



Влияние сроков откорма на метаболиты крови свиней породы ландрас и их двухпородных гибридов

© 2025. Н. С. Колесник, О. Н. Сивкина, О. А. Воронина ✉, А. А. Савина, С. Ю. Зайцев

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Проведён сравнительный межгрупповой анализ свиней на откорме разных породных и возрастных групп по биохимическим и аминокислотным показателям сыворотки крови. При формировании групп по принципу аналогов было отобрано по 10 голов животных в каждой группе: 1 – ландрас 60–65 дней откорма; 2 – ландрас × крупная белая 100–110 дней откорма; 3 – ландрас 100–110 дней откорма; 4 – ландрас × крупная белая 100–110 дней откорма. Парные межгрупповые сравнения выполнены после проверки распределения данных по критерию Шапиро-Уилка и оценки однородности дисперсии по тесту Левена. Однофакторный дисперсионный анализ и тест Тьюки-Крамера применяли для данных, где распределение соответствует нормальному и подтверждается условие однородности дисперсии в группах. При несоблюдении одного из двух условий сравнительный анализ выполнен по критерию Краскела-Уоллиса с поправкой Бонферрони в сочетании с тестом Манна-Уитни. Не установлено статистически значимых различий в группах 1 и 2. С возрастом, для групп 3 и 4 установлены значимые различия только для аминокислот – метионина и валина. У свиней породы ландрас на 100–110-ый день откорма (группа 3) достоверно выше содержание следующих аминокислот в крови: аспарагиновой кислоты ($p = 0,014$), глутаминовой кислоты ($p = 0,042$), изолейцина ($p = 0,035$), цистеина ($p = 0,003$), аланина ($p = 0,035$), серина ($p = 0,013$), валина ($p = 0,006$), аргинина ($p = 0,001$) в сравнении с животными 1 группы; тогда как средние значения по показателю метионина ниже ($p = 0,008$). У гибридов ландрас × крупная белая на 100–110-ый день откорма (группа 4) выше содержание общего белка ($p = 0,015$), альбуминов ($p < 0,001$), мочевины ($p = 0,008$), аспарагиновой кислоты ($p < 0,001$), аланина ($p < 0,001$), изолейцина ($p = 0,003$), лизина ($p = 0,001$), цистеина ($p = 0,002$), валина ($p < 0,001$), аргинина ($p < 0,001$), ниже пролина ($p = 0,028$) и метионина ($p < 0,001$), серина ($p < 0,001$), глицина ($p = 0,003$) в сравнении с животными 2 группы. Таким образом, на изменение биохимических показателей и аминокислотного состава крови свиней большее влияние оказывают возрастные динамики, которые ярче проявлены у гибридов в сравнении с чистой породой.

Ключевые слова: свиноводство, возрастная динамика, метаболические изменения, обусловленные селекцией

Благодарности: работа по разделам «Введение», пунктам 1 и 2 раздела «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» и пункта 3 «Результаты и обсуждения» выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № FGGN-2024-0016).

Авторы благодарят Р. А. Рыкова за техническую помощь в измерениях биохимических показателей.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Колесник Н. С., Сивкина О. Н., Воронина О. А., Савина А. А., Зайцев С. Ю. Влияние сроков откорма на метаболиты крови свиней породы ландрас и их двухпородных гибридов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):872–884. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.872-884>

Поступила: 03.10.2024

Принята к публикации: 03.07.2025

Опубликована онлайн: 29.08.2025

The effect of fattening periods on blood metabolites of Landrace pigs and their two-breed hybrids

© 2025. Nikita S. Kolesnik, Olga N. Sivkina, Oksana A. Voronina ✉, Anastasia A. Savina, Sergey Yu. Zaytsev

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, pos. Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

A comparative intergroup analysis of fattening pigs of different breed and age groups according to biochemical and amino acid parameters of blood serum was carried out. When forming groups based on the principle of analogues, $n = 10$ heads of animals were selected in each group: 1 – Landrace 60–65 days of fattening; 2 – Landrace x Large White 60–65 days of fattening; 3 – Landrace 100–110 days of fattening; 4 – Landrace x Large White 100–110 days of fattening. Pairwise intergroup comparisons were performed after checking the distribution of data according to the Shapiro-Wilk criterion and evaluating the uniformity of variance using the Levene's test. Univariate variance analysis and the Tukey-Kramer test were used for data where the distribution corresponded to normal, and the condition of uniformity of variance in groups was confirmed. If one of the two conditions is not met, the comparative analysis is performed using the Kruskal-Wallis test with the Bonferroni

correction, in combination with the Mann-Whitney test. No statistically significant differences were found in groups 1 and 2. With age, for groups 3 and 4, significant differences were found only for amino acids – methionine and valine. in Landrace breed (group 3) on the 100-110th day of fattening the content of the following amino acids in the blood was significantly higher: aspartic acid ($p = 0.014$), glutamic acid ($p = 0.042$), isoleucine ($p = 0.035$), cysteine ($p = 0.003$), alanine ($p = 0.035$), serine ($p = 0.013$), valine ($p = 0.006$), arginine ($p = 0.001$) in comparison with the animals of the 1 group; whereas the average values for the methionine index were lower ($p = 0.008$). In Landrace x Large White hybrids (group 4) on the 100-110th day of fattening the content of total protein ($p = 0.015$), albumins ($p < 0.001$), urea ($p = 0.008$), aspartic acid ($p < 0.001$), alanine ($p < 0.001$), isoleucine ($p = 0.003$), lysine ($p = 0.001$), cysteine ($p = 0.002$), valine ($p < 0.001$), arginine ($p < 0.001$) was higher while the content of proline ($p = 0.028$) and methionine ($p < 0.001$), serine ($p < 0.001$), glycine ($p = 0.003$) was lower in comparison with the animals of the 2 group. Thus, the change in biochemical parameters and amino acid composition of pig blood is mostly influenced by age dynamics that is more vividly manifested in hybrids compared with the pure breed.

Keywords: pig breeding, age dynamics, metabolic changes caused by breeding

Acknowledgements: the work in the section “Introduction” and paragraphs 1 and 2 of the section “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 section “Materials and Methods” and paragraph 3 of the section “Results and Discussion” was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (topic No. FGGN-2024-0016).

The authors thank R. A. Rykov for technical assistance in measuring the biochemical parameters.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citation: Kolesnik N. S., Sivkina O. N., Voronina O. A., Savina A. A., Zaytsev S. Yu. The effect of fattening periods on blood metabolites of Landrace pigs and their two-breed hybrids. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(4):872–884. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.872-884>

Received: 03.10.2024

Accepted for publication: 03.07.2025

Published online: 29.08.2025

Возрастные и породные различия в биохимических показателях и аминокислотном составе крови свиней – важный предмет изучения. Они отражают интенсивность обменных процессов во время роста, указывают на тонкости в организации метаболизма. Так, аминокислоты (АК) выполняют целый ряд функций, выступая в качестве строительных блоков для белков, основными источниками энергии для слизистой оболочки кишечника, лимитирующими компонентами ключевых белков кишечного барьера (окклюдин, клаудины и т. д.), выполняют функцию регулятора иммунных и окислительных реакций. Например, треонин наиболее распространённая незаменимая АК в муцинах, которые обеспечивают барьерную функцию эпителия [1, 2], нарушение которой особенно опасно для поросят во время отъема, сопряжено с риском возникновения диареи [1] и повлечет за собой изменение в биохимических показателях крови. Глицин, глутамат и цистеин составляют важнейший трипептид в процессах регуляции окислительного стресса. Избыток АК в клетках напрямую модулирует метаболические пути, изменяя экспрессию генов. При этом гены, реагирующие на конкретную АК, тесно связаны с её эффектами. Например, для глутамата это эффекты в отношении воспалительной реакции, пролиферации, дифференцировки и выживания клеток, а также метаболических функций [3]. В этом свете становится ещё более актуальным мониторинг «незаменимых» АК [2, 4], к которым, помимо

указанного выше треонина, относятся: триптофан, фенилаланин, лизин, аргинин, гистидин, метионин, лейцин, изолейцин и валин [4, 5, 6].

Было обнаружено, что ряд АК с разветвленной цепью (например, изолейцин, лейцин и валин) улучшают качество свинины, способствуют росту мышечной ткани, усиливают развитие кишечника и активно участвуют в регуляции иммунного ответа [7]. Имеются данные о том, что некоторые свободные АК (т. е. не связанные в белковые молекулы), а также их производные могут выступать в роли регуляторных факторов для соединения основных метаболических процессов в организме животных и человека [7, 8]. Например, метаболиты аланина, 4-гидроксипролина, тирозина, метионина и т. д. связаны с циклом Кребса, который является связующим для многих метаболических путей [2, 4, 9]. Кроме того, Ф. Чжан и соавт. (F. Zhang et al.) в своих исследованиях установили зависимость между содержанием меди в печени у свиней и концентрацией ряда АК: лейцина, фенилаланина, метионина, пролина, тирозина. Это указывает на их участие в минеральном обмене [10].

Авторы [8] считают, что наиболее важными АК для свиней являются лизин, метионин, треонин и триптофан. Лизин входит в состав всех белков организма и является первой лимитирующей АК для отложения мышечной ткани для свиней [11]. Причём хрякам нужно больше лизина, чем свинкам для достижения максимальных показателей роста, поскольку

самцы более худощавые и темпы роста у них выше [11]. Лизин оказывает положительное влияние на морфологию ворсинок кишечника при поступлении немного выше предполагаемой потребности и ослабляет атрофию ворсинок после отъема поросят от свиноматки [12]. Треонин является одним из основных компонентов α -глобулина плазмы домашней птицы, кроликов, человека и свиней. Исследования Р. О. Болл (R. O. Ball) показали, что поросята-отъемыши, получавшие рацион с дефицитом треонина, были особенно восприимчивы к диарее [13]. Кроме того, есть сообщения о взаимосвязи между уровнями треонина в пище и выработкой IgG у свиней [14]. В совокупности эти данные свидетельствуют о роли треонина в иммунной функции. Серосодержащие АК (метионин, цистеин), являющиеся строительными блоками всех белков, жестко регулируют скорость роста мышечной массы [15]. Сообщалось о сниженном содержании белка, более низкой фракционной скорости синтеза белка, сниженной активности протеолитических ферментов, но более высоком гликолитическом потенциале в мышцах свиней с дефицитом общего количества серосодержащих АК [16].

Важно подчеркнуть, что четких референсных интервалов для АК состава тканей свиней практически не существует. Поэтому для объективного рассмотрения этого вопроса надо использовать многочисленные работы нашей группы [2, 4], А. С. Неупокоевой и А. В. Ильтякова [5], Л. А. Морозовой и др. [6], А. В. Ильтякова и др. [9], М. А. Петуховой и др. [17], а также зарубежных авторов [10, 11, 16], в которых были опубликованы сопоставимые данные по содержанию общих и свободных АК в крови и мясе свиней различных пород. Например, М. А. Петухова и др. [17] исследовали АК состав мяса свиней нескольких пород, в том числе дюрок, а Л. А. Морозова и др. [6] изучали содержание АК в мышечной ткани свиней-гибридов (ландрас \times йоркшир \times дюрок). Так, содержание ряда АК, например валина, у свиней-гибридов было существенно ниже, чем у чистопородных дюрок (0,985 и 1,460 г/100 мл соответственно [4, 6, 17]). В свою очередь, фенилаланин, гистидин, треонин, метионин и триптофан были обнаружены почти в равных количествах [4, 6, 17].

На сегодняшний день практически нет работ по изучению особенностей, взаимосвязей и отличий АК состава и биохимических показателей крови свиней разных породных и возрастных групп [18].

Таким образом, детальное изучение особенностей и взаимосвязей между АК составом и биохимическими показателями крови свиней разных породных и возрастных групп будет актуальным и полезным как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

Цель исследований – измерение биохимических параметров крови и её аминокислотного состава в сравнительном аспекте для чистопородных свиней породы ландрас и их двухпородных гибридов с крупной белой породой в динамике откорма и анализ установленных взаимосвязей между изучаемыми показателями.

Научная новизна – впервые в рамках данного исследования выполнен сравнительный анализ биохимических показателей крови в зависимости от породных и возрастных различий для чистой породы ландрас и их гибридов с крупной белой породой на сроках откорма от 60 до 110 дней.

Материал и методы. Исследования проводили на боровых ($n = 40$) двух породных групп и двух возрастных категорий: 1) ландрас 60–65 дней откорма (живая масса $61,8 \pm 2,4$ кг); 2) ландрас \times крупная белая 60–65 дней откорма (живая масса $60,5 \pm 3,2$); 3) ландрас 100–110 дней откорма (живая масса $104,5 \pm 1,50$ кг); 4) ландрас \times крупная белая 100–110 дней откорма (живая масса $103,4 \pm 1,70$ кг). В каждой группе по десять голов, отобранных по принципу аналогов. Возраст поросят при постановке на откорм составлял 3–4 месяца. Все исследуемые животные были клинически здоровы. Питательность рациона: сухое вещество – 2,45 кг, обменная энергия – 34,8 МДж, сырой протеин – 452 г, сырая клетчатка – 137 г, лизин – 20,2 г, метионин + цистеин – 12,5 г, кальций – 20 г и фосфор – 16 г для 1 и 2 группы; сухое вещество – 3,08 кг, обменная энергия – 45,9 МДж, сырой протеин – 528 г, сырая клетчатка – 196 г, лизин – 22,9 г, метионин + цистеин – 14,9 г, кальций – 25 г и фосфор – 20 г для 3 и 4 группы.

Условия содержания животных (температурный, влажностный, световой режимы и газовый состав воздуха в помещении) в исследуемые периоды были одинаковы и в пределах зооигиенических норм. Протокол исследования на животных одобрен биоэтической комиссией ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л. К. Эрнста (протокол № 2, от 20 марта 2023 г.). 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 прин-

ципам обращения с животными¹, согласно статье 4 ФЗ РФ N 498-ФЗ².

Образцы крови брали из ушной вены. Сыворотку отделяли центрифугированием в течение 15 мин при 3000 об/мин (лабораторная центрифуга CM-12, Россия) [4].

Биохимические показатели образцов сыворотки крови животных определяли на автоматическом биохимическом анализаторе ChemWell (Awareness Technology, США) с использованием реактивов фирм Analyticon Biotechnologies AG (Германия) и Spinreact (Испания). Определяли следующие биохимические показатели: концентрацию общего белка – биуретовым методом; содержание альбумина – колориметрическим методом с бромкрезоловым зеленым; глобулины – расчетным методом, вычитая из общего белка альбумин; мочевины – ферментативным колориметрическим (метод Бергло); креатинина – кинетическим методом Яффе; глюкозы – ферментативным глюкозооксидазным методом; холестерина – ферментативно-колориметрическим методом [4, 19, 20].

Определение концентрации АК в сыворотке крови осуществляли методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией проб нингидрином. Для этого в отделе физиологии и биохимии с.-х. животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста имеется система высокоэффективной жидкостной хроматографии LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония), оснащенная реакционным модулем для пост-колоночной дериватизации нингидрином АРМ-1000 (Sevko&Co, Россия), и колонка с ионообменной смолой (Sevko&Co, Россия) [2, 4]. Подготовку проб для анализа осуществляли в соответствии с ГОСТ 32195-2013³ [4], для чего использовали кислотный гидролиз 6 N HCl для разложения белков на отдельные АК с добавлением норлейцина в качестве внутреннего стандарта. Гидролиз выполняли в фторопластовых стаканах с завинчивающейся крышкой (СЕМ, США) в термостате при 110 °С в течение 24 часов. Для определения серосодержащих АК (метионина, цистеина) пробы перед гидролизом обрабатывали смесью для окисления (надмуравьиная кислота с фенолом в качестве консерванта). Триптофан разрушается в процессе кислотного

гидролиза, потому его не определяли, аспарагин и глутамин в условиях гидролиза переходят в соответствующие кислоты и на хроматограмме определяются вместе с аспарагиновой и глутаминовой кислотами.

Обработку полученных данных выполняли в программах R и Microsoft Excel с расширенным пакетом анализа данных.

Нормальность распределения данных оценивали по критерию Шапиро-Уилка (W), поскольку эффективность всех подобных тестов сопоставима на малых объемах данных. Если рассчитанный W-критерий теста Шапиро-Уилка на нормальность распределения данных не совпадал со значением из соответствующей таблицы, приблизительное значение p рассчитывали, используя линейную интерполяцию, по формуле:

$$p_2 = (W_2 - W_1)(p_3 - p_1)/(W_3 - W_1) + p_1,$$

где p_2 – искомое значение, W_2 – расчетное значение критерия, W_1 – минимальное ближайшее значение к рассчитанному W-критерию из таблицы, W_3 – максимальное ближайшее значение к рассчитанному W-критерию из таблицы, p_1 – значение p соответствующее W_1 ; p_3 – значение p соответствующее W_3 .

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и $n = 10$ подбирали соответствующие значения критерия W и p. Если в результате расчетное значение p больше $\alpha = 0,05$, следовательно, нулевую гипотезу (о нормальности распределения данных) не отвергали и предполагали, что полученные данные соответствуют нормальному распределению.

Гомогенность дисперсии оценивали по тесту Левена (расчет от среднего значения). Если p при оценке гомогенности дисперсии больше $\alpha = 0,05$, значит тест удовлетворяет предположению об однородности дисперсии. При сравнительном анализе межгрупповых различий использовали следующий подход. Для показателей, где гипотеза о нормальности распределения данных не была отвергнута (тест Шапиро-Уилка), а гипотеза о гомогенности дисперсии (тест Левена) подтвердилась, попарные сравнения выполнены однофакторным дисперсионным анализом в сочетании с тестом Тьюки-Крамера – для компенсации множественности.

¹Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". [Электронный ресурс].

URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-27122018-n-498-fz-ob-otvetstvennom-obrashchenii/> (дата обращения: 27.09.2024).

²Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70350564/> (дата обращения: 27.09.2024).

³ГОСТ 32195-2013. Корма. Комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. М.: Стандартинформ, 2014. 23 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293773/4293773804.pdf>

Для показателей, где гипотеза о нормальности распределения данных была отвергнута (тест Шапиро-Уилка), а гипотеза о гомогенности дисперсии (тест Левена) не подтвердилась, попарные сравнения выполнены с использованием критерия Краскела-Уоллиса с поправкой Бонферрони в сочетании с тестом Манна-Уитни.

Таблица 1 – Состав сыворотки крови свиней породы ландрас и гибридов ландрас × крупная белая на 60–65-ый и 100–110-ый день откорма /

Table 1 – Blood serum composition from of Landrace pigs and Landrace × Large White hybrids on days 60–65 and 100–110 of fattening /

Показатель / Index	Группа (n = 10) / Group	M±m	Me	Q1	Q3	IQR
1	2	3	4	5	6	7
Общ белок, г/л / Total protein, g/l	1	52,10±4,52	52,6	49,6	53,9	4,3
	2	50,60±2,23	49,7	49,4	52,6	3,2
	3	56,33±3,00	56,6	55,6	58,0	2,4
	4	57,60±5,43	55,0	53,0	62,3	9,3
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	1	30,68±3,27	30,9	28,7	31,3	2,6
	2	29,63±0,91	29,9	29,0	30,1	1,1
	3	34,06±1,64	34,1	32,9	35,1	2,2
	4	35,93±2,33	35,4	33,8	38,2	4,4
Глобулин, г/л / Globulin, g/l	1	21,4±4,27	20,7	18,0	23,4	5,4
	2	20,97±2,36	21,2	19,2	23,0	3,8
	3	22,27±2,52	22,2	21,5	23,4	1,9
	4	21,67±3,37	20,7	18,8	23,9	5,1
Мочевина, мм/л / Urea, mM/l	1	2,15±0,38	2,1	1,9	2,3	0,4
	2	2,13±0,55	2,2	1,6	2,7	1,1
	3	3,06±0,90	2,7	2,5	3,7	1,2
	4	4,31±1,65	3,8	3,5	6,0	2,5
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, mmol/l	1	89,43±4,25	89,5	85,5	92,5	7
	2	89,73±8,43	90,5	82,2	92,6	10,4
	3	106,73±13,76	106,6	98,8	115,2	16,4
	4	102,71±23,04	101,1	81,7	120,7	39
Глюкоза, мм/л / Glucose, mM/l	1	5,35±0,52	5,2	5,0	5,5	0,5
	2	5,48±0,57	5,6	5,5	5,8	0,3
	3	4,63±0,60	4,5	4,4	5,2	0,8
	4	4,92±0,77	5,4	4,1	5,5	1,4
Холестерин, мм/л / Cholesterol, mM/l	1	2,49±0,35	2,5	2,2	2,7	0,5
	2	2,45±0,18	2,4	2,3	2,6	0,3
	3	2,82±0,22	2,8	2,6	3,0	0,4
	4	2,80±0,38	2,9	2,4	3,1	0,7
Аспарагиновая кислота, г/100 мл / ASP, g/100 ml	1	0,49±0,03	0,492	0,472	0,510	0,038
	2	0,48±0,03	0,478	0,453	0,508	0,055
	3	0,56±0,04	0,573	0,534	0,579	0,045
	4	0,58±0,04	0,554	0,544	0,614	0,070
Треонин, г/100 мл / THR, g/100 ml	1	0,27±0,02	0,275	0,253	0,277	0,024
	2	0,26±0,02	0,261	0,242	0,278	0,036
	3	0,27±0,02	0,269	0,261	0,287	0,026
	4	0,26±0,02	0,256	0,242	0,282	0,040
Серин, г/100 мл / SER, g/100 ml	1	0,29±0,03	0,280	0,271	0,293	0,022
	2	0,28±0,03	0,269	0,249	0,310	0,061
	3	0,33±0,03	0,328	0,315	0,341	0,026
	4	0,34±0,02	0,333	0,323	0,357	0,034
Глутаминовая кислота, г/100 мл / GLU, g/100 ml	1	0,80±0,05	0,784	0,774	0,797	0,023
	2	0,77±0,07	0,781	0,742	0,823	0,081
	3	0,86±0,02	0,859	0,843	0,875	0,032
	4	0,85±0,05	0,825	0,808	0,904	0,096

Результаты и их обсуждение. 1. Статистический анализ биохимических параметров и аминокислотного состава сыворотки крови для исследуемых групп свиней.

Установленные значения биохимических параметров и АК состава сыворотки крови свиней для четырех групп представлены в таблице 1.

1	2	3	4	5	6	7
Глицин, г/100 мл / GLY, g/100 ml	1	0,21±0,01	0,214	0,202	0,214	0,012
	2	0,20±0,02	0,203	0,188	0,223	0,035
	3	0,19±0,03	0,175	0,161	0,219	0,058
	4	0,16±0,01	0,156	0,153	0,174	0,021
Аланин, г/100 мл / ALA, g/100 ml	1	0,32±0,01	0,317	0,314	0,321	0,007
	2	0,31±0,01	0,304	0,299	0,317	0,018
	3	0,37±0,03	0,380	0,337	0,385	0,048
	4	0,39±0,03	0,368	0,363	0,419	0,056
Валин, г/100 мл / VAL, g/100 ml	1	0,35±0,02	0,354	0,343	0,360	0,017
	2	0,34±0,03	0,341	0,321	0,360	0,039
	3	0,40±0,03	0,402	0,372	0,413	0,041
	4	0,41±0,04	0,391	0,385	0,439	0,054
Изолейцин, г/100 мл / ILE, g/100 ml	1	0,20±0,01	0,203	0,195	0,206	0,011
	2	0,20±0,01	0,195	0,189	0,203	0,014
	3	0,22±0,01	0,222	0,211	0,227	0,016
	4	0,21±0,04	0,216	0,213	0,234	0,021
Лейцин, г/100 мл / LEU, g/100 ml	1	0,60±0,03	0,594	0,583	0,601	0,018
	2	0,57±0,06	0,587	0,566	0,608	0,042
	3	0,63±0,02	0,623	0,610	0,651	0,041
	4	0,62±0,05	0,598	0,583	0,664	0,081
Тирозин, г/100 мл / TYR, g/100 ml	1	0,37±0,02	0,376	0,359	0,380	0,021
	2	0,35±0,02	0,349	0,337	0,373	0,036
	3	0,35±0,03	0,337	0,330	0,386	0,056
	4	0,33±0,02	0,329	0,317	0,350	0,033
Фенилаланин, г/100 мл / PHE, g/100 ml	1	0,38±0,02	0,380	0,371	0,381	0,01
	2	0,37±0,01	0,369	0,357	0,374	0,017
	3	0,39±0,01	0,390	0,376	0,402	0,026
	4	0,38±0,03	0,368	0,359	0,402	0,043
Гистидин, г/100 мл / HIS, g/100 ml	1	0,25±0,02	0,245	0,238	0,249	0,011
	2	0,23±0,02	0,235	0,228	0,238	0,010
	3	0,23±0,01	0,233	0,225	0,238	0,013
	4	0,22±0,01	0,217	0,214	0,223	0,009
Лизин, г/100 мл / LYS, g/100 ml	1	0,49±0,04	0,478	0,459	0,487	0,028
	2	0,46±0,05	0,474	0,451	0,491	0,040
	3	0,55±0,06	0,579	0,508	0,597	0,089
	4	0,59±0,03	0,578	0,563	0,613	0,050
Аргинин, г/100 мл / ARG, g/100 ml	1	0,35±0,03	0,341	0,337	0,363	0,026
	2	0,34±0,02	0,340	0,328	0,363	0,035
	3	0,39±0,03	0,400	0,382	0,408	0,026
	4	0,40±0,02	0,395	0,385	0,417	0,032
Пролин, г/100 мл / PRO, g/100 ml	1	0,27±0,01	0,273	0,264	0,282	0,018
	2	0,27±0,02	0,267	0,254	0,289	0,035
	3	0,27±0,05	0,239	0,232	0,313	0,081
	4	0,23±0,02	0,224	0,215	0,255	0,040
Цистеин, г /100 г / CYS, g/100 ml	1	0,150±0,014	0,152	0,145	0,156	0,011
	2	0,150±0,011	0,148	0,144	0,155	0,011
	3	0,173±0,014	0,171	0,170	0,183	0,013
	4	0,174±0,015	0,169	0,163	0,186	0,023
Метионин, г/100 мл / MET, g/100 ml	1	0,053±0,008	0,052	0,047	0,055	0,008
	2	0,050±0,004	0,050	0,048	0,051	0,003
	3	0,044±0,007	0,043	0,039	0,046	0,007
	4	0,035±0,005	0,037	0,033	0,037	0,004

Примечания. Группы: 1 – ландрас, 60–65 дней откорма; 2 – гибрид ландрас × крупная белая, 60–65 дней откорма; 3 – ландрас, 100–110 дней откорма; 4 – гибрид ландрас × крупная белая, 100–110 дней откорма; М – среднее значение; ±m – ошибка среднего; Me – медиана; Q1 – первый квартиль; Q3 – третий квартиль; IQR – межквартильный размах /

Notes: Groups: 1 – Landrace, 60–65 days of fattening; 2 – Landrace × Large White hybrid, 60–65 days of fattening; 3 – Landrace, 100–110 days of fattening; 4 – Landrace × Large White hybrid, 100–110 days of fattening; M – the average value; ±m – average error; Me – median; Q1 – first quartile; Q3 – third quartile; IQR – interquartile range

Данные, полученные в ходе исследований, соответствуют видовым референтным интервалам. В таблице 2 приводим результаты

проверки полученных данных на их соответствие нормальному распределению.

Таблица 2 – Проверка распределения данных по критерию Шапиро-Уилка и оценка гомогенности дисперсии по тесту Левена /

Table 2 – Verification of the data distribution by the Shapiro-Wilk criterion and estimation of the homogeneity of the variance by the Levene method

Показатель / Index	Группа, p / Group, p				Тест Левена, p / Levene test, p
	1	2	3	4	
Общ белок, г/л / Total protein, g/l	0,99	0,30	0,07	0,04	0,008
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	0,85	0,77	0,96	0,07	0,013
Глобулин, г/л / Globulin, g/l	0,52	0,43	0,67	0,07	0,047
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	0,23	0,04	0,39	0,07	0,001
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, mmol/l	0,33	0,47	0,50	0,02	0,001
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,25	0,03	0,47	0,01	0,101
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	0,57	0,75	0,54	0,06	0,038
Аспарагиновая кислота, г/100 мл / ASP, g/100 ml	0,95	0,56	0,53	0,05	0,502
Треонин, г/100 мл / THR, g/100 ml	0,27	0,18	0,68	0,42	0,399
Серин, г/100 мл / SER, g/100 ml	0,73	0,17	0,57	0,64	0,687
Глутаминовая кислота, г/100 мл / GLU, g/100 ml	0,53	0,49	0,87	0,04	0,044
Глицин, г/100 мл / GLY, g/100 ml	0,10	0,24	0,02	0,07	0,001
Аланин, г/100 мл / ALA, g/100 ml	0,47	0,08	0,35	0,03	0,001
Валин, г/100 мл / VAL, g/100 ml	0,18	0,92	0,90	0,07	0,062
Изолейцин, г/100 мл / ILE, g/100 ml	0,47	0,13	0,64	0,01	0,199
Лейцин, г/100 мл / LEU, g/100 ml	0,45	0,01	0,28	0,05	0,233
Тирозин, г/100 мл / TYR, g/100 ml	0,08	0,25	0,04	0,30	0,149
Фенилаланин, г/100 мл / PHE, g/100 ml	0,35	0,91	0,20	0,10	0,024
Гистидин, г/100 мл / HIS, g/100 ml	0,02	0,01	0,50	0,21	0,505
Лизин, г/100 мл / LYS, g/100 ml	0,02	0,01	0,15	0,53	0,108
Аргинин, г/100 мл / ARG, g/100 ml	0,71	0,38	0,25	0,48	0,924
Пролин, г/100 мл / PRO, g/100 ml	0,69	0,52	0,01	0,04	0,001
Цистеин, г /100 г / CYS, g/100 ml	0,30	0,70	0,70	0,46	0,678
Метионин, г/100 мл / MET, g/100 ml	0,16	0,06	0,88	0,49	0,187

Примечание: жирным шрифтом выделены показатели, для которых соблюдается условие о нормальности распределения во всех четырех группах и условие о гомогенности дисперсии /

Note: bold highlights the indicators for which the condition of normality of distribution in all four groups and the condition of homogeneity of variance are met

В первой группе исключениями стали данные показателей АК анализа: гистидин и лизин. Во второй группе распределение данных по показателям: мочевина, глюкоза, лейцин, гистидин и лизин – отличаются от нормального распределения. В третьей группе большинство изученных показателей соответствуют нормальному распределению. Исключениями стали: глицин, тирозин и пролин. В

четвертой группе самая большая доля данных отличается от нормального распределения (38 %, 9 из 24 показателей): общий белок, креатинин, глюкоза, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, аланин, изолейцин, лейцин, пролин.

2. *Результаты апостериорных тестов попарного сравнения групп.* Данные о проверке распределения полученных данных по кри-

терио Шапиро-Уилка и оценка гомогенности дисперсии исследуемых переменных в группах по тесту Левена (табл. 2) позволяют выполнить однофакторный дисперсионный анализ и попарные сравнения по тесту Тьюки-Крамера для следующих показателей: тирозин, серин, валин, фенилаланин, аргинин, цистеин, метионин. Для остальных данных выполнен критерий Краскела-Уоллиса с поправкой

Бонферрони. Попарные сравнения выполнены по тесту Манна-Уитни (табл. 3). В эту группу данных вошли результаты по следующим показателям: общий белок, альбумины, глобулины, мочевины, креатинин, глюкоза, холестерин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, глицин, аланин, изолейцин, лейцин, тирозин, гистидин, лизин, пролин.

Таблица 3 – Сравнительный анализ изучаемых групп по аминокислотным и биохимическим показателям / Table 3 – Comparative analysis of the studied groups by amino acid and biochemical parameters

Показатель / Index	ОДА, p / ANOVA, p	Для групп / For groups	Тест Тьюки-Крамера, p / Tukey-Kramer test, p
1	2	3	4
<i>Анализ изменчивости признака для данных с распределением, соответствующим нормальному, и гомогенной дисперсией / Feature variability analysis, for data with a normal distribution and homogeneous variance</i>			
Фенилаланин, г/100 мл / PHE, g/100 ml	0,127	-	-
Тирозин, г/100 мл / TYR, g/100 ml	0,055	-	-
Треонин, г/100 мл / THR, g/100 ml	0,603	-	-
Серин, г/100 мл / SER, g/100 ml	<0,001	1/2	0,876
		3/4	0,893
		1/3	0,013
		2/4	<0,001
Валин, г/100 мл / VAL, g/100 ml	<0,001	1/2	0,766
		3/4	<0,001
		1/3	0,006
		2/4	<0,001
Аргинин, г/100 мл / ARG, g/100 ml	<0,001	1/2	0,982
		3/4	0,868
		1/3	0,001
		2/4	<0,001
Цистеин, г/100 мл / CYS, g/100 ml	<0,001	1/2	1,000
		3/4	0,998
		1/3	0,003
		2/4	0,002
Метионин, г/100 мл / MET, g/100 ml	<0,001	1/2	0,668
		3/4	0,036
		1/3	0,008
		2/4	<0,001
<i>Анализ изменчивости признака для данных, где распределение отличается от нормального, а дисперсия гетерогенная / Feature variability analysis, for data where the distribution differs from normal and the variance is heterogeneous</i>			
Показатель / Index	Тест Краскела-Уоллиса, p / The Kruskal-Wallis test, p	Для групп / For groups	Тест Манна-Уитни, p / Mann-Whitney test, p
Глобулин, г/л / Globulin, g/l	0,828	-	-
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, mmol/l	0,057	-	-
Глюкоза, мм/л / Glucose, mM/l	0,012	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,222
		2/4	0,306
Холестерин, мм/л / Cholesterol, mM/l	0,015	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,117
		2/4	0,184

1	2	3	4
Лейцин, г/100 мл / LEU, g/100 ml	0,032	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,320
		2/4	0,490
Гистидин, г/100 мл / HIS, g/100 ml	0,001	1/2	0,320
		3/4	0,381
		1/3	0,184
		2/4	0,222
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	<0,001	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,101
		2/4	0,015
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	<0,001	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,184
		2/4	<0,001
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	0,001	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,197
		2/4	0,008
Аспарагиновая кислота, г/100 мл / ASP, g/100 ml	<0,001	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,014
		2/4	<0,001
Глутаминовая кислота, г/100 мл / GLU, g/100 ml	0,002	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,042
		2/4	0,066
Глицин, г/100 мл / GLY, g/100 ml	<0,001	1/2	1,000
		3/4	0,151
		1/3	0,674
		2/4	0,003
Аланин, г/100 мл / ALA, g/100 ml	<0,001	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,035
		2/4	<0,001
Изолейцин, г/100 мл / ILE, g/100 ml	<0,001	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,035
		2/4	0,003
Лизин, г/100 мл / LYS, g/100 ml	<0,001	1/2	1,000
		3/4	1,000
		1/3	0,091
		2/4	0,001
Пролин, г/100 мл / PRO, g/100 ml	0,005	1/2	1,000
		3/4	0,193
		1/3	1,000
		2/4	0,028

Примечания: жирным шрифтом – значимые различия; ОДА – однофакторный дисперсионный анализ /
Notes: in bold – significant differences; ANOVA – Analysis of Variance

Данные выполненных апостериорных тестов при анализе породных и возрастных особенностей свиней на откорме позволяют нам сделать следующие выводы. Свиньи чистой породы ландрас и их гибриды с крупной белой породой очень схожи по уровню метаболизма,

который оценивали по показателям биохимии крови и её АК составу. Не было обнаружено статистически значимых различий в группах 1 и 2. С возрастом для групп 3 и 4 установлены значимые различия только для АК – метионина и валина. Среднее значение метионина на

0,009 г/100 мл ($p = 0,036$) выше в 3-й группе, валина на 0,01 г/100 мл ($p < 0,001$) больше в 4-й группе (табл. 1, 3).

В динамике откорма с изменением возраста установлены значимые отличия для чистопородных свиней породы ландрас (группы 1 и 3). В группе 3 больше содержание серина на 0,04 г/100 мл ($p = 0,013$), валина на 0,05 г/100 мл ($p = 0,006$), аргинина на 0,04 г/100 мл ($p = 0,001$), цистеина на 0,023 г/100 мл ($p = 0,003$), аспарагиновой кислоты на 0,07 г/100 мл ($p = 0,014$), глутаминовой кислоты на 0,06 г/100 мл ($p = 0,042$), аланина на 0,05 г/100 мл ($p = 0,035$), изолейцина на 0,02 г/100 мл ($p = 0,035$) и меньше метионина на 0,009 г/100 мл ($p = 0,008$) в сравнении с 1-й группой (табл. 1, 3).

В динамике откорма с изменением возраста для гибридов ландрас \times крупная белая (группы 2 и 4) установлено больше всего значимых различий – по 14 изученным показателям из 24 исследованных в работе. В группе 4 больше содержание валина на 0,07 г/100 мл ($p < 0,001$), аргинина на 0,06 г/100 мл ($p < 0,001$), цистеина на 0,024 г/100 мл ($p = 0,002$), аспарагиновой кислоты на 0,10 г/100 мл ($p < 0,001$), аланина на 0,08 г/100 мл ($p < 0,001$), изолейцина на 0,01 г/100 мл ($p = 0,003$), лизина на 0,13 г/100 мл ($p = 0,001$), общего белка на 7,0 г/л ($p = 0,015$), альбуминов на 6,3 г/л ($p < 0,001$), мочевины на 2,18 мм/л ($p = 0,008$) в сравнении со 2-ой группой. Меньше содержание серина на 0,06 г/100 мл ($p < 0,001$), метионина на 0,015 г/100 мл ($p < 0,001$), глицина на 0,04 г/100 мл ($p = 0,003$), пролина на 0,04 г/100 мл ($p = 0,028$) (табл. 1, 3), чем у животных 2-ой группы.

В динамике откорма изменяется содержание ряда АК, как общую закономерность для свиней породы ландрас и гибридов ландрас \times крупная белая отметим изменение содержания аспарагиновой кислоты, серина, аланина, валина, изолейцина, аргинина, цистеина, метионина. Большая их часть увеличивается, как описано выше. Видимо в связи с тем, что порядок этих изменений несколько выше для гибридов, здесь же наблюдаем и увеличение таких показателей, как общий белок, альбумины, мочевина. Стоит при этом отметить, что все изученные в работе показатели находились в границах референсных значений, характерных для клинически здоровых свиней, что соотносится с рядом работ других авторов [19, 20, 21, 22, 23]. Биохимический и АК состав крови, как косвенный показатель интенсивности обменных процессов, свидетельствует о более высоком уровне метаболизма у гибридов.

Так, лизин является первой лимитирующей кислотой для синтеза белков в организме свиней. Можно предположить, что за счёт более эффективного использования лизина, о чём свидетельствует достоверный рост содержания данной АК в динамике откорма у гибридов ландрас \times крупная белая, наблюдается закономерный рост общего белка и альбуминовой фракции у гибридных свиней. Вместе с ростом белковых показателей крови растёт содержание ряда функциональных АК. Изолейцин, лейцин, валин – улучшают качество свинины, глутаминовая кислота – вкусовые качества мяса. Другая важная роль изолейцина и лейцина, как незаменимых АК разветвлённого строения – активная роль в глюконеогенезе и синтезе ряда заменимых АК и других органических соединений, необходимых для жизнедеятельности организма. Вместе с этим наблюдается снижение количества метионина, что может быть связано с его активным расходом на синтез белков именно свободной, не связанной фракцией, данной АК. Кроме того, метионин – вторая лимитирующая кислота у свиней, обеспечивающая организм доступной серой. Цистеин, в свою очередь, служит для поддержания третичной и четвертичной структуры белков за счёт образования дисульфидных связей. Увеличение его количества в сыворотке крови свиней в динамике откорма напрямую связано с интенсификацией синтеза белка.

Заключение. При изучении биохимических показателей крови и её аминокислотного состава в период откорма 60–65 дней не установлено значимых различий между породой ландрас и их гибридами с крупной белой породой. При откорме 100–110 дней обнаружено достоверно больше метионина в третьей группе ($p = 0,036$), а валина – в четвертой группе ($p < 0,001$).

У свиней породы ландрас на 100–110-ый день откорма выше содержание отдельных аминокислот в крови в сравнении с животными данной породы на 60–65-ый день откорма. Установлено, что в 3-й группе больше серина ($p = 0,013$), валина ($p = 0,006$), аргинина ($p = 0,001$), цистеина ($p = 0,003$), аспарагиновой кислоты ($p = 0,014$), глутаминовой кислоты ($p = 0,042$), аланина ($p = 0,035$), изолейцина ($p = 0,035$) и меньше метионина ($p = 0,008$).

У гибридов ландрас \times крупная белая на 100–110-ый день откорма выше содержание валина ($p < 0,001$), аргинина ($p < 0,001$), цистеина ($p = 0,002$), аспарагиновой кислоты ($p < 0,001$),

аланина ($p < 0,001$), изолейцина ($p = 0,003$), лизина ($p = 0,001$), общего белка ($p = 0,015$), альбу-минов ($p < 0,001$), мочевины ($p = 0,008$), стало меньше содержание серина ($p < 0,001$), метионина ($p < 0,001$), глицина ($p = 0,003$), пролина ($p = 0,028$) в сравнении с гибридами на 60–65-ый день откорма.

Таким образом, при оценке влияния таких факторов, как порода и сроки откорма на изменение биохимических показателей и аминокислотного состава крови свиней большее влияние оказывают возрастные динамики, которые ярче проявлены у гибридов в сравнении с чистой породой.

Список литературы

1. Chalvon-Demersay T., Luise D., Le Floc'h N., Tesseraud S., Lambert W., Bosi P. et al. Functional amino acids in pigs and chickens: implication for gut health. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:663727. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.663727>
2. 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: <https://doi.org/10.3390/molecules27072278>
3. Brasse-Lagnel C., Lavoigne A., Husson A. Control of mammalian gene expression by amino acids, especially glutamine. *The FEBS Journal*. 2009;276(7):1826–1844. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2009.06920.x>
4. Зайцев С. Ю., Боголюбова Н. В., Молянова Г. В. Биохимический анализ крови ряда пород свиней и их гибридов. М.: Издательство «Сельскохозяйственные технологии», 2022. 256 с.
5. Неупокоева А. С., Ильяков А. В. Аминокислотный состав мяса свиней разных генотипов. Актуальные проблемы и научное обеспечение развития современного животноводства: сб. ст. по мат-лам Всеросс. (национальной) научно-практ. конф. Лесниково: Курганская ГСХА им. Т. С. Мальцева, 2019. С. 182–187. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41157709> EDN: HCOUW
6. Морозова Л. А., Миколайчик И. Н., Ильяков А. В., Ступина Е. С., Дускаев Г. К. Аминокислотный состав мышечной ткани чистопородных и гибридных свиней в условиях континентального климата России. *Аграрный вестник Урала*. 2019;(10(189)):40–46. DOI: https://doi.org/10.32417/article_5db430cb30bca8.95126056 EDN: YNOJDU
7. Zhang S., Zeng X., Ren M., Mao X., Qiao S. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review. *Journal of animal science and biotechnology*. 2017;8:10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0139-z>
8. Зайко О. А., Короткевич О. С., Петухов В. Л. Содержание макрои микроэлементов в печени свиней скороспелой мясной породы (СМ-1) и их связь с уровнем свободных аминокислот в сыворотке крови. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013;(5):51–53. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qzeyjl> EDN: QZEYJL
9. Ильяков А. В., Миколайчик И. Н., Морозова Л. А., Ступина Е. С. Метод повышения биологической полноценности мышечной и жировой ткани свиней. *Аграрный вестник Урала*. 2015;6(136):34–37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24000585> EDN: UFFIGF
10. Zhang F., Zheng W., Xue Y., Yao W. Suhuai suckling piglet hindgut microbiome-metabolome responses to different dietary copper levels. *Applied microbiology and biotechnology*. 2019;103:853–868. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9533-0>
11. Aymerich P., Tokach M. D., Dritz S. S., Gasa J., Coma J., Solà-Oriol D. Lysine requirements of finishing boars and gilts: A meta-analysis. *Animal*. 2021;15(5):100218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100218>
12. He L., Yang H., Hou Y., Li T., Fang J., Zhou X. et al. Effects of dietary L-lysine intake on the intestinal mucosa and expression of CAT genes in weaned piglets. *Amino acids*. 2013;45(2):383–391. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1514-0>
13. Ball R. O. Threonine requirement and the interaction between threonine intake and gut mucins in pigs. Symposium of the 2001 Degussa, Banff Pork Seminar. Banff, Alberta, Canada. 2001.
14. Defa L., Changting X., Shiyan Q., Jinhui Z., Johnson E. W., Thacker P. A. Effects of dietary threonine on performance, plasma parameters and immune function of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 1999;78(3-4):179–188. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00005-X)
15. Gondret F., Le Floc'h N., Batonon-Alavo D. I., Perruchot M.-H., Mercier Y., Lebret B. Flash dietary methionine supply over growth requirements in pigs: Multi-faceted effects on skeletal muscle metabolism. *Animal*. 2021;15(7):100268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100268>
16. 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: <https://doi.org/10.1017/S1751731113002425>
17. Петухова М. А. Аминокислотный состав и биологическая ценность белков мяса свиней различных генотипов. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2015;59(2):118–123. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23569420> EDN: TVUABN
18. Sorapukdee S., Narunatsopanon S. Comparative study on compositions and functional properties of porcine, chicken and duck blood. *Korean journal for food science of animal resources*. 2017;37(2):228–241. DOI: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.228>
19. Соляник С. В., Соляник В. В., Соляник А. В. Зоогигиенические и зоотехнические референтные значения морфологических, биохимических, иммунологических параметров крови и уровня естественной резистентности организма свиней. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. 2019;(22-2):248–255. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39153375> EDN: GBNKDP

20. Гусев И. В., Рыков Р. А., Боголюбова Н. В. Референтные интервалы биохимических показателей сыворотки крови у свиней. Ветеринария и кормление. 2017;6:31–33.
21. Малиновский А. В. Различия превращения гистидина у человека и других млекопитающих. Цитология. 2021;63(4):403–408. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0041377121040076> EDN: GJJAYL
22. Wadud S., Onodera R., Or-Rashid M. M. Synthesis of histidine in liver and kidney of cattle and swine. Animal Science Journal. 2001;72(3):253–256. DOI: <https://doi.org/10.2508/chikusan.72.253>
23. Пьянкова Е. В., Еримбетов К. Т., Дудин В. И. Оценка протеинового питания поросят-помесей и коррекция аминокислотного состава рациона с учётом соотношения незаменимых аминокислот в стенке кишечника. Проблемы биологии продуктивных животных. 2015;(1):84–95.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23379437> EDN: TRPXR

References

1. Chalvon-Demersay T., Luise D., Le Floc'h N., Tesseraud S., Lambert W., Bosi P. et al. Functional amino acids in pigs and chickens: implication for gut health. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:663727. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.663727>
2. 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: <https://doi.org/10.3390/molecules27072278>
3. Brasse-Lagnel C., Lavoinne A., Husson A. Control of mammalian gene expression by amino acids, especially glutamine. *The FEBS Journal*. 2009;276(7):1826–1844. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2009.06920.x>
4. Zaytsev S. Yu., Bogolyubova N. V., Molyanova G. V. Biochemical blood analysis of a number of pig breeds and their hybrids. Moscow: *Izdatel'stvo «Sel'skokho-zyaystvennye tekhnologii»*, 2022. 256 p.
5. Neupokoeva A. S., Ilyakov A. V. Amino acid composition of pig meat different genotypes. Actual problems and scientific support for the development of modern animal husbandry: collection of articles on the Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Lesnikovo: *Kurganskaya GSKhA im. T. S. Mal'tseva*, 2019. С. 182–187. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41157709>
6. Morozova L. A., Mikolaychik I. N., Ilyakov A. V., Stupina E. S., Duskaev G. K. Amino acid composition of muscle tissue pedicated and hybrid pigs under conditions continental climate of Russia. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;(10(189)):40–46. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/article_5db430cb30bca8.95126056
7. Zhang S., Zeng X., Ren M., Mao X., Qiao S. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review. *Journal of animal science and biotechnology*. 2017;8:10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0139-z>
8. Zayko O. A., Korotkevich O. S., Petukhov V. L. Macroand trace elements accumulation in pigs precocious meet breed (CM-1) liver and their correlations with amino acids' level in blood serum. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2013;(5):51–53. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qzeyjl>
9. Ilyakov A. V., Mikolaychik I. N., Morozova L. A., Stupina E. S. Method of increasing biological value of muscle and fat fever. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015;6(136):34–37. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24000585>
10. Zhang F., Zheng W., Xue Y., Yao W. Suhuai suckling piglet hindgut microbiome-metabolome responses to different dietary copper levels. *Applied microbiology and biotechnology*. 2019;103:853–868. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9533-0>
11. Aymerich P., Tokach M. D., Dritz S. S., Gasa J., Coma J., Solà-Oriol D. Lysine requirements of finishing boars and gilts: A meta-analysis. *Animal*. 2021;15(5):100218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100218>
12. He L., Yang H., Hou Y., Li T., Fang J., Zhou X. et al. Effects of dietary L-lysine intake on the intestinal mucosa and expression of CAT genes in weaned piglets. *Amino acids*. 2013;45(2):383–391. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1514-0>
13. Ball R. O. Threonine requirement and the interaction between threonine intake and gut mucins in pigs. Symposium of the 2001 Degussa, Banff Pork Seminar. Banff, Alberta, Canada. 2001.
14. Defa L., Changting X., Shiyang Q., Jinhui Z., Johnson E. W., Thacker P. A. Effects of dietary threonine on performance, plasma parameters and immune function of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 1999;78(3-4):179–188. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00005-X)
15. Gondret F., Le Floc'h N., Batonon-Alavo D. I., Perruchot M-H., Mercier Y., Lebret B. Flash dietary methionine supply over growth requirements in pigs: Multi-faceted effects on skeletal muscle metabolism. *Animal*. 2021;15(7):100268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100268>
16. 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: <https://doi.org/10.1017/S1751731113002425>
17. Petukhova M. A. Amino acid composition and biological value of proteins in the meat of different-genotype pigs. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi*. 2015;59(2):118–123. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23569420>
18. Sorapukdee S., Narunatsopanon S. Comparative study on compositions and functional properties of porcine, chicken and duck blood. *Korean journal for food science of animal resources*. 2017;37(2):228–241. DOI: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.228>

19. Solyanik S. V., Solyanik V. V., Solyanik A. V. Zoohygienic and zootechnical reference values of morphological, biochemical, and immunological parameters of blood and the level of natural resistance in pigs. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva*. 2019;(22-2):248–255. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39153375>

20. Gusev I. V., Rykov R. A., Bogolyubova N. V. Reference intervals of biochemical parameters in pigs. *Veterinariya i kormlenie*. 2017;6:31–33. (In Russ.).

21. Malinovskiy A. V. Differences of histidine conversion in human and other mammals. *Tsitologiya*. 2021;63(4):403–408. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0041377121040076>

22. Wadud S., Onodera R., Or-Rashid M. M. Synthesis of histidine in liver and kidney of cattle and swine. *Animal Science Journal*. 2001;72(3):253–256. DOI: <https://doi.org/10.2508/chikusan.72.253>

23. P'yankova E. V., Erimbetov K. T., Dudin V. I. Assessment of protein nutrition in growing pigs and construction of feed supplement with amino acid composition identical to that in the wall of small intestine. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* = Problems of Productive Animal Biology. 2015;(1):84–95. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23379437>

Сведения об авторах

Колесник Никита Сергеевич, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г.о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Сивкина Ольга Николаевна, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3831-4412>

✉ **Воронина Оксана Александровна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>, e-mail: voroninaok-senia@inbox.ru

Савина Анастасия Анатольевна, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

Зайцев Сергей Юрьевич, доктор биол. наук, доктор хим. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

Information about the authors

Nikita S. Kolesnik, junior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Olga N. Sivkina, junior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3831-4412>

✉ **Oksana A. Voronina**, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>, e-mail: voroninaok-senia@inbox.ru

Anastasia A. Savina, junior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

Sergey Yu. Zaytsev, DSc in Biological Science, DSc in Chemical Science, professor, leading researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

✉ – Для контактов / Corresponding author