78±0,03	0,60±0,05	0,99±0,01
RYR-1 ^{Nn}	0,22±0,03	0,40±0,05	0,01±0,01***
RYR-1 ⁿⁿ	0	0	0

Примечание. Здесь и далее: *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001.

В группе свиней, оценённых как стрессустойчивые, чаще встречаются животные с генотипами Mc4r^{GG}, RYR-1^{Nn} – на 0,19; 0,39 соответственно в сравнении со стресс-чувствительными (P<0,05; P<0,01; P<0,001), тогда как у отнесённых к чувствительным больше выявлено поросят – носителей генотипов FABP^{HH} Mc4r^{AG}, RYR-1^{NN} – на 0,17; 0,24; 0,39 соответственно, чем в альтернативной группе (P<0,01; P<0,001). При этом обращает на себя внимание тот факт, что у поросят, более легко перенёсших отъём от матерей (группа стрессоустойчивых), отмечена более высокая частота гетерозиготного генотипа Nn, т.е. с мутацией в одном аллеле. Это, видимо, связано с тем, что устойчивость поросят к стрессам зависит от многих других генетических и средовых факторов.

При анализе динамики энергии роста поросят, сформированных по методу кризис-отъёма групп выявлено, что в целом за период выращивания (от 10 дней после отъёма до снятия с откорма) поросят, чувствительные к стрессу, значительно компенсировали задержку роста в первые 10 дней после отъёма. Разница по группам в первый период составляла 157,5 г (51,6%), а к концу периода выращивания они отставали по энергии роста относительно сверстников, устойчивых к стрессу, на 44,1 г (8,8%).

Таблица 3

Среднесуточный прирост поросят с учётом генотипов, г

Генотип	За 10 дней после отъёма, (n=172)			За период выращивания (n=165)		
	всего	стрессоустойчивые	стрессочувствительные	всего (n=172)	стрессоустойчивые	стрессочувствительные
FABP ^{HH}	231±12	318±10	165±10	526±12	553±17	503±18
FABP ^{Hh}	233±12	297±7	139±13	398±14	414±19**	369±15
FABP ^{hh}	219±20	294±17	82±20***	433±16	472±16*	369±24***
FABP ^{DD}	241±13	309±70	191±9	565±18	593±23	544±20
FABP ^{Dd}	228±11	300±80	124±12	405±11	436±12***	358±14***
FABP ^{dd}	220±18	302±17	126±16	485±13	502±18**	463±19**
Mc4r ^{AA}	242±16	290±13	162±22	464±14	484±15	430±22
Mc4r ^{AG}	207±11	297±90	133±10	462±14	486±22	443±19
Mc4r ^{GG}	272±16	315±12	142±23	462±17	474±19	421±31
LEP ^{TT}	234±14	302±12	148±14	516±13	519±18	513±20
LEP ^{TC}	186±26	257±22	123±32	465±24	504±34	426±26*
LEP ^{CC}	167±27	-	167±27	-	-	-
ECR ^{AA}	260±25	308±22	136±28	469±27	485±33	424±34
ECR ^{AG}	197±14	289±11	117±15	455±16	487±23	423±20
ECR ^{GG}	260±17	307±9	157±9	405±19	478±16	449±22
RYR-1 ^{NN}	209±90	306±9	133±8	432±10	422±21***	438±15
RYR-1 ^{Nn}	291±13	296±12	-	515±16	517±17	-
RYR-1 ⁿⁿ	-	-	-	-	-	-
В целом по группе	224±7,65	304,9±6,84	147,4±7,37	475,5±10,64	500,6±13,5	456,5±14,5

Анализ ассоциативных связей генотипов исследуемых генов с энергией роста поросят позволил выявить их желательные варианты (табл. 3). Устойчивые к стрессу поросята с генотипом FABP H^{HH} превосходили своих сверстников с альтернативными генотипами за период выращивания на 81–139 г ($P<0,01$; $P<0,001$), хотя в первый период после отъёма существенной разницы не наблюдалось. Стресс-чувствительные особи с генотипом FABP H^{HH} за 10 дней после отъёма росли быстрее своих сверстников с генотипом FABP H^{hh} на 83 г ($P<0,001$), и эта зависимость прослежена в течение всего периода выращивания. Разница между ними к концу опыта составляла 134 г ($P<0,001$).

Также выявлен желательный генотип FABP D^{DD}, носители которого устойчивы к стрессу, имели самую высокую энергию роста (593 г), превосходящую сверстников с альтернативным гомозиготным генотипом FABP D^{dd} на 91 г ($P<0,01$) и гетерозиготным на 157 г ($P<0,001$). Аналогичная приоритетность этого генотипа выявлена и у поросят, чувствительных к стрессу. Среднесуточный прирост особей с генотипом FABP D^{DD} по сравнению с животными других генотипов этого гена составляет 81–186 г ($P<0,01$; $P<0,001$).

Среди поросят, устойчивых к стрессу, с разными генотипами LEP существенных различий по среднесуточному приросту не выявлено, а в группе чувствительных к стрессу приоритетное положение занимают животные с генотипом LEP^{TT}, различие с гетерозиготным LEP^{TC} составляет 87 г ($P<0,05$).

В то же время следует отметить, что стрессоустойчивые поросята с генотипом RYR^{Nn} имели преимущество над поросятами с генотипом NN на 95 г ($P<0,001$). Среди носителей генотипов Mc4r и ECR генов различий по энергии роста поросят не выявлено.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлены особенности генотипического разнообразия свиней сапфировского генотипа (СГ) и созданных на его основе двух- и трехпородных гибридов (СГ х Л), (СГ х Л) х Д по генам FABP-H, FABP-D, Mc4r, LEP, ECR, RYR-1. Сапфировский генотип характеризовался средними частотами генотипов, за исключением ECR^{GG}, который у них встречался на 0,41–0,54 чаще, в сравнении с двух- и трехпородными помесями ($P<0,001$). Особенностью двухпородных свиней является повышенная частота генотипа FABP^{HH} на 0,22–0,27, и FABP^{dd} на 0,27–0,39, чем у СГ и помесей (СГ х Л) х Д ($P<0,01$). У трёхпородных помесей (СГ х Л) х Д выявлена более высокая частота гомозиготного генотипа Mc4r^{AA} (на 0,24–0,34) и более низкая – гетерозиготного Mc4r^{AG} (на 0,19–0,43), в сравнении с чистопородными и двухпородными помесями ($P<0,01$; $P<0,001$). Полиморфизм гена LEP и RYR-1 в сравниваемых группах свиней представлен в основном желательными генотипами TT (71–75 %) и RYR-1^{NN} (71–86 %).

2. Определён индекс генетического сходства между сапфировским генотипом (СГ) и помесями ($0,8731\pm0,0462$; $0,8464\pm0,0484$). Наиболее значимые различия выявлены между двух- и трехпородными гибридами ($0,7634\pm0,0613$), что можно объяснить прилитием крови породы дюрок.

3. Свиньи СГ имеют более высокую консолидацию наследственности, в сравнении с двух- и трехпородными помесями. Общий уровень гомозиготности (SH) в СГ составляет 24,89, тогда как в трехпородных гибридах всего 14,6 %.

4. Стрессоустойчивые животные характеризуются повышенной частотой генотипов Mc4r^{GG} и RYR-1^{Nn} – на 0,19; 0,39 соответственно, чем стресс-чувствительные ($P<0,05$; $P<0,01$; $P<0,001$). У чувствительных к стрессам больше выявлено поросят – носителей генотипов FABP H^{HH}, Mc4r^{AG}, RYR-1^{NN} – на 0,17; 0,24; 0,39 соответственно, в сравнении с альтернативной группой ($P<0,01$; $P<0,001$). Более высокая частота гетерозиготных животных RYR-1^{Nn} в стрессоустойчивой группе, видимо, связана с тем, что устойчивость поросят к стрессам зависит от многих других генетических и средовых факторов.

5. Выявлены желательные генотипы по энергии роста с учётом устойчивости к стрессам. Поросята с генотипом FABP H^{HH} превосходили своих сверстников, устойчивых к стрессу, с альтернативными генотипами за период выращивания на 81–139 г, чувствительных к стрессу – на 134 г ($P<0,01$; $P<0,001$).

Животные с генотипом FABP D^{DD}, устойчивые к стрессу, имели самую высокую энергию роста (593 г), превосходящую сверстников с альтернативным гомозиготным генотипом FABP D^{dd} на 91 г ($P<0,01$) и гетерозиготным на 157 г ($P<0,001$). Чувствительные к стрессу имели более высокий прирост – на 81–186 г по сравнению с животными других генотипов этого гена ($P<0,01$; $P<0,001$).

Среди поросят, чувствительных к стрессу, особи с генотипом LEP^{TT} имели более высокую энергию роста (на 87 г) в сравнении с гетерозиготным LEP^{TC} ($P<0,05$). Стрессоустойчивые поросята с генотипом RYR^{Nn} превосходили сверстников с генотипом RYR^{NN} на 95 г ($P<0,001$).

Среди носителей генотипов Mc4r и ECR генов различий по энергии роста поросят не выявлено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Близнецов А. В., Долматова И. Ю., Каримова Р. Ф. Стрессустойчивость пород свиней канадской селекции // Перспективное свиноводство – теория и практика. – 2011. – № 1. – С.7–10.
2. Бекенёв В. А. Технология разведения и содержания свиней: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2012. – 416 с.
3. Полозюк О. Н. Влияние гена RYR-1 на мясную продуктивность свиней // Проблемы современной науки. – 2013. – Вып. № 7–2. – С.135–141.
4. Полозюк О. Н., Новикова П. А. Воспроизводительные качества хряков разных генотипов по гену RYR1 // Свиноводство. – 2017. – № 3. – С. 62–63.
5. Смиронов Н. Н. Взаимосвязь генотипов по генам RYR-1 и ESR с естественной резистентностью свиней: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Персиановский, 2013. – 23 с.
6. Гришкова А. П., Овчинникова Л., Гончаренко Г. М. Исследование гена H-FABP во взаимосвязи с хозяйственно полезными признаками свиней кемеровского заводского типа КМ-1 Л // Свиноводство. – 2008. – № 2. – С. 11–12.
7. Ковальчук М. А., Журина Н. В. Структура популяций свиней белорусской мясной породы по генам H-FABP и RYR1 // Зоотехническая наука Беларуси. – 2012. – № 1. – С. 94–104.
8. Арсиенко Р. Ю. Полиморфизм гена белка, связывающего жирные кислоты (H-FABP), и его влияние на хозяйственно-полезные признаки свиней: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Дубровицы, 2003. – 18 с.
9. Полиморфизм гена H-FABP и его влияние на откормочные и мясные качества свиней / Г. Н. Сердюк, И. А. Погорельский, Л. В. Карпова, Ю. В. Иванов, М. В. Позовникова // Генетика и разведение животных – 2015. – № 4. – С. 27–32.
10. Wikberg J. E. C. Melanocortin receptors perspectives: for novel drugs // Eur. J. Pharm. – 1999. – Vol. 375, N 1/3. – P. 295–310.
11. Максимов Г. В., Гетманцева Л. В. Влияние гена MC4R на мясную продуктивность свиней // Главный зоотехник. – 2011. – № 10. – С 9–12.
12. Лядский И. К., Гетья А. А., Почерняев К. Ф. Связь Asp298 Asn-полиморфизма гена mc4r с толщиной спинного сала у свиней крупной белой породы // Цитология и генетика. – 2011. – № 2. – С 52–56.
13. Houston R. D., Cameron N. D., Rance K. A. A melanocortin 4 receptor (MC4R) polymorphism is associated with performance traits in divergently selected large white pig populations // Anim. Genet. – 2004. – Vol. 35. – P. 386–390.
14. The role of melanocortin 3 and 4 receptor in regulating appetite, energy homeostasis and neuroendocrine function in the pig / C. R. Barb, A. S. Robertson, J. B. Barrett, R. R. Kraeling, K. L. Houseknecht // J. Endocrinol. – Vol. 2004. – 181. – P. 39–52.
15. Effect of mutation in MC4R gene on carcass quality in Pulawska pig included in conservation breeding programmer / M. Szyndler-Nędza [et. al.] // Animal Science Papers and Reports. – 2010. – Vol. 28 (1). – P. 37–45.
16. Оценка влияния гена MC4R на откормочные и мясные качества свиней породы ландрас / Н. В. Широкова, А. В. Радюк, Р. Г. Алиев, Т. Ю. Тарусова, Н. Ф. Бакоев // Научное обозрение. Биологические науки. – 2015. – № 1. – С. 180–188.
17. Genetics of fat tissue accumulation in pigs: a comparative approach / M. Switonski [et al.] // J. Appl. Genet. – 2010. – Vol. 51 (2). – P. 153–168.
18. Гиниятуллин И. М. ДНК-тестирование аллельного полиморфизма помесных (йоркшир х ландрас) свиней по генам продуктивности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Казань, 2017 – С. 20.
19. Орешин А. М. Оценка генотипа и фенотипа свиней (*sus scrofa*) по гену лептина: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Саранск, 2010. – 19 с.
20. Geary T. Leptin as a predictor of carcass composition in beef cattle // J. Anim Sci. – 2003. – Vol. 81. – P. 1–8.
21. Колосов А. Ю., Леонова М. А., Гетманцева Л. В. Создание панели генетических маркеров для селекции по воспроизводительному фитнесу свиней крупной белой породы // Аграрная наука Северо-Востока. – 2017. – № 6 (61). – С. 64–68.

22. ДНК-тестирование свиней по генам MUC4, ECR F18/FUT1 и изучение их полиморфизма / М.А. Ковальчук, А.И. Ганджа, Н.В. Журина, О.П. Курак, В.П. Симоненко, Л.Л. Леткевич, И.В. Кириллова // Зоотехническая наука Беларуси. – 2016. – № 1. – С.86–98.
23. Дойлидов В.А., Кастирович Д.А., Глинская Н.А. Анализ влияния разных генотипов по генам MUC4 (IN 7), MUC4 (IN 17) И F18/FUT1 на сохранность потомства// Уч. зап. учр. образования «Витеб. ордена “Знак Почета” гос. акад. вет. медицины». – 2015. – Т. 51, № 1–2. – С. 34–37.
24. Коваленко В.А., Иванов В.А., Задырко В.И. Способ прогноза откормочных качеств свиней в раннем возрасте // Генетика, разведение и селекция свиней. – М.: Колос, 1988. – С.14–20.
25. Методики исследований по свиноводству / Полтав. НИИ свиноводства. – Харьков, 1977. – 151 с.
26. Леонова М.А., Святогорова А.Е. Воспроизводительные качества свиней породы ландрас разных генотипов по генам PRLR и MC4R // Политемат. сетевой электрон. научн. журн. КубГАУ. – 2014. – № 103. – С. 1006–1015.
27. Коновалова Е.Н. Полиморфизм гена рецептора *E. coli* F18 (ECR F18/FUT1) и его влияние на хозяйственно полезные признаки свиней: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Дубровицы, 2003. – 20 с.
28. Рыжова Н.В., Калашиникова Л.А., Новиков А.А. Частота встречаемости мутантного аллеля RYR 1-гена в популяциях свиней крупной белой породы // Докл. РАСХН. – 2001. – № 6. – С. 31–35.

REFERENCES

1. Bliznetsov A. V., Dolmatova I. Yu., Karimova R. F. Stressustoychi-vost porod sviney kanadskoy selektsii // Perspektivnoe svinovodstvo – teoriya i praktika. – 2011. – N 1. – S.7–10
2. BekenYov V.A. Tehnologiya razvedeniya i sodержaniya sviney: ucheb. posobie. – SPb.: Lan, – 2012. – 416 s.
3. Polozyuk O.N. Vliyanie gena RYR-1 na myasnuyu produktivnost sviney // Problemyi sovremennoy nauki. – 2013. – Vyip. N 7–2. – S.135–141.
4. Polozyuk O.N., Novikova P.A. Vosproizvoditelnyie kachestva hryakov raznyih genotipov po genu RYR1 // Svinovodstvo. – 2017. – N 3. – S. 62–63.
5. Smironov N.N. Vzaimosvyaz genotipov po genam RYR-1 i ESR s estestvennoy rezistentnostyu sviney: avtoref. dis. ... kand. s. – h. nauk. – Persianovskiy, 2013. – 23 s.
6. Grishkova A.P., Ovchinnikova L., Goncharenko G.M. Issledovanie gena H-FABP vo vzaimosvyazi s hozyaystvenno poleznyimi priznakami sviney kemerovskogo zavodskogo tipa KM-1 L // Svinovodstvo – 2008. – N 2. – S. –11–12.
7. Kovalchuk M.A., Zhurina N.V. Struktura populyatsiy sviney belorusskoy myasnoy porodiyi po genam H-FABP i RYR1// Zootehnicheskaya nauka Belarusi. – 2012. – N 1. – S. 94–104.
8. Arsienko R. Yu. Polimorfizm gena belka, svyazyivayuschego zhirnyie kisloty (H-FABP), i ego vliyanie na hozyaystvenno-poleznyie priznaki svi-ney: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Dubrovitsyi, 2003. – 18 s.
9. Polimorfizm gena H-FABP i ego vliyanie na otkormochnyye i myasnyie kachestva sviney / G. N. Serdyuk, I. A. Pogorelskiy, L. V. Karpova, Yu. V. Ivanov, M. V. Pozovnikova // Genetika i razvedenie zhivotnyih – 2015. – N 4. – S. 27–32.
10. Wikberg J.E.C. Melanocortin receptors perspectives: for novel drugs// Eur. J. Pharm. – 1999. – Vol. 375, N 1/3. – R. 295–310.
11. Maksimov G.V., Getmantseva L.V. Vliyanie gena MC4R na myasnuyu produktivnost sviney // Glavnyiy zootehnik. – 2011. – N 10. – S 9–12.
12. Lyadskiy I. K., Getya A. A., Pochernyaev K. F. Svyaz Asp298 Asn-polimorfizma gena mc4r s tolschinoy spinnogo sala u sviney krupnoy beyoy porodiyi // Tsitologiya i genetika. – 2011. – N 2. – S 52–56.
13. Houston R. D., Cameron N. D., Rance K. A. A melanocortin 4 receptor (MC4R) polymorphism is associated with performance traits in divergently selected large white pig populations // Anim. Genet. – 2004. – Vol. 35. – P. 386–390.
14. The role of melanocortin 3 and 4 receptor in regulating appetite, energy homeostasis and neuroendocrine function in the pig / C. R. Barb, A. S. Robertson, J. B. Barrett, R. R. Kraeling, K. L. Houseknecht // J. Endocrinol. – 2004. – 181. – P. 39–52.

15. Effect of mutation in MC4R gene on carcass quality in Pulawska pig included in conservation breeding programmer /Szyndler-N
16. Otsenka vliyaniya gena MC4R na otkormochnyye i myasnyie kachestva sviney porodyi landras / N. V. Shirokova, A. V. Radyuk, R. G. Aliev, T. Yu. Tarusova, N. F. Bakoev // Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki. – 2015. – N 1. – S. 180–188.
17. Genetics of fat tissue accumulation in pigs: a comparative approach / Switonski M. [et al.] //J. Appl. Genet. – 2010. – Vol. 51 (2). – P. 153–168.
18. Giniyatulin I. M. DNK-testirovanie allelnogo polimorfizma pomesnyih (yorkshir h landras) sviney po genam produktivnosti: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Kazan, 2017 – S. 20.
19. Oreshin A. M. Otsenka genotipa i fenotipa sviney (sus scrofa) po genu leptina: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Saransk, 2010. – 19 s.
20. Geary T. Leptin as a predictor of carcass composition in beef cattle //J. Anim Sci. – 2003. – Vol. 81. – P. 1–8.
21. Kolosov A. Yu., Leonova M. A., Getmantseva L. V. Sozdanie paneli geneticheskikh markerov dlya selektsii po vosproizvoditelnomu fitnessu sviney krupnoy beloy porodyi// Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2017. – N 6 (61). – S 64–68.
22. DNK-testirovanie sviney po genam MUC4, ECR F18/FUT1 i izuchenie ih polimorfizma / M. A. Kovalchuk, A. I. Gandzha, N. V. Zhurina, O. P. Kurak, V. P. Simonenko, L. L. Letkevich, I. V. Kirillova // Zootehnicheskaya nauka Belarusi. – 2016. – N 1. – S.86–98.
23. Doylidov V. A., Kaspirovich D. A., Glinskaya N. A. Analiz vliyaniya raznyih genotipov po genam MUC4 (IN 7), MUC4 (IN 17) i F18/FUT1 na sohrannost potomstva// Uch. zap. uchr. obrazovaniya «Viteb. ordena «Znak Pocheta» gos. akad. vet. meditsiny». – 2015. – T. 51, N 1–2. S. 34–37.
24. Kovalenko V. A., Ivanov V. A., Zadyirko V. I. Sposob prognoza otkormochnyyih kachestv sviney v rannem vozraste // Genetika, razvedenie i selektsiya sviney. – M.: Kolos, 1988. – S.14–20.
25. Metodiki issledovaniy po svinovodstvu / Poltav. NII svino-vodstva. – Harkov, 1977. – 151 s.
26. Leonova M. A., Svyatogorova A. E. Vosproizvoditelnyie kachestva sviney porodyi landras raznyih genotipov po genam PRLR i MC4R // Politemat. setevoy elektron. nauchn. zhurn. KubGAU. – 2014. – N 103. – S. 1006–1015.
27. Konovalova E. N. Polimorfizm gena retseptora E. coli F18 (ECR F18/FUT1) i ego vliyanie na hozyaystvenno poleznyie priznaki sviney: // avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Dubrovitsyi, 2003. –20 s.
28. Ryzhova N. V., Kalashnikova L. A., Novikov A. A. Chastota vstrechaemosti mutantnogo alleleya RYR 1-gena v populyatsiyah sviney krupnoy beloy porodyi // Dokl. RASHN. – 2001. – N 6. – S. 31–35.