

Зоотехния и ветеринария

УДК 636.4.082.251:636.4.082.251

DOI: 10.31857/S2500262721050100

ОЦЕНКА ЖИВОТНЫХ ПОРОД ЙОРКШИР И ЛАНДРАС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛИНЕЙНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ПАНЕЛИ ГЕНОВ-МАРКЕРОВ PRKAG3, MC4R И MYOD1

А.А. Бальников¹, И.Ф. Гридюшко¹, кандидаты сельскохозяйственных наук, Ю.С. Казутова¹, научный сотрудник, М.Е. Михайлова², кандидат биологических наук, Е.Л. Романишко², научный сотрудник

¹Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, 222163, Жодино, ул. Фрунзе, 11

²Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, 220072, Минск ул. Академическая, 27
E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by

Повысить племенные качества животных можно путем комплексного применения традиционных методов селекции и современных ДНК-технологий с использованием молекулярно-генетических маркеров, связанных с хозяйственно-полезными признаками. Потребность племенного животноводства в эффективном ДНК-маркировании продуктивных качеств животных возрастает с каждым годом, что обуславливает актуальность научного поиска в этой сфере. Цель исследований – оценка свиней пород йоркшир и ландрас в зависимости от линейной принадлежности с использованием панели генов-маркеров PRKAG3, MC4R и MYOD1. Работу проводили в 2019–2020 гг. в Минской области на популяциях животных пород йоркшир и ландрас в разрезе линий. На первом этапе оценивали племенной молодняк по показателям собственной продуктивности, на втором – откормочные и мясные качества. Для изучения полиморфизма генов PRKAG3, MC4R и MYOD1 у исследуемых свиней брали биопробы ткани уха. Выделение ДНК осуществляли с использованием набора реагентов «Нуклеосорб» (Праймтех, Беларусь). Анализ полиморфизма генов проводили методом ПЦР-ПДФ. У тестируемых животных отмечали следующие частоты встречаемости предпочтительных аллелей по генам-маркерам откормочной и мясной продуктивности: PRKAG3¹ – 0,171...0,288, MC4R¹ – 0,243...0,315, MYOD1^C – 0,064...0,477. В породе йоркшир лучшей среди изученных была линия Доброго 2313, представители которой превосходили животных других линий по откормочно-мясным показателям на 1,2...19,3 %, в породе ландрас – линия Дантеса 5440, у которой показатели продуктивности превышали среднепородные на 0,3...9,8 %. Использование изучаемой разработки в племенном свиноводстве позволит ускорить селекционную работу по увеличению откормочной и мясной продуктивности создаваемых селекционных стад изученных пород на линейном уровне.

EVALUATION OF YORKSHIRE AND LANDRACE ANIMALS DEPENDING ON LINEAR IDENTITY AND PANEL OF PRKAG3, MC4R AND MYOD1 MARKER GENES

Balnikov A.A.¹, Gridyushko I.F.¹, Kazutova Yu.S.¹, Mikhailova M.E.², Romanishko E.L.²

¹Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry, 222163, Zhodino, ul. Frunze, 11

²Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, 220072, Minsk, Akademicheskaya ul., 27
E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by

It is possible to improve the breeding qualities of animals through the integrated application of traditional breeding methods and modern DNA technologies using molecular genetic markers associated with economically useful traits. The need of livestock breeding for effective DNA-marking of productive qualities of animals is increasing every year, which determines the relevance of scientific research in this area. The aim of the research was to evaluate Yorkshire and Landrace pigs depending on the linear affiliation and the panel of marker genes PRKAG3, MC4R and MYOD1. The work was carried out in 2019–2020 of the Minsk region on populations of Yorkshire and Landrace animal breeds in the context of lines. At the first stage, the evaluation of breeding young animals according to their own productivity indicators was carried out, at the second – the assessment of fattening and meat qualities. To study the polymorphism of the PRKAG3, MC4R and MYOD1 genes, ear tissue samples were taken from the studied pigs. DNA was isolated using a set of reagents «Nucleosorb» (Primtech, Belarus). The analysis of gene polymorphism was performed by PCR-PDRF. In the tested animals, the following frequencies of occurrence of preferred alleles according to the genes-markers of fattening and meat productivity were noted: PRKAG3I-0.171...0.288, MC4RA-0.243...0.315, MYOD1C-0.064...0.477. In the Yorkshire breed, the best was the Good 2313 line, whose representatives surpassed animals of other lines in fattening and meat indicators by 1.2...19.3 %. The best line in the Landrace Dantes 5440 breed, whose productivity indicators exceeded the average breed by 0.3...9.8 %. The use of the studied development in breeding pig breeding will speed up the selection work to increase the fattening and meat productivity of the breeding herds of the studied breeds created at the linear level.

Ключевые слова: молодняк, порода йоркшир и ландрас различных линий, селекция, откормочные и прижизненные мясные качества, ДНК-тестирование, генетическая структура, полиморфизм, аллель, гены-маркеры PRKAG3, MC4R и MYOD1

Key words: young animals, Yorkshire and Landrace breeds of various lines, breeding, fattening and in vivo meat qualities, DNA testing, genetic structure, polymorphism, allele, marker genes PRKAG3, MC4R and MYOD1

Отрасль свиноводства Республики Беларусь выдвигает все более высокие требования к племенным качествам животных, а экономика производства – к сокращению использования импортного генетического материала и созданию отечественной базы генетических ресурсов. Генетический прогресс в свиноводстве может быть достигнут в результате комплексного применения традиционных методов селекции и современных ДНК-технологий с использованием молекулярно-генетических маркеров (генов), связанных с хозяйственно-полезными признаками [1, 2, 3]. Поэтому разработка программ маркерной селекции должна базироваться на выявлении полиморфизма, генетического влияния которого на показатели продуктивности и племенной ценности животных достоверно и значимо.

Перспективы использования генетики в селекции свиней связывают с разработкой ДНК-матриц низкой плотности (LD, low density) с включением в них SHP, отобранных по результатам GWAS-анализа (genome-wide association studies) с HD-панелей (high density). Потенциальными ДНК маркерами для включения в LD-панели могут служить гены гамма-субъединицы протеинкиназы (*PRKAG3*), влияющие на качество свинины, мясную и откормочную продуктивность; меланокортинового рецептора 4 (*MC4R*), которые влияют на пищевое поведение и интенсивность роста свиней; миогенного регуляторного фактора (*MYOD1*), который рассматривается как ген-кандидат мясной продуктивности, влияющий на качество мяса, особенности мышечной ткани, и характеристики длиннейшей мышцы поясницы [4, 5].

Потребность в эффективном ДНК-маркировании продуктивных качеств животных возрастает с каждым годом, что обуславливает актуальность научных исследова-

ний в этой области. В Республике Беларусь подобные работы находятся на начальном этапе. Результаты ряда исследований свидетельствуют, что использование ДНК-маркеров в селекции позволяет повысить продуктивность животных до 20 % и ускорить формообразующий (породообразующий) процесс в 2...3 раза [6].

Дальнейшая селекционная работа по разведению пород свиней невозможна без комплексной оценки продуктивных качеств племенных животных и сопоставления их с результатами генетических исследований. Свиньи различных пород селекционируются на отцовские и материнские линии (материнские отличаются высокими воспроизводительными качествами, отцовские – мясными и откормочными). Поэтому необходимо изучать такие вопросы применительно к каждой отдельно взятой породе, чтобы повышать продуктивные качества свиней различного направления использования с учетом имеющейся линейной дифференциации. В связи с изложенным в селекционно-племенной работе по улучшению мясо-откормочных качеств ремонтного молодняка актуально применение существующих и создаваемых линий панелей маркерных генов, разработанных для каждой из разводимых пород [7, 8, 9].

Цель исследований – оценка животных пород йоркшир и ландрас в зависимости от линейной принадлежности с использованием разработанной панели маркерных-генов *PRKAG3*, *MC4R* и *MYOD1*, которая позволит выявить предпочтительные аллели и найти их связь с показателями продуктивности.

Методика. Работу проводили в 2019–2020 гг. в ГП «ЖодиноАгроПлемЭлита» Минской области. Объект исследований – популяции чистопородных животных пород йоркшир (линии Добрый 2313 и Друг 6805) и

Табл. 1. Панель маркерных генов *PRKAG3(RN)*, *MC4R*, *MYOD1* по линиям при оценке собственной продуктивности племенного молодняка пород йоркшир и ландрас

Генмаркер	Линия	Частота встречаемости генотипов, %						Частота аллелей	
		n	II	n	VI	n	VV	I	V
<i>PRKAG3</i>	Добрый 2313	2	5,9	15	44,1	17	50,0	0,279 ± 0,013	0,721 ± 0,013
	Друг 6805	2	6,5	15	48,4	14	45,2	0,306 ± 0,014	0,694 ± 0,014
	Дантес 5440	1	5,0	6	30,0	13	65,0	0,200 ± 0,020	0,800 ± 0,020
	Доктор 4891	2	2,3	34	38,6	52	59,1	0,216 ± 0,050	0,784 ± 0,050
<i>MC4R</i>		AA		AG		GG	A	G	
	Добрый 2313	3	8,8	16	47,1	15	44,1	0,324 ± 0,013	0,676 ± 0,013
	Друг 6805	3	9,7	11	35,5	17	54,8	0,274 ± 0,014	0,726 ± 0,014
	Дантес 5440	-	-	7	35,0	13	65,0	0,175 ± 0,020	0,825 ± 0,020
	Доктор 4891	6	6,8	33	37,5	49	55,7	0,256 ± 0,050	0,744 ± 0,050
<i>MYOD1</i>		AA		AC		CC	A	C	
	Добрый 2313	10	29,4	12	35,3	12	35,3	0,471 ± 0,014	0,529 ± 0,014
	Друг 6805	8	25,8	13	41,9	10	32,3	0,468 ± 0,016	0,532 ± 0,016
	Дантес 5440	-	-	3	15,0	17	85,0	0,075 ± 0,010	0,925 ± 0,010
	Доктор 4891	1	1,1	3	3,4	84	95,5	0,028 ± 0,002	0,972 ± 0,002

Табл. 2. Результаты производственных испытаний разработанной панели маркерных генов *PRKAG3*, *MC4R*, *MYOD1* при оценке собственной продуктивности племенного молодняка различных линий пород йоркшир и ландрас

Линия	Генмаркер	Генотип	Оцене-но, гол.	Возраст достижения живой массы 100 кг, дн.	Среднесуточ-ный прирост от рождения до 100 кг, г	Длина туловища, см	Толщина шпика, мм		Высота длиннейшей мышцы спины, мм	Содержание постного мяса в теле, %
							точка 1	точка 2		
Добрый 2313	<i>PRKAG3</i>	II	2	162,0 ± 4,0	610,0 ± 15,0	123,5 ± 0,5**	11,0 ± 1,0	9,5 ± 0,5	42,0 ± 2,0	60,5 ± 0,5
		IV	15	166,1 ± 1,8	603,7 ± 4,8	126,1 ± 1,1	9,9 ± 0,3	9,6 ± 0,3	43,1 ± 0,7	61,7 ± 0,2**
		VV	17	168,9 ± 2,6	601,8 ± 7,9	125,3 ± 0,4	9,5 ± 0,3	9,7 ± 0,2	43,7 ± 0,6	62,0 ± 0,2**
	<i>MC4R</i>	AA	3	163,0 ± 4,9	611,3 ± 14,4	123,7 ± 0,7**	10,0 ± 0,0	9,3 ± 0,3	41,0 ± 1,5*	61,0 ± 0,6
		AG	16	168,3 ± 1,9	598,0 ± 5,6	124,9 ± 0,5	10,2 ± 0,4	9,9 ± 0,3	44,0 ± 0,6	61,7 ± 0,2
		GG	15	167,1 ± 2,7	606,9 ± 7,9	126,6 ± 1,0	9,3 ± 0,2	9,5 ± 0,2	43,1 ± 0,6	62,0 ± 0,2
	<i>MYOD1</i>	AA	10	167,0 ± 2,5	600,2 ± 7,1	124,3 ± 0,3	10,1 ± 0,5	9,9 ± 0,3	43,3 ± 0,9	61,7 ± 0,3
		AC	12	168,0 ± 3,2	601,7 ± 9,3	127,1 ± 1,3**	9,8 ± 0,4	9,7 ± 0,3	43,0 ± 0,8	61,6 ± 0,3
		CC	12	166,8 ± 2,3	607,0 ± 7,1	125,0 ± 0,5	9,5 ± 0,2	9,4 ± 0,2	43,7 ± 0,5	62,0 ± 0,2
Друг 6805	<i>PRKAG3</i>	II	2	168,5 ± 0,5	586,5 ± 1,5	125,0 ± 0,0**	12,5 ± 0,5	10,5 ± 0,5	46,5 ± 1,5	61,5 ± 0,5
		IV	15	171,3 ± 2,0	581,6 ± 5,4	130,8 ± 4,0	10,7 ± 0,4	10,0 ± 0,2	44,9 ± 0,8	61,7 ± 0,3
		VV	14	171,2 ± 1,9	582,8 ± 5,4	137,4 ± 5,4	11,1 ± 0,4	10,2 ± 0,3	46,3 ± 0,9	61,6 ± 0,3
	<i>MC4R</i>	AA	3	169,0 ± 2,1	584,3 ± 10,8	140,0 ± 14,0	10,7 ± 1,7	10,0 ± 1,1	46,0 ± 2,7	61,7 ± 0,9
		AG	11	170,7 ± 2,3	582,4 ± 6,4	129,3 ± 4,0	11,2 ± 0,4	10,3 ± 0,2	45,3 ± 0,9	61,6 ± 0,3
		GG	17	171,7 ± 1,8	582,2 ± 4,8	134,9 ± 4,6	10,9 ± 0,3	10,1 ± 0,2	45,8 ± 0,8	61,6 ± 0,3
	<i>MYOD1</i>	AA	8	173,6 ± 2,9	574,5 ± 8,3*	141,4 ± 8,0	10,3 ± 0,4	9,5 ± 0,3	44,1 ± 0,5	61,6 ± 0,3
		AC	13	168,7 ± 1,6	591,9 ± 3,6	128,1 ± 3,3	10,8 ± 0,5	10,1 ± 0,2	44,8 ± 0,6	61,7 ± 0,2
			10	172,2 ± 2,2	576,5 ± 6,2	134,0 ± 5,7	11,8 ± 0,4	10,7 ± 0,3	47,9 ± 1,3	61,6 ± 0,4
Дантес 5440	<i>PRKAG3</i>	II	1	167,0 ± 0,0	629,0 ± 0,0	126,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	9,0 ± 0,0	45,0 ± 0,0	62,0 ± 0,0
		IV	6	167,8 ± 2,7	604,7 ± 6,8	125,5 ± 0,4	8,8 ± 0,2	9,2 ± 0,5	41,7 ± 0,8	62,5 ± 0,3
		VV	13	165,0 ± 2,7	603,8 ± 10,0*	125,7 ± 0,4	10,7 ± 0,5	9,6 ± 0,2	46,2 ± 0,8	62,2 ± 0,2
	<i>MC4R</i>	AG	7	170,1 ± 1,8*	585,4 ± 6,6	125,3 ± 0,3	11,3 ± 0,6	10,0 ± 0,0	46,6 ± 1,5	62,3 ± 0,2
		GG	13	163,7 ± 2,6	616,1 ± 8,6**	125,8 ± 0,4	9,5 ± 0,4	9,2 ± 0,2	43,8 ± 0,7	62,2 ± 0,2
	<i>MYOD1</i>	AC	3	165,3 ± 1,7	621,0 ± 4,0	126,3 ± 0,3	9,3 ± 0,3	9,3 ± 0,36	42,7 ± 1,2	62,0 ± 0,0
		CC	17	166,1 ± 2,2	602,6 ± 7,8**	125,5 ± 0,3	10,2 ± 0,5	9,5 ± 0,2	45,1 ± 0,8	62,3 ± 0,2
Доктор 4891	<i>PRKAG3</i>	II	2	178,0 ± 2,0	573,0 ± 12,0	126,5 ± 1,5	9,0 ± 0,0	9,0 ± 1,0	41,5 ± 1,5	62,5 ± 0,5
		IV	34	174,2 ± 1,2	581,8 ± 3,7	125,9 ± 0,3	9,5 ± 0,2	9,5 ± 0,1	43,9 ± 0,5	62,4 ± 0,1
		VV	52	174,4 ± 1,2	580,1 ± 3,8	127,8 ± 1,2	9,5 ± 0,1	9,4 ± 0,1	44,2 ± 0,4	62,3 ± 0,07
	<i>MC4R</i>	AA	6	169,2 ± 3,9	600,2 ± 14,4	125,8 ± 1,0	9,5 ± 0,7	9,5 ± 0,3	44,8 ± 0,9	62,5 ± 0,2
		AG	33	174,6 ± 1,1	579,5 ± 3,8	125,9 ± 0,3	9,5 ± 0,1	9,5 ± 0,1	43,7 ± 0,4	62,2 ± 0,08
		GG	49	174,9 ± 1,2	579,0 ± 3,6	128,0 ± 1,2	9,5 ± 0,1	9,3 ± 0,1	44,1 ± 0,5	62,4 ± 0,09
	<i>MYOD1</i>	AA	1	172,0 ± 0,0**	581,0 ± 0,0	124,0 ± 0,0**	9,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	40,0 ± 0,0	62,0 ± 0,0
		AC	3	173,3 ± 5,7	577,7 ± 13,8	124,7 ± 1,7	9,0 ± 0,0	9,3 ± 0,7	44,3 ± 0,7	62,3 ± 0,3
		CC	84	174,5 ± 0,9	580,7 ± 2,8	127,2 ± 0,7	9,5 ± 0,1	9,4 ± 0,09	44,0 ± 0,3	62,3 ± 0,06

*p<0,05, **p<0,01

Табл. 3. Панель маркерных генов *PRKAG3(RN)*, *MC4R*, *MYOD1* при оценке откормочных и прижизненных мясных показателей молодняка по линиям пород йоркшир и ландрас

Генмаркер	Линия	Частота встречаемости генотипов, %						Частота аллелей	
		n	II	n	VI	n	VV	I	V
<i>PRKAG3</i>	Добрый 2313	2	3,9	27	52,9	22	43,1	0,304 ± 0,009	0,696 ± 0,009
	Друг 6805	3	10,3	8	27,6	18	62,1	0,353 ± 0,014	0,647 ± 0,014
	Дантес 5440	-	-	9	39,1	14	60,9	0,196 ± 0,017	0,804 ± 0,017
	Доктор 4891	1	1,0	30	30,9	66	68,1	0,165 ± 0,004	0,835 ± 0,004
<i>MC4R</i>			AA		AG		GG	A	G
	Добрый 2313	1	2,0	28	54,9	22	43,1	0,294±0,009	0,706±0,009
	Друг 6805	4	13,8	15	51,7	10	34,5	0,397±0,017	0,603±0,017
	Дантес 5440	1	4,3	9	39,1	13	56,5	0,239±0,018	0,761±0,018
<i>MYOD1</i>			AA		AC		CC	A	C
	Добрый 2313	3	5,9	30	58,8	18	35,3	0,353±0,009	0,647±0,009
	Друг 6805	2	6,9	11	37,9	16	55,2	0,259±0,015	0,741±0,015
	Дантес 5440	-	-	6	26,1	17	73,9	0,130±0,014	0,870±0,014
	Доктор 4891	-	-	17	17,5	80	82,5	0,088±0,003	0,912±0,003

ландрас (линии Дантес 5440 и Доктор 4891) в разрезе линий. В процессе исследований на первом этапе осуществляли оценку племенного молодняка по показателям собственной продуктивности: возраст достижения живой массы 100 кг (дней); среднесуточный прирост от рождения до достижения живой массы 100 кг (г); длина туловища (см); прижизненные мясные качества с использованием ультразвукового прибора Piglog-105 – толщина шпика (мм), высота длиннейшей мышцы спины (мм), содержание мяса в теле (%). На втором этапе проводили контрольный откорм согласно ОСТ-10 3-86 и оценку откормочных и мясных качеств по следующим показателям: возраст достижения живой массы 100 кг (дней); среднесуточный прирост (г); расход корма на 1 кг прироста (корм. ед.).

Затем показатели продуктивности сопоставляли с результатами генетических исследований. Анализ ДНК проводили в лаборатории генетики животных ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси». Для изучения полиморфизма генов *PRKAG3*, *MC4R* и *MYOD1* у исследуемых животных брали биопробы ткани уха, выделение ДНК осуществляли с использованием набора реагентов «Нуклеосорб» (Праймтех», Беларусь). Количество ДНК было нормализовано с использованием QFX Fluometer («DeNovix», США) и набора реагентов DeNovix dsDNA Broad Range kit. Полиморфизм генов *PRKAG3*, *MC4R*, *MYOD1* исследовали на выборке животных методом ПЦР-ПДРФ. Биометрическую обработку материалов исследований выполняли методами вариационной статистики по Е.К. Меркурьевой (1970) на персональном компьютере с использованием пакета программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. При изучении взаимосвязи собственной продуктивности с частотой встречаемости генотипов и аллелей локусов генов-маркеров *PRKAG3*, *MC4R*, *MYOD1* у племенного молодняка ли-

ний Добрый 2313 и Друг 6805 породы йоркшир установлено, что наиболее предпочтительны генотипы II-*PRKAG3*, AA-*MC4R*, CC-*MYOD1* (табл. 1). Частота встречаемости предпочтительных генотипов и аллелей у племенного молодняка находилась в пределах 5,9...35,3 % и 0,274...0,532 соответственно. У племенного молодняка линий Дантес 5440 и Доктор 4891 породы ландрас предпочтительные генотипы, для которых характерны высокие показатели собственной продуктивности, – *PRKAG3*^{VV}, *MC4R*^{AA}, *MYOD1*^{AC}. Частота встречаемости предпочтительных генотипов и аллелей составила 3,4...65,0 % и 0,028...0,972 соответственно.

При анализе собственной продуктивности племенного молодняка породы йоркшир установлено, что животные линии Добрый 2313 с генотипом II по гену *PRKAG3* превосходили особей с генотипом VV по скорости роста на 6,9 дней, или 4,1 % (табл. 2). Аналогичная тенденция прослеживалась для животных, относящихся к линии Друг 6805. Молодняк генотипа II превосходил своих сверстников генотипа VV по возрасту достижения живой массы 100 кг на 2,7 дней, или 1,6 %. Племенной молодняк линии Добрый 2313 и Друг 6805 с генотипом II отличался наибольшим среднесуточным приростом 610,0 и 586,5 г соответственно.

Животные линии Добрый 2313 с генотипом AA по гену-маркеру *MC4R* превосходили своих аналогов с генотипом GG по возрасту достижения живой массы 100 кг на 4,1 дня, или 2,5 %, линии Друг 6805 – по длине туловища на 5,1 см, или 3,8 %, по возрасту достижения живой массы 100 кг – на 2,7 дня, или 1,6 %.

Анализ данных по гену *MYOD1* показал, что молодняк линии Добрый 2313 генотипа CC превосходил животных гомозиготного генотипа AA по среднесуточному приросту на 6,8 г, их шпик был тоньше на 0,6...0,5 мм, или на 5,9...5,1 %. Особи линии Друг 6805 с предпочтительным генотипом CC достигали живой массы

Табл. 4. Результаты оценки откормочных и прижизненных мясных показателей молодняка по линиям по генам *PRKAG3*, *MC4R*, *MYOD1* у пород йоркшир и ландрас

Линия	Генмаркер	Генотип	Оценочн., гол.	Возраст достижения живой массы 100 кг, дн.	Затраты корма на 1 кг прироста, корм. ед.	Толщина шпика, мм		Высота длиннейшей мышцы спины, мм	Содержание постного мяса в теле, %
						точка 1	точка 2		
Добрый 2313	<i>PRKAG3</i>	II	2	155,4 ± 0,80	2,5 ± 0,03**	9,0 ± 0,05	8,1 ± 0,20	40,8 ± 0,05	62,3 ± 0,60
		IV	27	162,7 ± 1,30	3,0 ± 0,09	9,0 ± 0,20	8,5 ± 0,10	40,4 ± 0,20	62,5 ± 0,10
		VV	22	162,4 ± 1,90***	3,0 ± 0,10	8,9 ± 0,10	8,3 ± 0,10	40,3 ± 0,20	62,4 ± 0,10
	<i>MC4R</i>	AA	1	170,2 ± 0,00	3,48 ± 0,0	9,0 ± 0,00	8,3 ± 0,00	40,0 ± 0,00	62,6 ± 0,00
		AG	28	162,5 ± 1,70	3,0 ± 0,10	8,9 ± 0,10	8,3 ± 0,10	40,4 ± 0,20	62,5 ± 0,10
		GG	22	161,6 ± 1,20***	2,9 ± 0,09***	9,0 ± 0,10	8,5 ± 0,20	40,4 ± 0,20	62,3 ± 0,10
	<i>MYOD1</i>	AA	3	152,5 ± 1,00***	2,3 ± 0,04	8,8 ± 0,06	8,5 ± 0,70	40,8 ± 0,20	62,2 ± 0,30
		AC	30	162,0 ± 1,50	3,0 ± 0,10	9,1 ± 0,10	8,4 ± 0,10	40,4 ± 0,10	62,4 ± 0,10
		CC	18	164,4 ± 1,30	3,1 ± 0,09	8,8 ± 0,20	8,4 ± 0,20	40,3 ± 0,20	62,4 ± 0,10
Друг 6805	<i>PRKAG3</i>	II	3	162,5 ± 2,10***	3,1 ± 0,20	8,9 ± 0,09	8,2 ± 0,20	39,5 ± 1,20	62,7 ± 0,07
		IV	8	173,7 ± 0,90	3,7 ± 0,05	9,0 ± 0,10	8,0 ± 0,10	39,9 ± 0,50	62,5 ± 0,20
		VV	18	168,8 ± 1,30	3,4 ± 0,08	8,9 ± 0,10	8,0 ± 0,10	40,5 ± 0,20	62,6 ± 0,20
	<i>MC4R</i>	AA	4	169,7 ± 3,00	3,5 ± 0,10	9,2 ± 0,30	8,1 ± 0,30	40,5 ± 0,40	63,1 ± 0,30
		AG	15	170,7 ± 1,20	3,5 ± 0,06	8,8 ± 0,10	8,0 ± 0,10	40,2 ± 0,30	62,5 ± 0,20
		GG	10	167,6 ± 2,20	3,3 ± 0,10	9,0 ± 0,20	8,1 ± 0,20	40,2 ± 0,40	62,7 ± 0,10
	<i>MYOD1</i>	AA	3	172,9 ± 4,70	3,6 ± 0,20	9,2 ± 0,40	8,2 ± 0,30	40,3 ± 0,60	62,9 ± 0,60
		AC	10	167,8 ± 1,80	3,4 ± 0,10	8,9 ± 0,20	8,1 ± 0,20	40,2 ± 0,40	62,7 ± 0,20
		CC	16	170,0 ± 1,30	3,5 ± 0,08	8,9 ± 0,10	8,0 ± 0,08	40,3 ± 0,30	62,5 ± 0,20
Дантес 5440	<i>PRKAG3</i>	IV	9	165,0 ± 2,10	2,8 ± 0,05	8,7 ± 0,09	8,0 ± 0,20	40,3 ± 0,70	62,1 ± 0,40
		VV	14	161,9 ± 1,10	2,8 ± 0,03	8,4 ± 0,20	8,0 ± 0,20	41,9 ± 0,30	63,0 ± 0,40
		AA	1	159,3 ± 0,00***	2,7 ± 0,00	9,1 ± 0,00	8,1 ± 0,00	43,3 ± 0,00	64,9 ± 0,00
	<i>MC4R</i>	AG	9	161,8 ± 1,70	2,8 ± 0,04	8,6 ± 0,10	8,0 ± 0,30	40,8 ± 0,60	62,4 ± 0,60
		GG	13	164,4 ± 1,50	2,8 ± 0,04	8,4 ± 0,30	8,0 ± 0,20	41,4 ± 0,50	62,7 ± 0,40
		AC	6	165,7 ± 2,60	2,9 ± 0,07	8,7 ± 0,10	8,2 ± 0,40	40,9 ± 1,00	62,7 ± 0,50
	<i>MYOD1</i>	CC	17	162,3 ± 1,20	2,8 ± 0,03	8,5 ± 0,20	7,9 ± 0,10	41,4 ± 0,40	62,7 ± 0,40
		II	1	164,5 ± 0,00	2,8 ± 0,00	8,7 ± 0,00	7,8 ± 0,00	39,2 ± 0,00	64,8 ± 0,00
Доктор 4891	<i>PRKAG3</i>	IV	30	162,3 ± 1,80	2,8 ± 0,04	8,4 ± 0,10	8,1 ± 0,10	41,6 ± 0,30	63,0 ± 0,30
		VV	66	163,5 ± 0,90	2,8 ± 0,02	8,5 ± 0,10	8,2 ± 0,08	41,9 ± 0,20	63,0 ± 0,20
		AA	6	160,8 ± 3,70	2,8 ± 0,05	8,8 ± 0,05	8,7 ± 0,40	41,7 ± 1,10	62,0 ± 0,80
	<i>MC4R</i>	AG	41	163,2 ± 1,20	2,8 ± 0,02	8,4 ± 0,20	8,0 ± 0,09	41,9 ± 0,30	63,0 ± 0,20
		GG	50	163,4 ± 1,20	2,8 ± 0,03	8,5 ± 0,10	8,2 ± 0,10	41,7 ± 0,20	63,2 ± 0,20
		AC	17	164,7 ± 1,90	2,8 ± 0,05	8,6 ± 0,20	8,1 ± 0,20	41,4 ± 0,30	63,1 ± 0,40
	<i>MYOD1</i>	CC	80	162,8 ± 0,90	2,8 ± 0,02	8,4 ± 0,10	8,2 ± 0,07	41,9 ± 0,20	63,0 ± 0,20
		AC	3	173,3 ± 5,7	124,7 ± 1,7	9,0 ± 0,0	9,3 ± 0,7	44,3 ± 0,7	62,3 ± 0,3

*p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001.

100 кг на 1,4 дня раньше и имели длиннейшую мышцу спины на 3,8 мм выше, чем молодой генотипа АА.

Результаты анализа показателей собственной продуктивности молодняка породы ландрас свидетельствуют, что животные линии Дантес 5440 с генотипом VV по гену *PRKAG3* превосходили особей с генотипом II по скорости роста на 2 дня. Аналогичная тенденция прослеживалась для животных, относящихся к линии Доктор 4891, особи с генотипом II превосходили своих сверстников с генотипом VV по возрасту достижения живой массы 100 кг на 3,6 дней, или 2 %. У молодняка, относящегося к линии Доктор 4891 генотипа АА по гену-маркеру *MC4R*, возраст достижения живой массы 100 кг наступал раньше, чем у сверстников с генотипом GG, на 5,7 дня, или 3,3 %, а среднесуточный прирост выше на 21,2 г, или 3,7 %.

В представленной выборке племенного молодняка линий Дантес 5440 отсутствовали животные с генотипом АА гена *MYOD1*, при этом установленные гетерозиготы АС превосходили гомозиготных сверстников СС по энергии роста на 17 г, длине туловища 0,8 см и отличались меньшей осаливаемостью на 0,9...0,2 мм, или 0,6...0,9%. По линии Доктор 4891 установлена аналогичная тенденция – рост и развитие были лучше у племенных животных генотипа АА, а мясность и коррелирующие с ней показатели – у молодняка генотипа АС.

Анализ полиморфизма генов-маркеров, влияющих на откормочные качества свиней породы йоркшир позволил определить, что более предпочтительны генотипы *PRKAG3*^{II}, *MC4R*^{GG}, *MYOD1*^{AA}. При этом частота встречаемости желательных аллелей у животных линий Добрый 2313 и Друг 6805 составила 0,259...0,706 (табл. 3). Среди молодняка свиней линии Дантес 5440 и Доктор 4891 породы ландрас высокими откормочными показателями отличались животные генотипа VVAACC исследуемых генов-маркеров. Частота предпочтительных аллелей находилась в пределах 0,239...0,912.

По результатам оценки мясо-откормочных показателей животные линии Добрый 2313 с генотипом II по гену *PRKAG3* превосходили сверстников с генотипом VV по возрасту достижения живой массы 100 кг на 7 дней, или 4,3 % и потребляли наименьшее количество корма на 1 кг прироста (2,5 корм. ед.) (табл. 4). Аналогичную тенденцию наблюдали и у животных, относящихся к линии Друг 6805. Откормочный молодой с генотипом II по гену *PRKAG3* достигал живой массы 100 кг раньше сверстников с генотипом VV на 6,3 дней, или 3,7 % и потреблял на 1 кг прироста меньше на 0,3 корм. ед., или 8,8 %. Молодняк этих линий с генотипом GG по гену-маркеру *MC4R* превосходил животных с генотипом АА по возрасту достижения живой массы 100 кг на 8,6 и 2,1 дня соответственно, а также отличался наименьшими затратами корма. Подсвинки линии Добрый 2313 с генотипом АА по гену *MYOD1* достигали живой массы 100 кг раньше сверстников с гомозиготным генотипом СС на 11,9 дня, или 7,2 % и потребляли меньше корма на 0,8 корм. ед., или 25,8 %.

По породе ландрас установлено, что животные линии Дантес 5440 с генотипом VV по гену *PRKAG3* достигали живой массы 100 кг раньше сверстников с генотипом IV на 3,1 дня, или 1,9 %. Однако в линии Доктор 4891 превосходство отмечено у молодняка с генотипом VI. Откормочный молодой линии Дантес 5440 и Доктор 4891 с генотипом АА по гену-маркеру *MC4R* достигали живой массы 100 кг раньше особей

с генотипом GG на 5,1 и 2,6 дня, или 3,1 и 1,6 % соответственно. Животные с генотипом СС по гену *MYOD1* линии Дантес 5440 и Доктор 4891 по возрасту достижения живой массы 100 кг превосходили особей с генотипом АС на 3,4 дня, или 2,1 % и на 1,9 дня, или 1,2 % соответственно.

Откормочный молодой генотипа СС по гену *MYOD1* линии Дантес 5440 отличался лучшими мясными показателями, чем аналоги генотипа АС. Шпик животных этого генотипа в двух точках был тоньше, на 0,2...0,3 мм, или на 2,3...3,7 %, а мышечный глазок больше на 0,5 мм, или 1,2 %, по сравнению с аналогами.

Результаты наших исследований совпадают с данными других ученых, в частности, подтверждается ранее отмеченное положительное влияние доминантного аллеля *PRKAG3(RN)A* на содержание постного мяса [10]. В ходе изучения влияния генотипов гена *MC4R* на откормочные и мясные качества свиней была установлена достоверная связь между генотипами его (АА, АГ и GG) и показателями продуктивности свиней. В качестве «желательного» определен генотип АГ, наличие которого у свиней связано с лучшей скороспелостью (на 1,65 дн.) и среднесуточными приростами (на 110 г) [11]. На основании исследований российских ученых в качестве маркера мясной продуктивности рекомендовано использование гена *MYOD1* генотипа АА [12].

Таким образом, разработанные для пород йоркшир и ландрас панели маркерных генов *PRKAG3(RN)*, *MC4R*, *MYOD1* позволяют определить частоту встречаемости предпочтительных генотипов и аллелей у тестируемого племенного животного и выявить продолжателей линий с показателями продуктивности, превышающими средне популяционные на 0,3...19,3 %.

Предпочтительные по генам-маркерам генотипы в породе йоркшир *PRKAG3*^{II}, *MC4R*^{AA} или ^{GG}, *MYOD1*^{CC} или ^{AA}, в породе ландрас – *PRKAG3*^{VV}, *MC4R*^{AA}, *MYOD1*^{AC}.

В породе йоркшир лучшей была линия Добрый 2313, которая превосходила остальные по откормочно-мясным показателям на 1,2...19,3 %, в породе ландрас – линия Дантес 5440, у которой показатели продуктивности превышали среднепородные на 0,3...9,8 %.

Использование панели маркерных генов в племенном свиноводстве позволит повысить эффективность селекционно-племенной работы по совершенствованию продуктивных и племенных показателей существующих и создаваемых линий в породах йоркшир и ландрас.

Литература

1. Гетманцева Л.В., Третьякова О.Л., Леонова М.А. Практическое использование полиморфизма гена *MC4R* в селекционной работе. Персиановский: Данской ГАУ, 2015, 33 с.
2. Криворучко А.Ю., Язык О.А., Сафарян Е.Ю. Гены-кандидаты продуктивности, выявленные при полногеномном поиске ассоциаций с показателями классности у овец породы российский мясной меринос. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 8. С. 836–843. DOI 10.18699/VJ20.681.
3. Охохонина Е.Н., Голоцупов А.А. Использование ДНК-маркеров в селекции свиней. // Сб. ст. по материалам XII Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. молодых ученых «Развитие научной, творческой и инновационной деятельности

- молодежи», посвящ. 125-летию Т.С. Мальцева. Курган: Курганская ГСХА им. Т.С. Мальцева, 2020. С. 253–259.
4. Бальников А.А. Драйвер свиноводства – не вал, а качество и себестоимость. *Наше сельское хозяйство*. 2020. № 6. С. 4–12.
 5. Бальников А.А. Почему нужен генетический сертификат в племенном свиноводстве. *Наше сельское хозяйство*. 2020. № 24. С. 38–43.
 6. Полногеномные ассоциативные исследования распространения пороков развития и других селекционно-значимых качественных признаков у потомства хряков крупной белой породы российской селекции / А.А. Траспов, О.В. Костюнина, А.А. Белоус и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020. Т. 24. № 2. С. 185–190. DOI 10.18699/VJ20.612.
 7. Колосова М.А., Колосов А.Ю., Бакоев Ф.С. ДНК-маркеры продуктивности в свиноводстве. *Вестник Донского аграрного университета*. 2019. № 4-1(34). С. 16-20.
 8. Влияние генотипов по IGF2, CCKAR и MC4R на фенотипические показатели и племенную ценность свиней по хозяйственно полезным признакам. / Е.Е. Мельникова, Н.В. Бардуков, М.С. Форнара и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2018; 53(4):723–734. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.2.227rus.
 9. Изучение мясных и откормочных качеств с учетом полиморфизма по генам IGF2, MC4R, CAST, PRKAG3 и CCKAR молодняка свиней / С.М. Раскатова, К.М. Шавырина, О.В. Костюнина и др. *Свиноводство*. 2015. № 1. С. 25–28.
 10. Effects of a second mutant allele (V199I) at the PRKAG3 (RN) locus on carcass composition in pigs / A.-C. Enfält; G. von Seth, Asa J., et al. // *Livestock Science*. 2006 Vol. 99. No. 2. P.131–139
 11. Оценка влияния гена MC4R на откормочные и мясные качества свиней породы ландрас / Широкова Н.В., Радюк А.В., Алиев Р.Г. и др. // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. С. 593.
 12. Влияние однонуклеотидных полиморфизмов в гене MYOD1 на показатели мясной продуктивности овец северокавказской породы / А.Ю. Криворучко, М.И. Селионова, Е.Ю. Сафарян и др. // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 2. С. 49–54

Поступила в редакцию 11.02.2021.

После доработки 25.06.2021

Принята к публикации 13.08.2021