

УДК: 636.2.034+636.08

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.1.250

ОСНОВНЫЕ БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ДЮРОК В СРАВНЕНИИ С ИХ ТРЕХПОРОДНЫМИ ГИБРИДАМИ В ДИНАМИКЕ ОТКОРМА

Зайцев С. Ю.* – д-р хим. наук, д-р биол. наук, вед. науч. сотр., руководитель группы аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Колесник Н.С.** – мл. науч. сотр. отд. физиологии и биохимии с/х животных (ORCID: 0000-0002-4267-5300); **Савина А.А.** – мл. науч. сотр. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-0257-1643); **Воронина О. А.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0002-6774-4288)

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

* s.y.zaitsev@mail.ru

Ключевые слова: свиноводство, чистопородные свиньи, гибриды F2, биохимия крови, аминокислотный анализ

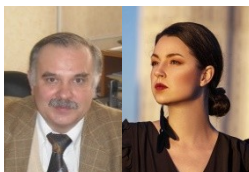
Key words: pig breeding, purebred pigs, F2 hybrids, blood biochemistry, amino acid analysis

Финансирование: Работа по разделам «Введение», 1 и 2 «Результаты и обсуждения» выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №20-16-00032-П (соглашение №20-16-00032-П от 15.05.2023 г.) <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>. Работа по разделам «Материалы и методы», 3 и 4 «Результаты и обсуждения» выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР FGGN-2024-0016).

Поступила: 10.12.2024

Принята к публикации: 06.03.2025

Опубликована онлайн: 26.03.2025



РЕФЕРАТ

В последнее десятилетие достигнуты значительные успехи в производстве свинины и российском свиноводстве в целом. Однако требуется интенсифицировать работы по установлению норм для основных биохимических (БХ) параметров крови товарных гибридов свиней, что явилось главной целью работы. Исследования проводились на хряках следующих групп: 1) породы дюрок на 60-65 день откорма (n=12), 2) гибридах дюрок*ландрас*крупная белая (F2) на 60-65 день откорма (n=19), 3) породы дюрок на 100-110 день откорма (n=18) и 4) гибридах дюрок*ландрас*крупная белая (F2) на 100-110 день откорма (n=27). Образцы крови брали из ушной вены в вакуумные пробирки с активатором свертывания крови для БХ-анализа и центрифугировали (15 мин. при 3000 об/мин.). БХ-анализ выполнен на анализаторе «ChemWell» (Awareness Technology, США). Концентрации аминокислот в сыворотке крови определяли методом ионообменной хроматографии на «ВЭЖХ LC-20 Prominence» (Shimadzu, Япония) с фирменной

колонкой и модулем для пост-колоночной дериватизации нингидрином «АРМ-1000» (Sevko&Co, Россия). Подготовка проб для анализа проводили по ГОСТ 32195-2013. Положительно, что основные белковые показатели крови у свиней породы дюрок и их гибридах F2 в разных возрастных группах являются достаточно стабильными, о чём свидетельствуют низкие и умеренные коэффициенты вариации ($CV < 20\%$). Показано, что с увеличением сроков откорма усиливаются тенденции к интенсификации всех видов обмена веществ, о чём свидетельствуют многочисленные корреляции между биохимическими и аминокислотными параметрами крови хряков групп 3 и 4 на момент окончания откорма (100-110 дней) по сравнению с группами 1 и 2 (период в 60-65 дней). Авторы считают, что установление связей между биохимическими параметрами крови свиней, с одной стороны, и их породными особенностями, и длительностью откорма, с другой стороны, имеет большое фундаментальное и практическое значение.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Домашняя свинья произошла от дикого кабана в результате многочисленных независимых одомашниваний примерно 9 тысяч лет назад, ввиду чего сформировалось большое разнообразие местных популяций свиней, хорошо адаптированных к региональным условиям окружающей среды. Со второй половины XX века интенсивная селекция и улучшение продуктивных качеств вели с использованием генетических методов, что коснулось относительно небольшого числа пород (крупной белой (КБ), дюрок (Д), ландрас (Л), йоркшир (Й) и т.д.) [1]. В результате селекции увеличился размер помёта и его внутриутробная выживаемость [2,3,4]. Так, свиноматки (КБ×Л) ×Д показывают многоплодие в 12,9 голов [5], кроме того, в сравнении с другими гибридами они отличаются наибольшим содержанием общего белка в крови [6]. В свою очередь, условия промышленного выращивания требуют от животных соответствующей адаптации и повышенной устойчивости к стрессам. Показано [7], что высокопродуктивное стадо свиней, созданное путём поглотительного и воспроизводительного скрещивания свиноматок КБ породы с хряками Й, обладает повышенной устойчивостью к производственному стрессу и скоростью роста, а интенсивность роста поросят на откорме находится в большей зависимости от их чувствительности к стрессу, чем от живой массы при отёме [7].

При этом все большее внимание уделяется оценке состояния здоровья свиней, её проводят комплексно с применением

методов лабораторной диагностики. Поскольку ряд метаболитов в крови высокочувствителен к воздействию стресс факторов на организм свиней. Например, в исследовании [8] хронического теплового стресса (ТС) показано снижение уровня глюкозы в крови свиней. Помимо метаболитов углеводного обмена маркеры-кандидаты участвуют в метаболизме аминокислот, жирных кислот, аминов, метаболизме кишечного микробиома [8]. Показано [9], что вариабельность уровня в крови кальция и фосфора, в популяции немецкой породы ландрас, достаточно высокая. Это было исследовано [9] с использованием подходов однолокусного и мультилокусного общегеномного ассоциативного исследования. У свиней одного и того же возраста уровни Са и Р в крови значительно различаются между разными породами или даже внутри пород, что предполагает генетический вклад в изменчивость концентраций минералов. При этом авторы отмечают, что надёжные оценки наследуемости показателей Са и Р в крови свиней пока недоступны [9].

Анализ аминокислот отдельная значимая область в исследовании продуктивных качеств и здоровья свиней, поскольку именно они обеспечивают ключевую питательную ценность и в значительной степени влияют на вкус и аромат мяса, придавая ему специфический вкус [10,11]. Так, гистидин, аргинин, метионин, валин, триптофан, тирозин, изолейцин, лейцин и фенилаланин горькие, в то время как аланин, серин, треонин, глицин, лизин, пролин и гидроксипролин

сладкие, а глутамат и аспарат натрия соленые, тогда как аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, гистидин и аспарагин кислые [10]. При этом исследованию аминокислотного состава крови свиней уделяется ограниченное внимание, которое вызвано конкретными вопросами, например, поиском путей адаптации к стрессам [12]. С развитием современных аналитических методов, накоплением значительного объема данных в области биохимических исследований учёные обнаружили, что при определённых условиях, таких как раннее отлучение, от матери, лактация, супоросность, травмы различной этиологии, инфекции, тепловой, голодовой, транспортировочный стресс, скорость синтеза заменимых аминокислот снижается [11]. Это привело к разработке новой концепции функциональных аминокислот в питании, которые выступают не только строительным материалом, но и могут регулировать ключевые метаболические пути, способствуя выживанию, росту, развитию, размножению, лактации и здоровью животных и человека [11]. При этом общепринятых и универсальных норм аминокислотного состава различных тканей свиней нет [13,14], а сравнительный анализ аминокислотного состава наиболее целесообразно проводить в условиях конкретного хозяйства, где проще создать одинаковые условия кормления и содержания для чистых пород и их гибридов. Например, в работе [15] сравнивали состав аминокислот молодняка чистопородных свиней ландрас, дюрок, йоркшир и их гибридов. В результате, в мышечной ткани трехпородных гибридов сумма заменимых и незаменимых аминокислот на 0,496%, 0,031% и на 0,364% и 0,111% больше, чем у чистопородных ландрасов и двухпородных гибридов, соответственно [15]. Петухова М.А. с соавторами [16] установили аминокислотный состав мяса свиней нескольких пород, в том числе – провели дополнительную оценку этих данных с «аминокислотным скором». В отдельных работах [17-23] указаны значения биохимических параметров и аминокислотного

состава сыворотки крови свиней, которые формируют диапазон породных «рефересных» значений, о чем будет подробное обсуждение в дальнейшем.

Целью работы являлся сравнительный анализ аминокислотного состава и биохимических параметров сыворотки крови свиней породы дюрок и их гибридов F2 (дюрок×ландрас×крупная белая) на 60-65 день на 100-110 день откорма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проводились на хряках следующих групп: 1) породы дюрок на 60-65 день откорма (n=12), 2) гибридах F2 дюрок×ландрас×крупная белая на 60-65 день откорма (n=19), 3) породы дюрок на 100-110 день откорма (n=18) и 4) гибридах F2 дюрок×ландрас×крупная белая на 100-110 день откорма (n=27). Выборка формировалась из клинически здоровых животных с одинаковыми условиями содержания согласно зоогигиенических норм. Рацион для всего исследуемого поголовья хряков содержал: сухого вещества — 80%, обменной энергии — около 3250 ккал, сырого протеина — 13,10%, сырого жира — 2,17%, сырой клетчатки — 4,49%, лизина — 0,83%, метионина + цистеина — 0,51%, кальция — 0,51% и фосфора — 0,49%.

Протокол исследования на животных был одобрен биоэтической комиссией ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста (протокол № 2, от 20 марта 2023 года). Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, используемых для научных целей и принципам обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ N 498-ФЗ.

Образцы крови брали из ушной вены в вакуумные пробирки с активатором свертывания крови для биохимического анализа. Сыворотку получали центрифугированием в лабораторной центрифуге (СМ-12, Россия). Режим работы: 15 мин при 3000 об/мин.

Биохимический анализ выполнен на

автоматическом биохимическом анализаторе «ChemWell» (Awareness Technology, США) с применением реактивов фирм «Analyticon» (Biotecnologies AG) (Германия) и «Spinreact» (Испания). Способы определения: общего белка – биуретовым методом; альбумина – колориметрически с бромкрезоловым зеленым; глюкозы – ферментативным глюкозооксидазным методом; мочевины – по методу Бергто; креатинина – кинетическим методом Яффе; холестерина – ферментативно-колориметрическим методом [6].

Определение концентрации аминокислот в сыворотке крови осуществлялось методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией проб нингидрином [19]. Оборудование: высокоэффективный жидкостной хроматограф LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония), оснащенный реакционным модулем для пост-колоночной дериватизации нингидрином APM-1000 (Sevko&Co, Россия), колонка с ионообменной смолой (Sevko&Co, Россия). Длины волн 570 нм и 440 нм. Подготовка проб для анализа в соответствии с ГОСТ 32195-2013. Для подготовки проб к анализу использовали кислотный гидролиз с добавлением норлейцина в качестве внутреннего стандарта. Оборудование для гидролиза: фторопластовые стаканы с завинчивающейся крышкой (СЕМ, США), термостат. Условия подготовки 110 °С в течение 24 часов.

Статистическую обработку вели в программах «R» и Microsoft Excel. Положение центра распределения данных и их разброс определяли в Microsoft Excel по следующему алгоритму: данные, «анализ данных», «описательная статистика». В результатах приводим: M – среднее значение, $\pm m$ – ошибку среднего, Min – минимум, Max – максимум и Cv – коэффициент вариации. Коэффициент вариации авторы рассчитывали, как среднеквадратичное отклонение, деленное на среднее выборочное значение признака, и выражали полученный результат в процентах. Проверка соответствия распределения данных нормальному распределению вы-

полнена с помощью теста Колмогорова-Смирнова. Если статистика по данному тесту значима ($p < 0,05$), гипотеза о соответствии полученного распределения нормальному отвергается. Далее в таблицах 1-4 жирным выделены значения p – для данных, где распределение соответствует нормальному.

Попарные сравнения выполнены для всех четырех групп. Всего сделано шесть попарных сравнений для четырех групп, параметрическими и непараметрическими методами. Для показателей, где значение $p > 0,05$, во всех четырех группах, попарные сравнения выполнены однофакторным дисперсионным анализом. В качестве метода компенсации множественности использовали метод корректировки распределения – по Тьюки-Крамеру. Для показателей, где как минимум в одной группе для изучаемого показателя $p < 0,05$ попарные сравнения выполнены с использованием критерия Краскела-Уоллиса.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

1. Анализ биохимических параметров и аминокислотного состава сыворотки крови чистопородных свиней и их гибридов на 60-65 день откорма

На первом этапе мы провели статистическую оценку полученных данных для анализа аминокислотного состава и биохимических параметров сыворотки крови свиней породы дюрок (группа 1) и гибридов дюрок*ландрас*крупная белая (F2, группа 2) на сроках откорма в 60-65 дней, (таблица 1 и 2).

При оценке полученных данных группы 1 по показателю коэффициент вариации низкая степень изменчивости ($Cv \leq 10\%$) установлена для следующих биохимических показателей: общий белок, альбумин, глюкоза, холестерин. Для всех изучаемых аминокислот в группе 1 наблюдаются высокие коэффициенты вариации ($20\% < Cv < 30\%$). При проверке гипотезы о нормальности распределения по Колмогорову-Смирнову в группе 1, установлено, что только данные, полученные для глобулина, глюкозы, холестерина не соответствуют нормальному рас-

пределению, для большого массива остальных данных распределение соответствует нормальному.

В группе 2, для гибридов F2 оценка по показателю коэффициент вариации, показала, что низкой изменчивостью характеризуются такие биохимические показатели, как: общий белок, альбумины, холестерин. Причем большинство аминокислот (кроме пролина) в группе 2 также характеризуются низкой изменчивостью

(C_v), что существенно отличается от данных по группе 1. Гипотеза о нормальности распределения подтверждается для большинства данных в выборке по группе 2, кроме альбуминов, холестерина, валина.

Таким образом, полученные данные для групп 1 и 2 укладываются в диапазоны породных «референсных» значений [17-23].

Таблица 1 – Биохимический и аминокислотный состав сыворотки крови свиней породы дюрок на 60-65 день откорма (n=12)

Показатель	M	$\pm m$	Min	Max	$C_v, \%$	p
Общ белок, г/л	74,11	5,29	66,48	87,70	7,14	0,082*
Альбумин, г/л	40,40	4,17	35,00	48,29	10,32	0,169*
Глобулин, г/л	33,72	6,89	25,26	52,70	20,44	0,020*
Мочевина, мМ/л	7,62	1,66	5,10	9,71	21,75	0,200*
Креатинин, мкМ/л	106,42	23,12	73,66	158,60	21,73	0,200*
Глюкоза, мМ/л	5,35	0,57	4,38	6,11	10,67	0,049*
Холестерин, мМ/л	2,08	0,19	1,63	2,42	9,29	0,008*
Аспарагиновая кислота, г/100 мл	0,57	0,15	0,27	0,75	26,55	0,200*
Треонин, г/100 мл	0,35	0,10	0,16	0,50	28,64	0,058*
Серин, г/100 мл	0,33	0,13	0,02	0,50	39,47	0,200*
Глутаминовая кислота, г/100 мл	0,90	0,24	0,42	1,13	26,18	0,200*
Глицин, г/100 мл	0,23	0,07	0,10	0,33	29,41	0,200*
Аланин, г/100 мл	0,47	0,13	0,20	0,60	26,80	0,200*
Валин, г/100 мл	0,42	0,12	0,19	0,58	28,56	0,200*
Изолейцин, г/100 мл	0,23	0,07	0,10	0,31	28,21	0,200*
Лейцин, г/100 мл	0,68	0,18	0,31	0,86	26,83	0,167*
Тирозин, г/100 мл	0,37	0,11	0,15	0,49	28,96	0,200*
Фенилаланин, г/100 мл	0,42	0,12	0,17	0,53	28,85	0,200*
Гистидин, г/100 мл	0,23	0,06	0,11	0,28	25,22	0,200*
Лизин, г/100 мл	0,63	0,17	0,28	0,79	27,10	0,102*
Аргинин, г/100 мл	0,41	0,12	0,18	0,56	28,74	0,123*
Пролин, г/100 мл	0,29	0,08	0,14	0,39	26,71	0,200*

Примечание: M – среднее значение, $\pm m$ – ошибка среднего, Min – минимум, Max – максимум, C_v – коэффициент вариации, p – уровень значимости для оценки нормальности распределения при $\alpha=0,05$ по Колмогорову-Смирнову, где указано * «данный тест выполнен в модификации Лиллиефорса».

Таблица 2 – Биохимический и аминокислотный состав сыворотки крови свиней породы дюрок^хландрас^хкрупная белая на 60-65 день откорма (n=19)

Показатель	<i>M</i>	$\pm m$	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>C_v</i> , %	<i>p</i>
Общ белок, г/л	58,13	2,95	51,00	61,60	5,08	0,058
Альбумин, г/л	34,26	2,07	29,40	37,90	6,03	0,042
Глобулин, г/л	23,86	2,98	17,00	28,80	12,48	0,200*
Мочевина, мм/л	3,67	0,98	1,83	5,21	26,73	0,200*
Креатинин, мкм/л	112,70	12,10	96,14	140,66	10,74	0,200*
Глюкоза, мм/л	5,48	0,88	3,78	6,99	16,08	0,200*
Холестерин, мм/л	2,79	0,21	2,50	3,21	7,63	0,009
Аспарагиновая кислота, г/100 мл	0,61	0,02	0,56	0,65	3,83	0,200*
Треонин, г/100 мл	0,26	0,02	0,23	0,30	6,96	0,200*
Серин, г/100 мл	0,39	0,02	0,34	0,42	5,08	0,200*
Глутаминовая кислота, г/100 мл	0,88	0,03	0,82	0,95	3,75	0,200*
Глицин, г/100 мл	0,16	0,01	0,14	0,18	5,24	0,200*
Аланин, г/100 мл	0,43	0,02	0,39	0,45	3,87	0,200*
Валин, г/100 мл	0,43	0,02	0,38	0,46	4,74	0,023
Изолейцин, г/100 мл	0,23	0,01	0,21	0,24	4,27	0,085
Лейцин, г/100 мл	0,65	0,03	0,58	0,69	4,18	0,200*
Тирозин, г/100 мл	0,34	0,02	0,30	0,36	5,09	0,174
Фенилаланин, г/100 мл	0,39	0,02	0,35	0,43	5,01	0,200*
Гистидин, г/100 мл	0,22	0,02	0,19	0,25	6,9	0,200*
Лизин, г/100 мл	0,60	0,03	0,52	0,65	5,54	0,200*
Аргинин, г/100 мл	0,40	0,03	0,35	0,44	6,54	0,200*
Пролин, г/100 мл	0,27	0,03	0,23	0,31	10,17	0,085

Примечание: *M* – среднее значение, $\pm m$ – ошибка среднего, *Min* – минимум, *Max* – максимум, *C_v* – коэффициент вариации, *p* – уровень значимости для оценки нормальности распределения при $\alpha=0,05$ по Колмогорову-Смирнову, где указано *«данный тест выполнен в модификации Лиллиефорса».

2. Анализ биохимических параметров и аминокислотного состава сыворотки крови чистопородных свиней и их гибридов на 100-110 день откорма

На втором этапе статистическая оценка была выполнена для данных анализа полученных в результате аминокислотного и биохимического анализов в сыворотке крови свиней породы дюрок (группа 3) и гибридов Д^хЛ^хКБ (F2, группа 4) на сроках откорма в 100-110 дней (таблиц 3 и 4).

При оценке полученных данных по показателю коэффициент вариации низкая степень изменчивости (*C_v* < 10%) установлена для общего белка, альбумина, мочевины. Почти для всех изучаемых аминокислот в группе 3 наблюдаются коэффициенты вариации, не превышающие 20%, за исключением серина и пролина. При проверке гипотезы о нормальности распределения по Колмогорову-Смирнову в группе 3, установлено, что распределение данных, полученных в

результате биохимического анализа, соответствует нормальному, тогда как распределение для почти всех аминокислот отличается от нормального. Исключение составили такие аминокислоты как, аспарагиновая кислота, треонин, глицин, аланин, аргинин.

При оценке полученных данных по показателю коэффициент вариации низкая степень изменчивости ($C_v < 10\%$) установлена для общего белка, альбуминов, глобулинов, большинства изученных

аминокислот, кроме: аргинина, пролина, гистидина, серина. Проверка гипотезы о нормальности распределения по Колмогорову-Смирнову в группе 4, подтверждает их нормальное распределение для большинства показателей, кроме общего белка, альбуминов, мочевины, треонина, серина. Полученные данные соответствуют диапазону породных «рефересных» значений, указанных в работах других авторов [17-23].

Таблица 3 – Биохимический и аминокислотный состав сыворотки крови свиней породы дюрок на 100-110 день откорма (n=18)

Показатель	<i>M</i>	$\pm m$	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>C_v</i> , %	<i>p</i>
Общ белок, г/л	72,06	3,62	65,56	77,94	5,02	0,200*
Альбумин, г/л	37,44	2,57	31,94	41,10	6,88	0,200*
Глобулин, г/л	34,63	3,84	28,81	43,32	11,10	0,200*
Мочевина, мм/л	8,49	0,79	5,50	8,74	9,31	0,000
Креатинин, мкм/л	101,88	17,10	72,19	129,86	16,79	0,200*
Глюкоза, мм/л	5,11	1,41	2,32	7,03	27,51	0,200*
Холестерин, мм/л	2,49	0,31	2,11	2,98	12,29	0,058
Аспарагиновая кислота, г/100 мл	0,63	0,10	0,47	0,85	15,73	0,074
Треонин, г/100 мл	0,38	0,06	0,28	0,50	14,82	0,059
Серин, г/100 мл	0,41	0,13	0,29	0,90	32,00	0,000
Глутаминовая кислота, г/100 мл	0,96	0,14	0,70	1,10	14,04	0,001
Глицин, г/100 мл	0,27	0,05	0,18	0,38	17,91	0,200*
Аланин, г/100 мл	0,44	0,05	0,34	0,51	11,34	0,099
Валин, г/100 мл	0,45	0,06	0,33	0,54	14,16	0,041
Изолейцин, г/100 мл	0,25	0,04	0,18	0,28	14,57	0,001
Лейцин, г/100 мл	0,71	0,10	0,52	0,81	13,81	0,000
Тирозин, г/100 мл	0,41	0,06	0,30	0,51	14,85	0,026
Фенилаланин, г/100 мл	0,44	0,06	0,32	0,50	13,72	0,000
Гистидин, г/100 мл	0,25	0,03	0,17	0,28	13,51	0,000
Лизин, г/100 мл	0,65	0,09	0,46	0,74	13,50	0,015
Аргинин, г/100 мл	0,42	0,06	0,31	0,50	14,95	0,142
Пролин, г/100 мл	0,32	0,10	0,23	0,68	31,43	0,006

*Примечание: M – среднее значение, $\pm m$ – ошибка среднего, Min – минимум, Max – максимум, C_v – коэффициент вариации, *p* – уровень значимости для оценки нормальности распределения при $\alpha=0,05$ по Колмогорову-Смирнову, где указано *«данный тест выполнен в модификации Лилъефорса».*

Таблица 4 – Биохимический и аминокислотный состав сыворотки крови свиней породы дюрок^{*}ландрас^{*}крупная белая на 100-110 день откорма (n=27)

Показатель	<i>M</i>	$\pm m$	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>C_v</i> , %	<i>p</i>
Общ белок, г/л	73,13	6,13	53,50	79,50	8,38	0,004
Альбумин, г/л	39,03	3,56	27,40	43,00	9,13	0,000
Глобулин, г/л	34,10	3,16	26,10	38,80	9,26	0,179
Мочевина, мм/л	6,04	1,12	2,59	6,92	18,49	0,000
Креатинин, мкм/л	145,48	20,79	96,89	172,71	14,29	0,136
Глюкоза, мм/л	2,78	0,77	1,54	4,06	27,67	0,123
Холестерин, мм/л	2,13	0,36	1,20	2,85	16,74	0,081
Аспарагиновая кислота, г/100 мл	0,62	0,04	0,53	0,68	6,47	0,200*
Треонин, г/100 мл	0,32	0,03	0,27	0,39	10,00	0,002
Серин, г/100 мл	0,35	0,05	0,28	0,47	14,14	0,040
Глутаминовая кислота, г/100 мл	1,00	0,09	0,84	1,17	8,51	0,200*
Глицин, г/100 мл	0,27	0,02	0,22	0,30	7,99	0,104
Аланин, г/100 мл	0,44	0,04	0,36	0,51	9,22	0,200*
Валин, г/100 мл	0,49	0,04	0,42	0,58	7,81	0,200*
Изолейцин, г/100 мл	0,27	0,02	0,22	0,32	9,12	0,140
Лейцин, г/100 мл	0,81	0,06	0,70	0,91	7,69	0,060
Тирозин, г/100 мл	0,44	0,04	0,38	0,51	8,01	0,200*
Фенилаланин, г/100 мл	0,49	0,04	0,42	0,54	7,43	0,200*
Гистидин, г/100 мл	0,30	0,03	0,24	0,36	11,18	0,200*
Лизин, г/100 мл	0,67	0,06	0,57	0,79	8,67	0,200*
Аргинин, г/100 мл	0,50	0,07	0,39	0,67	13,51	0,099
Пролин, г/100 мл	0,39	0,06	0,31	0,52	16,13	0,053

Примечание: *M* – среднее значение, $\pm m$ – ошибка среднего, *Min* – минимум, *Max* – максимум, *C_v* – коэффициент вариации, *p* – уровень значимости для оценки нормальности распределения при $\alpha=0,05$ по Колмогорову-Смирнову, где указано *«данный тест выполнен в модификации Лиллиефорса».

3. Статистически значимые различия в группах.

Для показателей: креатинин, аспарагиновая кислота, глицин, аланин, аргинин – распределение соответствовало закону о нормальном распределении. Сравнительный анализ этих данных выполнен однофакторным дисперсионным анализом с поправкой Тьюки-Крамера. Остальные данные, для которых закон о нормальном распределении хотя бы в одной из групп

не находил подтверждения, сравнительный анализ выполнен на основе критерия Краскела-Уоллиса.

3.1. Обнаружены статистически значимые различия между чистопородными свиньями (породы дюрок) и гибридами Д $\times$ Л $\times$ КБ при каждом из указанных интервалов дней откорма.

Для чистопородных свиней (дюрок, группа 1) по сравнению с гибридами Д $\times$ Л $\times$ КБ (группа 2) за 60-65 дней откорма

наблюдали несколько большие значения по следующим показателям: общий белок на 21,6% или на 15,98 г/л ($p < 0,001$), альбумины на 15,2% или на 6,14 г/л ($p < 0,001$), глобулины на 29,2% или на 9,86 г/л, ($p = 0,001$), мочевины на 51,8% или на 3,95 мМ/л ($p = 0,001$), треонин на 12,1% или на 0,09 г/100 мл ($p < 0,001$), глицин на 30,4% или на 0,07 г/100 мл ($p = 1,92E-13$), аланин на 8,5% или на 0,04 г/100 мл ($p = 0,028$), лизин на 4,8% или на 0,03 г/100 мл, ($p = 0,041$). Следовательно, сравнительный анализ показателей белково-аминокислотного состава сыворотки крови чистопородных свиней по сравнению с гибридами Д×Л×КБ является очень информативным и подчеркивает особенности в физиолого-биохимическом статусе гибридных животных по сравнению с чистопородными свиньями.

Для гибридов Д×Л×КБ (группа 2) по сравнению с группой 1 в те же сроки откорма наблюдали некоторое увеличение уровня холестерина на 34,1% или на 0,71 мМ/л ($p < 0,001$). Даже этот единственный факт является не совсем положительной тенденцией в изменении физиолого-биохимического статуса гибридных животных по сравнению с чистопородными свиньями, т.к. современное общество предпочитает относительно постное мясо, даже применительно к свинине.

Для чистопородных свиней (дюрок) в 100-110 дней откорма (группа 3) наблюдали достоверные и несколько большие значения по следующим показателям: мочевины 32,2% или на 2,45 мМ/л ($p = 0,001$), глюкоза на 43,6% или на 2,33 мМ/л ($p < 0,001$), холестерин на 17,3% или на 0,36 мМ/л ($p = 0,011$), серин на 18,2% или на 0,06 г/100 мл ($p = 0,045$).

Для гибридов Д×Л×КБ в 100-110 дней откорма (группа 4) обнаружили достоверное увеличение значений по следующим показателям: креатинин на 41,0% или на 43,6 мкМ/л ($p = 1,88E-11$), изолейцин на 8,7% или на 0,02 г/100 мл ($p = 0,042$), лейцин на 14,7% или на 0,10 г/100 мл ($p = 0,006$), гистидин на 21,7% или на 0,05 г/100 мл ($p = 0,006$), аргинин на 19,5% или на 0,08 г/100 мл ($p = 8,14E-06$), пролин на

24,1% или на 0,07 г/100 мл ($p = 0,004$). Таким образом, для гибридов Д×Л×КБ на 100-110 днях откорма (группа 4) обнаружили больше достоверных и значительных изменений уровня биохимических и аминокислотных показателей сыворотки крови, чем для чистопородных свиней, что является положительной тенденцией на завершающем этапе откорма.

3.2. Показаны статистически значимые различия для групп 1-4 на разных сроках откорма.

Для чистопородных свиней (дюрок) на разных сроках откорма (группы 1 и 3) статистически значимые различия по биохимическим показателям, установлены только по уровню холестерина, с возрастом его значения в крови увеличиваются на 19,7% или на 0,41 мМ/л ($p = 0,005$). Среди аминокислот только по уровню глицина, который, напротив, выше в группе 1 на 7,4% или на 0,04 г/100 мл ($p = 1,92E-13$, т.е. очень меньше 0,001). Следовательно, биохимический и аминокислотный анализ состава сыворотки крови чистопородных свиней является малоинформативным.

Напротив, для гибридов Д×Л×КБ на разных сроках откорма (группы 2 и 4) установлены достоверные и значительные изменения уровня большинства биохимических и аминокислотных показателей сыворотки крови. Например, повышение уровня следующих показателей в группе 4 (по сравнению с группой 2): общего белка на 20,2% или на 15,0 г/л ($p < 0,001$), альбуминов на 11,8% или на 4,77 г/л ($p < 0,001$), глобулинов на 30,4% или на 10,2 г/л ($p < 0,001$), мочевины на 31,1% или на 2,37 мМ/л ($p = 0,002$), креатинина на 30,8% или на 32,8 мкМ/л ($p = 1,88E-11$, т.е. очень меньше 0,001), треонина на 17,1% или на 0,06 г/100 мл ($p = 0,001$), глутаминовой кислоты на 13,3% или на 0,12 г/100 мл ($p < 0,001$), глицина на 47,8% или на 0,11 г/100 мл ($p = 1,92E-13$, т.е. очень меньше 0,001), валина на 14,3% или на 0,06 г/100 мл ($p < 0,001$), изолейцина на 17,4% или на 0,04 г/100 мл ($p < 0,001$), лейцина на 23,5% или на 0,16 г/100 мл ($p < 0,001$), тирозина на 27,0% или на 0,10 г/100 мл ($p < 0,001$), фенилаланина на 23,8% или на

0,10 г/100 мл ($p < 0,001$), гистидина на 34,8% или на 0,08 г/100 мл ($p < 0,001$), лизина на 11,1% или на 0,07 г/100 мл ($p = 0,001$), аргинина на 24,4% или на 0,10 г/100 мл ($p = 8,14 \times 10^{-6}$, т.е. очень меньше 0,001), пролина на 41,4% или на 0,12 г/100 мл ($p < 0,001$). Следовательно, анализ показателей белково-аминокислотного состава сыворотки крови чистопородных свиней является очень информативным и подчеркивает положительные тенденции в физиолого-биохимическом статусе животных с увеличением продолжительности откорма. Отдельные показатели крови свиней исследовались и ранее, но не системно и без должной статистической обработки. Интересно, что авторы работы [20] нашли достоверную взаимосвязь между содержанием общего белка в крови и живой массой поросят только при постановке на откорм. Однако, по их данным, в середине и конце откорма соответствующей корреляции не обнаружено.

Два биохимических показателя для гибридов Д×Л×КБ достоверно выше в группе 2 (на сроках откорма в 60-65 дней) по сравнению с группой 4 (на сроках откорма в 100-110 дней) – это холестерин на 31,7% или на 0,66 мМ/л ($p < 0,001$) и глюкоза на 50,5% или на 2,7 мМ/л ($p < 0,001$). Это указывает на понижение уровня липидного и углеводного обменов с увеличением продолжительности откорма. Такие особенности являются новыми и значимыми для практики свиноводства.

4. Возрастные и породные особенности показателей крови свиней.

Большая часть не только статистически значимых, но и важных, для оценки физиолого-биохимического статуса животных, различий в данной работе связана с показателями, отражающими основные типы обменов веществ. Это уровень общего белка, альбуминов, глобулинов, мочевины, креатинина и ключевых аминокислот (белково-аминокислотный обмен), холестерина (липидный обмен) и глюкозы (углеводный обмен). В 60-65 дней откорма для чистопородных свиней (дюрок, группа 1) уровень метаболитов белка был статистически значимо выше в сравнении

с их гибридами Д×Л×КБ (группа 2). Тогда как по уровню холестерина группа 2 превосходила группу 1. При прочих равных условиях содержания и кормления, а также с учетом подбора в группы «клинически» здоровых животных – по принципу пар-аналогов, мы рассматриваем следующие биохимические обоснования для того, чтобы объяснить полученные данные. Более интенсивный уровень транспорта белков из депо крови к мышечной ткани у гибридов Д×Л×КБ, при этом в динамике откорма данная разница нивелируется к 100-110 дням откорма. Обнаруженное изменение уровня креатинина может быть связано с большей энергоемкостью мышечной ткани гибридов по сравнению с чистопородными животными. Это свидетельствует о значительных отличиях в уровнях белкового метаболизма у свиней породы дюрок (группа 1) и их гибридов (группа 2), которые носят разнонаправленный характер.

Ряд авторов (Фомичев Ю.П., Боголюбова Н.В., Некрасов Р.В. и другие сотрудники ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста) за последние годы провели несколько работ [21,22] по изучению белкового, азотистого, углеводно-липидного и минерального обмена у свиней в связи с их ростом и действием моделируемого стресса (МС) на фоне применения ряда антиоксидантных препаратов на основе дигидрокверцетина и селена [21,22]. Эти исследования показали значительные различия в показателях крови свиней как между группами свиней, так и по периодам откорма, что связано с изменениями в уровне метаболитов при этих обменах [21,22]. Известно, что уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови характеризует интенсивность и направленность белкового обмена и тесно связан с ростом, влиянием факторов среды и составом рациона [6]. В данных работах [21,22] у свиней всех групп перед постановкой на откорм содержание общего белка в сыворотке крови колебалось от 65,8 до 73,1 г/л [21,22], находясь в пределах физиологической нормы, равной 55-82 г/л [6]. То же наблюдалось и по содер-

жания альбуминов (А) и глобулинов (Г) — соответственно 36,7-38,7 и 29,1-43,4 г/л [21,22] при физиологической норме 19-43 и 26-57 г/л [6]. Примечательно, что для глюкозы не было обнаружено статистически значимой разницы между группами, за счет жесткой гормональной регуляции уровня глюкозы в крови в узком интервале концентраций.

Об эффективности использования аминокислот в биосинтетических процессах [6] можно косвенно судить по изменению концентрации мочевины в плазме крови [23]. Следовательно, анализ показателей белково-аминокислотного состава сыворотки крови чистопородных свиней является очень информативным и подчеркивает положительные тенденции в физиолого-биохимическом статусе животных с увеличением продолжительности откорма.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Таким образом, установлены прочные взаимосвязи между биохимическими параметрами крови свиней, с одной стороны, и их породными особенностями, и длительностью откорма, с другой стороны, что имеет большое фундаментальное и практическое значение. Обнаружены статистически значимые отличия для хряков следующих групп: 1) породы дюрок на 60-65 день откорма (n=12), 2) гибридах дюрок*ландрас*крупная белая (F2) на 60-65 день откорма (n=19), 3) породы дюрок на 100-110 день откорма (n=18) и 4) гибридах дюрок*ландрас*крупная белая (F2) на 100-110 день откорма (n=27). Положительно, что белковые показатели крови у свиней разных породных и возрастных групп являются достаточно стабильными, о чём свидетельствуют низкие и умеренные коэффициенты вариации ($C_v < 20\%$). Показано, что с увеличением сроков откорма усиливаются тенденции к интенсификации всех видов обмена веществ, о чем свидетельствуют многочисленные корреляции между биохимическими и аминокислотными параметрами крови хряков групп 3 и 4 на момент окончания откорма (100-110 дней) по сравнению с группами 1 и 2 (период в 60-65

дней). Для дальнейшего развития этого направления требуется интенсифицировать работы по регламентации «референсных значений» основных биохимических параметров крови товарных гибридов свиней, в чем видится существенный вклад данной работы.

MAIN BIOCHEMICAL PARAMETERS OF BLOOD OF DUROC PIGS IN COMPARISON WITH THEIR THREE-BREED HYBRIDS DURING FATTENING PERIOD

Zaitsev S. Yu. * – Doctor of Chemical Sciences, Doctor of Biological Sciences, leading researcher, Head of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Kolesnik N. S.** – Junior Researcher, Department of Physiology and Biochemistry of farm animals (ORCID 0000-0002-4267-5300); **Savina A. A.** – Junior Researcher, of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-0257-1643); **Voronina O. A.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0002-6774-4288)

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst

* s.y.zaitsev@mail.ru

Financing: The work in the sections "Introduction", 1 and 2 "Results and Discussion" was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, grant No. 20-16-00032-P (agreement No. 20-16-00032-P dated 05/15/2023) <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>. The work in the sections, "Materials and Methods", 3 and 4 "Results and Discussion" was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment (EGISU registration number of the research topic FGGN-2024-0016).

ABSTRACT

In the last decade, significant progress has been achieved in pork production and Russian pig farming in general. However, it

is necessary to intensify work on establishing standards for the main biochemical (BC) parameters of the blood of commercial pig hybrids, which was the main goal of the work. The studies were conducted on boars of the following groups: 1) Duroc breed on the 60-65th day of fattening (n=12), 2) F2 Duroc*Landrace*Large White hybrids on the 60-65th day of fattening (n=19), 3) Duroc breed on the 100-110th day of fattening (n=18) and 4) F2 Duroc*Landrace*Large White hybrids on the 100-110th day of fattening (n=27). Blood samples were taken from the ear vein into vacuum tubes with a blood coagulation activator for biochemical coagulation analysis and centrifuged (15 min at 3000 rpm). Biochemical coagulation analysis was performed on a ChemWell analyzer (Awareness Technology, USA). Amino acid concentrations in blood serum were determined by ion-exchange chromatography on a HPLC LC-20 Prominence (Shimadzu, Japan) with a proprietary column and a module for post-column derivatization with ninhydrin ARM-1000 (Sevko&Co, Russia). Samples for analysis were prepared according to GOST 32195-2013. It is positive that the main protein indices of blood in Duroc pigs and their F2 hybrids in different age groups are quite stable, as evidenced by low and moderate variation coefficients (CV<20%). It is shown that with an increase in the fattening period, the tendencies to intensify all types of metabolism increase, as evidenced by numerous correlations between the biochemical and amino acid parameters of blood of boars of groups 3 and 4 at the end of fattening (100-110 days) compared to groups 1 and 2 (a period of 60-65 days). The authors believe that establishing relationships between the biochemical parameters of pig blood, on the one hand, and their breed characteristics and fattening duration, on the other hand, is of great fundamental and practical importance.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Poklucar K., Čandek-Potokar M., Batorek Lukač N., Tomažin U., Škrlep M. Lipid deposition and metabolism in local and modern pig breeds: A review. *Animals*, 2020;10

(3):424. DOI: 10.3390/ani10030424.

2. Воронина О.А., Зайцев, С. Ю. Характеристики эритропоза у свиноматок в различные периоды производственного цикла. *Международный вестник ветеринарии*. 2023;(4):227-235. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2023.4.227.

3. Freking B.A., Lents C.A., Vallet J.L. Selection for uterine capacity improves lifetime productivity of sows. *Animal reproduction science*. 2016;167:16-21. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2016.01.018.

4. Zaitsev S.Y., Belous A.A., Voronina O.A., Rykov R.A., Bogolyubova N.V. Correlations between antioxidant and biochemical parameters of blood serum of duroc breed pigs. *Animals*. 2021;11(8):2400. DOI: 10.3390/ani11082400.

5. Казанцева Н.П., Краснова О.А., Васильева М.И., Хардина Е.В. Воспроизводительные качества гибридных свиноматок при скрещивании с хряками породы дюрок. *Аграрный вестник Урала*. 2020;199(08):43–50. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-199-8-43-50.

6. Зайцев С.Ю., Боголюбова Н.В., Молянова Г.В. *Биохимический анализ крови ряда пород свиней и их гибридов*. Москва: Сельскохозяйственные технологии; 2022. 256 с. DOI: 10.18720/SPBPU/2/z22-20.

7. Бекенёв В.А., Фролова В.И., Большакова И.В., Фролова Ю.В., Деева В.С., Итэсь Ю.В. Стресс-устойчивость чистопородных и помесных свиней разных породных сочетаний. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2021;(4):86-93. doi.org/10.31677/2072-6724-2021-34-4-88-96.

8. Cui Y., Wang C., Hao Y., Gu X., Wang H. (2019). Chronic heat stress induces acute phase responses and serum metabolome changes in finishing pigs. *Animals*. 2019;9(07):395. DOI: 10.3390/ani9070395.

9. Reyer H., Oster M., Wittenburg D., Murani E., Ponsuksili S., Wimmers K. Genetic contribution to variation in blood calcium, phosphorus, and alkaline phosphatase activity in pigs. *Frontiers in genetics*. 2019;10:590. DOI: 10.3389/fgene.2019.00590.

10. Ma X., Yu M., Liu Z., Deng D., Cui Y.,

- Tian Z., Wang G. Effect of amino acids and their derivatives on meat quality of finishing pigs. *Journal of food science and technology*. 2020;57:404-412. DOI: 10.1007/s13197-019-04077-x.
11. Zhang Q., Hou Y., Bazer F.W., He W., Posey E.A., Wu G. *Amino Acids in Swine Nutrition and Production. Amino Acids in Nutrition and Health. Advances in Experimental Medicine and Biology*. Cham: Springer. 2021. 81-107 pp. DOI: 10.1007/978-3-030-54462-1_6.
12. Spring S., Premathilake H., Bradway C., Shili C., DeSilva U., Carter S., Pezeshki A. Effect of very low-protein diets supplemented with branched-chain amino acids on energy balance, plasma metabolomics and fecal microbiome of pigs. *Scientific Reports*. 2020;10(1):15859. DOI: 10.1038/s41598-020-72816-8.
13. Karau A., Grayson I. *Amino acids in human and animal nutrition. Biotechnology of food and feed additives*. Heidelberg: Springer. 2014. 189-228 pp. DOI: 10.1007/10_2014_269.
14. Akram M. et al. Amino acids: A review article. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2011;5(17):3997-4000.
15. Морозова Л. А. и др. Аминокислотный состав мышечной ткани чистопородных и гибридных свиней в условиях континентального климата России. *Аграрный вестник Урала*. 2019;10(189):40-46. DOI 10.32417/article_5db430cb30bca8.95126056.
16. Петухова М. А. Аминокислотный состав и биологическая ценность белков мяса свиней различных генотипов. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2016;59(2):118-123.
17. Gondret F. et al. Flash dietary methionine supply over growth requirements in pigs: Multi-facetted effects on skeletal muscle metabolism. *Animal*. 2021;15(7):100268. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100268.
18. Conde-Aguilera J. A., Cobo-Ortega C., Mercier Y., Tesseraud S., Van Milgen J. The amino acid composition of tissue protein is affected by the total sulfur amino acid supply in growing pigs. *Animal*. 2014;8(3):401-409. DOI: 10.1017/S1751731113002425.
19. Zaitsev S.Y., Kolesnik N.S., Bogolyubova N.V. Correlations between the major amino acids and biochemical blood parameters of pigs at controlled fattening duration. *Molecules*. 2022;27(7): 2278. DOI: 10.3390/molecules27072278.
20. Черных А.В., Черных Н.М. Связь между продолжительностью откорма поросят и биохимическим составом крови. *Молодой учёный (Ежемесячный научный журнал)* 2012;38(3):489-491.
21. Фомичев Ю.П., Боголюбова Н.В., Некрасов Р.В., Чабаев М.Г., Рыков Р.А., Семенова А.А. Физиолого-биохимические эффекты двух кормовых антиоксидантов при моделировании технологического стресса у свиней (*Sus scrofa domestica* Erxleben, 1777). *Сельскохозяйственная биология*, 2020;55(4):750-769. doi: 10.15389/agrobiology.2020.4.750rus
22. Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В., Остренко К.С., Чабаев М.Г., Кутыин И.В., Ляхонин П.Д., Семенова А.А., Пчелкина В.А., Насонова В.В., Лоскутов С.И., Рыков Р.А., Прытков Ю.А. Биохимический статус и продуктивные качества свиней (*Sus scrofa domestica*) при моделировании стресса и его коррекции. *Сельскохозяйственная биология*, 2023;58(4): 638-659. doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.638rus
23. Niyazov N. S. A., Ostrenko K. S. Effect of low-protein diets on the nitrogen balance and productivity of pigs. *Journal of Livestock Science*. 2020;11:106-109. doi. 10.33259/JLivestSci.2020.106-109.

REFERENCES

1. Poklucar K., Candek-Potokar M., Batorek Lukač N., Tomažin U., Škrlep M. Lipid deposition and metabolism in local and modern pig breeds: A review. *Animals*, 2020;10(3):424. DOI: 10.3390/ani10030424.
2. Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. Characteristics of erythropoiesis in sows during different periods of the production cycle. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2023; (4):227-235. (In Russ.) <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.4.227>.
3. Freking B.A., Lents C.A., Vallet J.L. Se-

- lection for uterine capacity improves lifetime productivity of sows. *Animal reproduction science*. 2016;167:16-21. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2016.01.018.
4. Zaitsev S.Y., Belous A.A., Voronina O.A., Rykov R.A., Bogolyubova N.V. Correlations between antioxidant and biochemical parameters of blood serum of duroc breed pigs. *Animals*. 2021;11(8):2400. DOI: 10.3390/ani11082400.
5. Kazantseva N. P., Krasnova O. A., Vasilieva M. I., Khardina E. V. Reproductive qualities of hybrid sows at crossing with Duroc boars. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;199(08):43–50. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2020-199-8-43-50.
6. Zaitsev S.Yu., Bogolyubova N.V., Molchanova G.V. Biochemical blood analysis of a number of pig breeds and their hybrids. Moscow: Agricultural Technologies; 2022. 256 p. (In Russ.). DOI: 10.18720/SPBPU/2/222-20.
7. Bekenev V.A., Frolova V.I., Bolshakova I.V., Frolova Yu.V., Deeva V.S., Ites Yu.V. Stress-resistant of purebred and crossbred pigs of different bred combinations. *Innovations and Food Safety*. 2021;(4):86-93. (In Russ.). DOI: 10.31677/2072-6724-2021-34-4-88-96.
8. Cui Y., Wang C., Hao Y., Gu X., Wang H. (2019). Chronic heat stress induces acute phase responses and serum metabolome changes in finishing pigs. *Animals*. 2019;9(07):395. DOI: 10.3390/ani9070395.
9. Reyer H., Oster M., Wittenburg D., Murani E., Ponsuksili S., Wimmers K. Genetic contribution to variation in blood calcium, phosphorus, and alkaline phosphatase activity in pigs. *Frontiers in genetics*. 2019;10:590. DOI: 10.3389/fgene.2019.00590.
10. Ma X., Yu M., Liu Z., Deng D., Cui Y., Tian Z., Wang G. Effect of amino acids and their derivatives on meat quality of finishing pigs. *Journal of food science and technology*. 2020;57:404-412. DOI: 10.1007/s13197-019-04077-x.
11. Zhang Q., Hou Y., Bazer F.W., He W., Posey E.A., Wu G. *Amino Acids in Swine Nutrition and Production. Amino Acids in Nutrition and Health. Advances in Experimental Medicine and Biology*. Cham: Springer. 2021. 81-107 pp. DOI: 10.1007/978-3-030-54462-1_6.
12. Spring S., Premathilake H., Bradway C., Shili C., DeSilva U., Carter S., Pezeshki A. Effect of very low-protein diets supplemented with branched-chain amino acids on energy balance, plasma metabolomics and fecal microbiome of pigs. *Scientific Reports*. 2020;10(1):15859. DOI: 10.1038/s41598-020-72816-8.
13. Karau A., Grayson I. *Amino acids in human and animal nutrition. Biotechnology of food and feed additives*. Heidelberg: Springer. 2014.189-228 pp. DOI: 10.1007/10_2014_269.
14. Akram M. et al. Amino acids: A review article. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2011;5(17):3997-4000.
15. Morozova L. A., Mikolaychik I. N., Iltyakov A. V., Stupina E. S., Duskaev G. K. Amino acid composition of muscle tissue pedicated and hybrid pigs under conditions continental climate of Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;10(189):40-46. (In Russ.). DOI: 10.32417/article_5db430cb30bca8.95126056.
16. Petukhova M.A. Amino acid composition and biological value of proteins in the meat of different-genotype pigs. *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2016;59(2):118-123. (In Russ.).
17. Gondret F. et al. Flash dietary methionine supply over growth requirements in pigs: Multi-faceted effects on skeletal muscle metabolism. *Animal*. 2021;15(7):100268. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100268.
18. Conde-Aguilera J. A., Cobo-Ortega C., Mercier Y., Tesseraud S., Van Milgen J. The amino acid composition of tissue protein is affected by the total sulfur amino acid supply in growing pigs. *Animal*. 2014;8(3):401-409. DOI: 10.1017/S1751731113002425.
19. Zaitsev S.Y., Kolesnik N.S., Bogolyubova N.V. Correlations between the major amino acids and biochemical blood parameters of pigs at controlled fattening duration. *Molecules*. 2022;27(7): 2278. DOI: 10.3390/molecules27072278.
20. Chernykh A.V., Chernykh N.M. Relationship between duration of piglet fattening

and biochemical composition of blood. *Young scientist (Monthly scientific journal)* 2012;38(3):489-491.

21. Fomichev Yu.P., Chabaev M.G., Bogolyubova N.V., Rykov R.A., Nekrasov R.V., Semenova A.A. Physiological and biochemical effects of two feed antioxidants in modeling technological stress in pigs (*Sus scrofa domestica* Erxleben, 1777). *Agricultural Biology*, 2020;55(3):750-769. doi: 10.15389/agrobiology.2020.4.750eng

22. Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Ostrenko K.S., Chabaev M.G., Kutyn I.V.,

Lakhonin P.D., Semenova A.A., Pchelkina V.A., Nasonova V.V., Loskutov S.I., Rykov R.A., Prytkov Yu.A. Biochemical status and productive qualities of pigs (*Sus scrofa domestica*) during stress modeling and its correction. *Agricultural Biology*, 2023;58(4): 638-659. doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.638eng

23. Niyazov N. S. A., Ostrenko K. S. Effect of low-protein diets on the nitrogen balance and productivity of pigs. *Journal of Livestock Science*. 2020;11:106-109. doi. 10.33259/JLivestSci.2020.106-109.