

DOI: 10.37925/0039-713X-2023-4-33-37

УДК 636.4.033+636.4.084.522.052

Анализ взаимосвязи показателей продуктивности и качества мяса гибридов свиней (ДхЛхКБ)



Р.В. НЕКРАСОВ, доктор с.-х. наук, профессор РАН, гл. научный сотрудник, e-mail: nek_roman@mail.ru, Ю.А. ПРЫТКОВ, кандидат биолог. наук, научный сотрудник, Н.В. БОГОЛЮБОВА, доктор биолог. наук, вед. научный сотрудник, К.С. ОСТРЕНКО, доктор биолог. наук, вед. научный сотрудник, А.А. СЕМЕНОВА, доктор техн. наук, профессор, гл. научный сотрудник, О.В. КОСТЮНИНА, доктор биолог. наук, вед. научный сотрудник, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста

На основе массива данных проведен анализ взаимосвязи показателей продуктивности и качества мяса гибридов свиней (ДхЛхКБ) ($n=203$) с учетом генотипа животных, фактора стресса и скармливания комплекса адаптогенов. Наибольшей корреляционной зависимостью обладали среднесуточные привесы (ССП) – убойный выход (УВ) ($P<0,001$), ССП- pH_{24} ($P<0,01$); толщина шпика над остистыми отростками между шестым-седьмым грудными позвонками (ТШ1) – толщина шпика над первым поясничным позвонком (ТШ2) ($P<0,001$), ТШ1- pH_{24} ($P<0,001$), pH_{45} - pH_{24} ($P<0,001$); влагоудерживающая способность (ВУС) – pH_{45} ($P<0,01$).

Изучение стрессовых условий среды показало существенное их влияние на все учитываемые в анализе показатели, при котором снижались: на 7,53% – ССП (1005,80 г против 1087,65 г у животных без стресса; $P<0,001$), УВ – на 3,12% (73,82% против 76,94%; $P<0,001$), ТШ1 – на 12,83% (27,40 мм против 31,43 мм; $P=0,003$), ТШ2 – на 16,39% (17,44 мм против 20,86 мм; $P<0,001$), pH_{45} – на 3,87% (5,87 против 6,11; $P<0,001$), pH_{24} – на 1,24% (5,51 против 5,58; $P=0,003$). При этом ВУС на фоне стрессов увеличился на 3,73% (74,80% против 71,07%; $P=0,01$). Достоверно воздействовали на УВ и ТШ1 SCD, на pH_{45} – IGF2, на pH_{24} – MC4R ($P<0,05$). Фактор группы (К) с адаптогеном оказывал положительное влияние ($P<0,05$) на показатели роста, убойный выход и качество продукции.

Двухфакторным анализом установлено влияние изученного фактора адаптогена (комплекс дигидрокверцетина с витаминами Е и С) на значение pH_{45} у животных с генотипом IGF2 ($P=0,005$). Таким образом, учет генетического статуса животного и комплекс мер, предусматривающих скармливание специальных веществ-адаптогенов для профилактики последствий стресс-факторов, может способствовать улучшению прижизненной продуктивности и качества мяса гибридных свиней.

Ключевые слова: гибриды свиней, маркер, генотип, среднесуточный прирост, качество мяса.

Analysis of the relationship between productivity and meat quality indicators of pig hybrids (DxLxLW)

R.V. NEKRASOV, doctor of agricultural sciences, professor of the RAS, chief researcher, e-mail: nek_roman@mail.ru, Yu.A. PRYTKOV, candidate of biological sciences, researcher, N.V. BOGOLYUBOVA, doctor of biological sciences, leading researcher, K.S. OSTRENKO, doctor of biological sciences, leading researcher, A.A. SEMENOVA, doctor of technical sciences, professor, chief researcher, O.V. KOSTYUNINA, doctor of biological sciences, leading researcher, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Analysis of interrelation of productivity indicators and meat quality of pig hybrids (DxLxLW) ($n=203$) taking into account genotype of animals, stress factor and feeding complex of adaptogens was carried out on the basis of data array. The highest correlation were with ADG-CY ($P<0.001$), ADG- pH_{24} ($P<0.01$), BF1-BF2 ($P<0.001$), BF1- pH_{24} ($P<0.001$), pH_{45} - pH_{24} ($P<0.001$), WHC- pH_{45} ($P<0.01$).

The study of stressful environmental conditions showed their significant effect on all the parameters taken into account in the analysis: the ADG decreased by 7.53% (1005.80 g vs 1087.65 g in animals without stress; $P<0.001$), CY decreased by 3.12% (73.82% vs 76.94%; $P<0.001$), BF1 decreased by 12.83% (27.40 mm vs

31.43 mm; $P=0.003$), BF2 decreased by 16.39% (17.44 mm vs 20.86 mm; $P<0.001$), pH_{45} decreased by 3.87% (5.87 vs 6.11; $P<0.001$), pH_{24} decreased by 1.24% (5.51 vs 5.58; $P=0.003$). At the same time, WHC on stress increased by 3.73% (74.80% vs 71.07%; $P=0.01$). There was a significant ($P<0.05$) effect of SCD on CY and BF1, IGF2 on pH_{45} and MC4R on pH_{24} . Factor group (K) with adaptogen had a positive effect ($P<0.05$) on growth rates, slaughter yield and production quality.

By two-factor analysis, the effect of the studied adaptogen factor (dihydroquercetin complex with vitamins E and C) on pH_{45} value in animals with IGF2 genotype ($P=0.005$) was established. Thus, consideration of the genetic status of the animal and a set of measures involving the feeding of special substances-adaptogens for the prevention of the effects of stressors can improve the lifetime productivity and meat quality of hybrid pigs.

Key words: pig hybrids, marker, genotype, average daily gain, meat quality.

■ Введение

Одним из основных направлений селекционной работы в свиноводстве является улучшение мясных характеристик свиней и повышение выхода мяса. За последние 50 лет в свиной туше содержание мышечной ткани изменилось примерно с 44–49% до 58–62% [1]. Одновременно с этим все активнее признается экономическая важность вопросов качества мяса как для потребителей, так и для производителей [2].

Однако такие успехи не остались без негативных последствий. Потребительские и технологические свойства мяса изменились. В зарубежной и отечественной практике все чаще стали говорить о проблеме снижения качества мяса и распространенности специфических дефектов мяса и мясной продукции, связанных с миопатией.

Путем многочисленных исследований сформировалось мнение ученых о том, что генетический прогресс усилил нагрузку на быстрорастущих убойных животных и привел к морфологическим и биохимическим модификациям, ухудшающим потребительские качества мяса и шпика [3].

Проведенные исследования показали, что быстрорастущие гибриды демонстрируют высокую частоту выявления спонтанных или идиопатических миопатий, в том числе вызванных стрессом, которые существенно влияют на качество мяса и приводят к возникновению различных патологических состояний (например, мясо PSE).

В основе развития миопатии лежит механизм последовательных изменений мышечной ткани: повреждение клеточных мембран и выброс митохондриального кальция, что вызывает гиперконтракцию, дистрофические изменения, атрофию и некроз мышечных волокон [4, 5].

Также наряду с традиционной селекцией широкое распространение нашли методы маркерной селекции, предусматривающей использование в селекционных программах ДНК-маркеров, которые напрямую или косвенно связаны с QTL мясной продуктивности [6].

В то же время формирование качества мяса происходит в результате посмертной эволюции мышц животного в мясо и зависит не только от биологических характеристик мышц, но и от уровня стресса свиней до убоя.

Стресс сельскохозяйственных животных является основной причиной снижения качества мяса. Причем размах проблемы остается таковым, что существует реальная опасность того, что потребители могут начать ассоциировать низкое качество мяса с проблемами безопасности мясной продукции в целом [7].

В производстве свинины доля мяса пониженного качества по причине стресса до убоя колеблется от 10% до 30%, а в некоторых странах – до 60%. Как крайние клинические признаки стрессовый синдром у свиней (ССС) проявляется в виде сердечного паралича и некроза длинной мышцы спины. В результате перемещений, перегрева, скученности и прочих факторов у свиней происходит повышение содержания в крови и тканях миоплазматического кальция. В США вследствие миопатии из-за СССР выбраковывают до 8% свиных туш [8].

Для смягчения повреждающего действия стрессов могут применяться разные вещества-адаптогены, в том числе селен, витамин Е, флавоноиды и др. [9–11]. Поиск нутриентов-адаптогенов и регуляторов направленного развития мышечной ткани, обуславливающих ее устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, прежде всего к факторам

стресса, может стать одним из путей обеспечения дальнейшей интенсификации производства.

Необходимо учитывать генетический статус животных по ДНК-маркерам, ассоциированным со стрессами, как фактор, влияющий на качество мяса свиней [12]. Ген IGF2 представляет особый интерес как ДНК-маркер, поскольку ассоциирован с интенсивностью роста свиней, а также связан с содержанием жира в мясе [13, 14].

ДНК-маркер MC4R связывают со скоростью роста и упитанностью, а также с потреблением корма [15, 16]. Ген SCD ассоциирован с содержанием жира и составом жирных кислот [17, 18].

Цель исследований – провести анализ взаимосвязи показателей продуктивности и качества мяса гибридов свиней (ДхЛхКБ) с учетом следующих факторов: генотип животных по ДНК-маркерам, стресс и скормливание комплекса адаптогенов.

■ Материалы и методы

В рамках проводимых в 2019–2023 годах на физиологическом дворе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста исследований (проект РНФ №19-16-00068-П) велся индивидуальный учет показателей роста в период откорма, убойных параметров и качества полученной продукции (*Sus scrofa*).

Исследовали массив данных по откармливаемым животным (боровки; $n=203$; финальный гибрид ДхЛхКБ) на предмет формирования у них хозяйственно полезных признаков и уточнения маркеров их жизненной оценки.

Свинарник-откормочник на 45 мест соответствовал нормативам содержания животных в период откорма, в частности:

- кормление в станках из групповых кормушек с разделителями для индивидуального кормления;

- каждый станок 1,5x2 м с резиновым ковриком 1x1,5 м при содержании трех голов;
- поение свиней из сосковых автопоилок – постоянный доступ;
- кормление сухими комбикормами с увлажнением непосредственно при раздаче, раздача кормов два раза в день.

Кормление животных осуществлялось по нормам ВИЖа [19]. Параметры микроклимата в зоне размещения животных производственных зданий – по ГОСТу 12.1.005 и МР по технологическому проектированию. Моделированием условий в отдельные периоды откорма достигались стрессовые условия (превышение температурного оптимума, социальный стресс путем перестановки животных, сокращение фронта кормления и проч.).

Для анализа были взяты следующие показатели: **среднесуточный прирост** (ССП) за период откорма; **убойный выход** (УВ) – отношение массы парной туши (без головы, ног, хвоста, внутренних органов и внутреннего жира) к живой массе перед убоем; **толщина шпика** (ТШ1) над остистыми отростками между шестым-седьмым грудными позвонками; **толщина шпика** (ТШ2) – первый поясничный позвонок; **рН длиннейшей мышцы спины** через 45 минут после убоя (рН₄₅) и 24 часа после убоя (рН₂₄) – измерением рН-метром Testo 205; **влагоудерживающая способность** (ВУС) – методом прессования по Грау-Хамму.

Определяли аллельные профили подопытных животных (ДхЛхКБ) по следующим ДНК-маркерам: *IGF2*, *MC4R*, *SCD*.

Геномную ДНК выделяли из проб ткани (ушной выщип) с использованием набора реагентов «ДНК-Экстран-2» (ООО «Синтол», Россия). Качество и концентрацию ДНК определяли с помощью флуориметра Qubit 2.0 (Invitrogen/Life Technologies, США) и спектрофотометра NanoDrop 8000 (Thermo Fisher Scientific, США).

Определяли полиморфизм генов *IGF2*, *MC4R* и *SCD* в позициях 2:g.1483817G>A, 1:g.160773437G>A и 14:g.111461751T>C (согласно сборке Sscrofa11.1) соответственно. Генотипирование выполняли методом ПЦР в реальном времени на приборе QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific).

Реакции проводили в 15 мкл реакционной смеси следующего состава:

Таблица 1. Параметры исследуемого общего массива животных и образцов (n=203)

Показатель	Параметр описательной статистики						
	N	M	Min	Max	SD	SEM	CV
ССП	203	993,08	668,97	1305,66	109,50	7,69	11,02
УВ	203	74,35	61,50	82,05	2,45	0,17	3,29
ТШ1	203	28,19	5,45	64,00	10,92	0,77	27,52
ТШ2	203	18,07	5,00	35,00	6,57	0,46	27,65
рН ₄₅	203	5,89	5,23	6,81	0,40	0,03	6,82
рН ₂₄	203	5,53	5,23	5,91	0,14	0,01	2,29
ВУС	203	69,81	52,49	86,00	7,90	0,55	11,32

Таблица 2. Цветовая карта¹ корреляционной взаимосвязи показателей (n=203)

Переменная	ССП	УВ	ТШ1	ТШ2	рН ₄₅	рН ₂₄	ВУС
ССП		0,36	0,11	0,11	0,09	0,19	0,03
УВ	0,000		0,01	0,06	0,13	0,07	0,13
ТШ1	0,143	0,946		0,77	0,24	-0,05	-0,22
ТШ2	0,123	0,387	0,000		0,35	-0,05	-0,14
рН ₄₅	0,214	0,072	0,001	0,000		0,24	0,19
рН ₂₄	0,010	0,318	0,483	0,506	0,001		0,03
ВУС	0,672	0,076	0,003	0,068	0,010	0,666	
P-value ≤	0,001						

P-value ≤	0,001	0,010	0,025	0,050	0,100	0,150	0,200	0,350	0,500	1
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---

¹Над диагональю указаны значения г-Пирсона, под диагональю – значения P-values.

ва: 1хПЦР буфер (16,6 мМ (NH₄)₂SO₄, 67,7 мМ Трис-НСl, рН 8,8, 0,1% (v/v) Tween 20, 1,5 мМ MgCl₂), 0,2 мМ дНТФ, 10 пмоль каждого из фланкирующих праймеров и 5 пмоль аллельных зондов, меченных на 5'-конце флуорофором и 3'-конце гасителем, 2 мМ MgCl₂, 1 Ед Taq-полимеразы и 1 мкл ДНК. Производили при следующем температурно-временном режиме: 1 цикл – 95°С 5 минут; 40 циклов последовательно – 94°С – 15 секунд, 62°С – 30 секунд, 72°С – 15 секунд.

Полученные в результате опыта материалы были обработаны биометрически с использованием методов корреляционного (г-Пирсона) и дисперсионного анализа (ANOVA) посредством программы Statistica version 13RU (StatSoft Inc., 2011; www.statsoft.com). Проведен многофакторный дисперсионный анализ для выявления степени влияния фактора группы, фактора генотипа, взаимодействия факторов группа x генотип. Вычислены следующие величины: среднеарифметическая (M), среднеквадратическая ошибка средней (±m), минимум (Min), максимум (Max), среднеквадратическое отклонение (SD), стандартная ошибка среднего (SEM), коэффициент вариации (CV), уровень значимости (P-value). При P<0,001 результаты исследований

считали высокодостоверными, при P<0,01 и P<0,05 – достоверными, при P<0,10 отмечали тенденцию.

■ Результаты и обсуждение

В **таблице 1** приведены показатели, описывающие основные изучаемые параметры хозяйственно полезных признаков.

Установлено, что разброс значений УВ, рН₄₅, рН₂₄ был незначительным (CV меньше 10%), ССП и ВУС – средним. В то же время ТШ1 и ТШ2 имели существенный разброс, связанный, по-видимому, с убойной живой массой.

Изучение взаимосвязи показателей выявило существенную корреляцию значений (**табл. 2**). Практически все зарегистрированные достоверные взаимосвязи (P<0,05) имели положительную (прямую) корреляцию.

Самая высокая степень связи отмечается между переменными: ССП-УВ, ТШ1-ТШ2, ТШ1-рН₄₅, ТШ1-рН₂₄, ТШ2-рН₄₅, рН₄₅-рН₂₄ (P≤0,001), ССП-рН₂₄, ТШ1-ВУС, рН₄₅-ВУС (P≤0,01). Также отмечены тенденции к взаимосвязи УВ-рН₄₅, УВ-ВУС, ТШ2-ВУС (P<0,10).

Интересной оказалась взаимосвязь ТШ и рН₄₅, ВУС длиннейшей мышцы спины, свидетельствующая о том, что животные с лучшим развитием шпика имеют более высокие

показатели и мясной продукции тоже. Хотя на pH_{24} данный фактор влияния уже не оказывал.

На эффективность производства оказывает воздействие ряд факторов, наиболее существенными из которых являются генетические. Но потенциальные возможности животных проявляются только при реализации условий кормления. С использованием линейной смешанной модели обнаружено влияние генотипа свиней с полиморфными вариантами исследуемых генов (*IGF2*, *MC4R*, *SCD*) на проявление хозяйственно ценных признаков (табл. 3).

Лучшим убойным выходом по отношению к другим генетическим вариантам обладали гомозиготные животные по аллелю А гена *IGF2* и гетерозиготные *SCD* AG ($P < 0,05$). Гомо- и гетерозиготные животные с генотипами *IGF2* AG, *MC4R* AA, *SCD* GG имели более высокий показатель ТШ1 ($P < 0,05$), а гомозиготные животные с генотипами *MC4R* AA – ТШ2 ($P < 0,05$). Значимо выше pH_{45} был у гомозиготных животных с генотипом *MC4R* AA ($P < 0,05$). Животные с генотипом *SCD* AG имели наибольшее значение параметра ВУС ($P < 0,05$).

Таким образом, при выборке гибридных животных уточнено влияние изучаемых генетических факторов на показатели, ассоциированные с хозяйственно значимыми признаками гибридных интенсивно растущих свиней.

Для дальнейшего сравнительного анализа из общего массива животных ($n=203$) были отобраны свиньи, наиболее сходные по параметрам исследований, проводимых на физиологическом дворе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, для которых создавались условия с моделируемыми факторами среды в конце откорма. Общее количество отобранных для анализа – 115 голов, из них со стрессом – 73, без стресса – 42 головы.

Также в опытных подгруппах применяли ДКВ и комплекс ДКВ с витаминами для нивелирования отрицательных последствий факторов среды (общее – $n=115$, из них контроль (ОР) – $n=56$, опытные (ОР+адаптогены) – $n=59$).

В первую очередь по итогам анализа было установлено, что у животных с фактором стресса все исследуемые параметры признаков отличались (табл. 4). Так, в результате стресс-факторов моделируемой среды у животных на 7,53% снижался ССП

Таблица 3. Влияние генотипов животных по исследуемым маркерам, связанных с показателями продуктивности и качеством мяса свиней (n=203)

Показатель		Ген							
		<i>IGF2</i>		<i>MC4R</i>			<i>SCD</i>		
		Генотип							
		AA	AG	AA	AG	GG	AA	AG	GG
		N							
		113	90	84	81	38	80	79	44
ССП	M	998,4	986,4	991,3	989,4	1004,8	987,6	1007,8	976,7
	SEM	11,0	10,5	12,0	13,0	14,9	12,6	12,8	14,0
УВ	M	74,67*	73,94	74,37	74,37	74,27	74,52	74,66*	73,49
	SEM	2,78	1,90	0,32	0,19	0,40	0,24	0,29	0,37
ТШ1	M	26,84	29,89*	30,00*	25,61	29,68	27,12	26,96	32,34*
	SEM	1,02	1,14	1,19	1,26	1,48	1,20	1,18	1,71
ТШ2	M	17,54	18,73	19,36*	16,64	18,25	17,88	17,47	19,48
	SEM	0,63	0,67	0,71	0,75	0,94	0,75	0,72	0,99
pH_{45}	M	5,86	5,93	5,97*	5,80	5,91	5,91	5,90	5,84
	SEM	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05
pH_{24}	M	5,54	5,51	5,50	5,54	5,55	5,55	5,51	5,52
	SEM	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
ВУС	M	70,38	69,10	70,28	69,96	68,46	68,24	71,40*	69,82
	SEM	0,75	0,83	0,90	0,87	1,19	0,75	0,95	1,27

*Здесь и далее: различия достоверно значимы при $P < 0,05$.

Таблица 4. Влияние стрессовых условий среды на изучаемые показатели

Показатель	Параметр описательной статистики				
	M	Min	Max	SD	SEM
Общая выборка (n=115)					
ССП	1035,69	752,86	1305,66	98,40	9,18
УВ	74,96	61,50	82,05	2,80	0,26
ТШ1	28,87	10,00	55,00	7,20	0,67
ТШ2	18,69	5,00	33,00	4,91	0,46
pH_{45}	5,96	5,31	6,70	0,35	0,03
pH_{24}	5,53	5,23	5,91	0,12	0,01
ВУС	73,44	57,34	86,00	7,82	0,73
Животные со стрессом (n=73)					
ССП	1005,80*	752,86	1262,50	94,46	11,06
УВ	73,82*	61,50	79,50	2,34	0,27
ТШ1	27,40*	10,00	55,00	7,18	0,84
ТШ2	17,44*	5,00	33,00	4,75	0,56
pH_{45}	5,87*	5,31	6,62	0,35	0,04
pH_{24}	5,51*	5,23	5,84	0,11	0,01
ВУС	74,80*	57,34	86,00	8,65	1,01
Животные без стресса (n=42)					
ССП	1087,65	887,50	1305,66	83,05	12,81
УВ	76,94	72,55	82,05	2,42	0,37
ТШ1	31,43	18,00	44,00	6,57	1,01
ТШ2	20,86	14,00	32,00	4,46	0,69
pH_{45}	6,11	5,42	6,70	0,31	0,05
pH_{24}	5,58	5,42	5,91	0,11	0,02
ВУС	71,07	59,91	82,70	5,43	0,84

(1005,80 г против 1087,65 г; $P < 0,001$), на 3,12% – УВ (73,82% против 76,94%; $P < 0,001$), на 12,83% – ТШ1 (27,40 мм против 31,43 мм; $P = 0,003$), на 16,39% – ТШ2 (17,44 мм против 20,86 мм; $P < 0,001$), на 3,87% – pH_{45} (5,87 против 6,11; $P < 0,001$), на 1,24% – pH_{24} (5,51 против 5,58; $P = 0,003$). При этом значение ВУС увеличилось на 3,73% (74,80% против 71,07%; $P = 0,01$). Это свидетельствует о том, что факторы стресса весьма существенно влияли

на организм животных и, конечно, на интенсивность их роста, показатели убоя и качество продукции.

Во-вторых, для определения степени воздействия фактора использования в кормах антиоксидантов (ДКВ и ДКВ в комплексе с витаминами Е и С) по массиву животных ($n=115$) провели двухфакторный анализ влияния генотипа животных по исследуемым генам-маркерам (*IGF2*, *MC4R*, *SCD*) и кормового фактора (табл. 5).

Полученные данные позволили оценить воздействие изучаемых генотипов по генам, ассоциированным с хозяйственно полезными признаками: ССП, убойным выходом, толщиной шпика, pH и ВУС (табл. 3, 5). Анализ таблицы 5 также свидетельствует о том, что помимо фактора генотипа существенное значение играл фактор корма (скармливание адаптогенов). Так, в большинстве вариантов проведенного анализа по генотипам наиболее значимо скармливание адаптогенов повлияло на такие показатели, как pH₂₄ и ВУС. Скармливание адаптогенов улучшало параметр pH₂₄ у животных с генотипом *IGF2* ($P=0,005$).

Это свидетельствует о том, что использование кормовых средств – антиоксидантов, может приводить к существенным результатам по обеспечению биозащиты животных от последствий стрессов, а также о том, что работу по выявлению и подтверждению взаимосвязанности факторов генотипа и корма необходимо продолжать.

Таблица 5. Влияние генотипов животных по исследуемым маркерам и фактора кормления на показатели продуктивности и качество мяса гибридных свиней (P-value)

Фактор	ССП	УВ	ТШ1	ТШ2	pH ₄₅	pH ₂₄	ВУС
<i>IGF2</i>	0,516	0,677	0,566	0,708	0,396	0,806	0,534
Фактор корма (К)	0,547	0,584	0,436	0,385	0,668	0,062*	0,017*
<i>IGF2</i> *К	0,832	0,850	0,161	0,286	0,005*	0,770	0,753
<i>MC4R</i>	0,569	0,850	0,795	0,217	0,139	0,046*	0,427
Фактор корма (К)	0,400	0,494	0,893	0,524	0,316	0,109	0,025*
<i>MC4R</i> *К	0,501	0,815	0,696	0,904	0,900	0,425	0,622
<i>SCD</i>	0,256	0,003*	0,030*	0,164	0,227	0,138	0,337
Фактор корма (К)	0,371	0,471	0,685	0,442	0,451	0,037*	0,003*
<i>SCD</i> *К	0,371	0,850	0,959	0,924	0,385	0,242	0,192

■ Заключение

Результаты опытов позволяют сделать вывод о том, что стресс-факторы среды могут существенно воздействовать на проявление важных фенотипических признаков. Накопление данных о влиянии адаптогенов на функционально-технологические характеристики свинины свидетельствует об их взаимосвязи с прижизненным состоянием мышечной ткани и о значимости дальнейших

исследований, направленных на минимизацию развития рисков, приводящих к ухудшению показателей производства. Важность фактора кормления (адаптогены-антиоксиданты) на фоне изученных аллельных профилей подопытных животных представляется высокой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект №19-16-00068-П

Литература

- Listrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Bugeon J. Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viands ou chairs? Paris: INRA Productions Animales, 2015. 28(2):125–136.
- Petracci M., Cavani C. Muscle growth and poultry meat quality issues. *Nutrients*, 2012. 4:1–12.
- Nevrkla P., Kapelański W., Václavková E., Hadaš Z., Cebulska A., Horký P. Meat quality and fatty acid profile of pork and backfat from an indigenous breed and a commercial hybrid of pigs. *Annals of Animal Science*, 2017. 17(4). DOI: 10.1515/aoas-2017-0014.
- Semenova A.A., Kuznetsova T.G., Nasonova V.V., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V. Myopathy as a destabilizing factor of meat quality formation. *Theory and practice of meat processing*, 2019. 4(3):24–31. DOI: 10.21323/2414-438X-2019-4-3-24-31.
- Szulc K., Wojtyśiak D., Migdał Ł., Migdał W. The muscle fibre characteristics and the meat quality of m.longissimus thoracis from Polish Native Zlotnicka Spotted pigs and the crossbreed fatteners from the crossing of Duroc and Polish Large White boars. *Appl. Sci.*, 2022. 12:3051. DOI: 10.3390/app12063051.
- Зиновьева Н.А., Кленовицкий П.М., Гладырь Е.А., Никишов А.А. Современные методы генетического контроля селекционных процессов и сертификация племенного материала в животноводстве: Учебное пособие. М.: РУДН, 2008. 329 с.
- Xiong Z., Sun D., Zeng X., Xie A. Recent developments of hyperspectral imaging systems and their applications in detecting quality attributes of red meats: A review. *Journal of Food Engineering*, 2014. 132:1–13. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.02.004.
- Cassens R.G. Historical perspectives and current aspects of pork meat quality in the USA. *Food Chemistry*, 2000. 69(4):357–363.
- Zou Y., Hu X.M., Zhang T., Wei H.K., Zhou Y.F., Zhou Z.X., Peng J. Effects of dietary oregano essential oil and vitamin E supplementation on meat quality, stress response and intestinal morphology in pigs following transport stress. *J. Vet. Med. Sci.*, 2017. 79(2):328–335.
- Vitali M., Sirri R., Zappaterra M., Zambonelli P., Giannini G., Lo Fiego D.P., Davoli R. Functional analysis finds differences on the muscle transcriptome of pigs fed an n-3 PUFA-enriched diet with or without antioxidant supplementations. *PLOS One*, 2019. 14(2):249.
- Vlahova-Vangelova D.B., Balev D.K., Ivanova S.G., Nakev I.L., Nikolova T.I., Dragoev C.G., Gerrard D.E. Improving the oxidative stability of pork by antioxidant tape phyto nutrients. *Bulgaria: University of Food Technologies, Technological Faculty, Department of Meat and Fish Technology*, 2019. DOI:10.31220/osf.io/gz39p.
- Костюнина О.В. Генетическая устойчивость свиней к стрессам и колибактериозам/О.В. Костюнина, М.С. Форнара, Н.В. Бардуков, Т.В. Карпушкина, Н.А. Зиновьева. *Достижения науки и техники АПК*, 2018. Т. 32. №6. С. 53–55.
- Clark D.L., Bohrer B.M., Tavárez M.A., Boler D.D., Beever J.E., Dilger A.C. Effects of the porcine *IGF2* intron 3-G3072A mutation on carcass cutability, meat quality, and bacon processing. *J. Anim. Sci.*, 2014. 92(12): 88–5778. DOI: 10.2527/jas.2014-8283.
- Burgos C., Galve A., Moreno C., Altarriba J., Reina R., García C., López-Buesa P. The effects of two alleles of *IGF2* on fat content in pig carcasses and pork. *Meat Sci.*, 2012. 90(2):13–309. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.07.016.
- Kim K.S., Larsen N., Short T., Plastow G., Rothschild M.F. A missense variant of the porcine melanocortin-4 receptor (*MC4R*) gene is associated with fatness, growth, and feed intake traits. *Mamm. Genome*, 2000. 11(2):5–131. DOI: 10.1007/s003350010025.
- Fan B., Oneru S.K., Plastow G.S., Rothschild M.F. Detailed characterization of the porcine *MC4R* gene in relation to fatness and growth. *Anim. Genet.*, 2009. 40(4):9–401. DOI: 10.1111/j.1365-2052.2009.01853.x.
- Henriquez-Rodriguez E., Bosch L., Tor M., Pena R.N., Estany J. The effect of *SCD* and *LEPR* genetic polymorphisms on fat content and composition is maintained throughout fattening in Duroc pigs. *Meat Sci.*, 2016. 121:33–39. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.05.012.
- Pena R.N., Ros-Freixedes R., Tor M., Estany J. Genetic marker discovery in complex traits: A field example on fat content and composition in pigs. *Int. J. Mol. Sci.*, 2016. 17(12):2100. DOI: 10.3390/ijms17122100.
- Р.В. Некрасов, А.В. Головин, Е.А. Махаев, А.С. Аникин, Н.Г. Первов, Н.И. Стрекозов, А.Т. Мысик, В.М. Дуборезов, М.Г. Чабаяев, Ю.П. Фомичев, И.В. Гусев. *Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: Монография/Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. М., 2018. 290 с.*