

Кровь как метод оценки благополучия свиней на откорме

А. А. Зеленченкова, О. Н. Сивкина[✉], С. Ю. Зайцев

Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия

[✉]E-mail: solga8039@gmail.com

Аннотация. Интенсификация современного свиноводства требует оптимального поддержания физиологического состояния поголовья свиней. Степень интенсивности обменных процессов существенно отражается в показателях крови. Многие заболевания и состояния связаны с воспалением и окислительным стрессом, который в основном возникает из-за дисбаланса между образованием и нейтрализацией «прооксидантов». **Цель** исследования – оценка благополучия животных путем изучения показателей сыворотки и цельной крови молодняка свиней. Большое внимание уделено определению и взаимосвязи суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов (СКВА) с метаболитами крови, гематологическими и минеральными показателями крови в первый период откорма свиней. **Материалы и методы.** Цельная кровь и ее сыворотка от гибридов свиней (в первый период откорма) исследовалась на биохимическом анализаторе в ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста. **Научная новизна.** Впервые в работе измерены показатели СКВА сыворотки крови молодняка свиней, на базе которых предпринята попытка оценить антиоксидантный статус откармливаемого молодняка в сравнении с биохимическими, гематологическими и минеральными показателями крови. В **результате** исследования была выявлена взаимосвязь СКВА с альбуминами, эритроцитами, гемоглобином, железом и хлоридами. Важно подчеркнуть, что антиоксидантный статус в живом организме оценивается суммарной антиоксидантной активностью как эндогенных, так и экзогенных антиоксидантов, т. е. показатель СКВА является интегральным индикатором антиоксидантного статуса в целом. Требуются регулярные биохимические исследования крови, которые способствуют отслеживанию динамики жизнедеятельности организма, выявлению отклонений, патологических состояний, контролю эффективности лечебных и профилактирующих мероприятий.

Ключевые слова: свиньи, откорм, кровь, биохимия, гематология, антиоксидантный статус

Благодарности. Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ (проект № 20-16-00032-П), <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>

Для цитирования: Зеленченкова А. А., Сивкина О. Н., Зайцев С. Ю. Кровь как метод оценки благополучия свиней на откорме // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 422–433. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433>.

Дата поступления статьи: 28.10.2024, **дата рецензирования:** 14.01.2025, **дата принятия:** 21.02.2025.

Blood as a method of assessing the well-being of fattening pigs

A. A. Zelenchenkova, O. N. Sivkina[✉], S. Yu. Zaytsev

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst,
Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia

[✉]E-mail: solga8039@gmail.com

Abstract. Intensification of modern pig farming requires optimal maintenance of the physiological state of the pig population. The degree of intensity of metabolic processes is significantly reflected in blood parameters. Many diseases and conditions are associated with inflammation and oxidative stress, which mainly occurs due to an imbalance between the formation and neutralization of “prooxidants”. **The purpose** of the study was to assess animal welfare through the study of the parameters of serum and whole blood of young pigs. Much attention was paid to the determination and relationship of the total amount of water-soluble antioxidants (TASWA) with blood metabolites, hematological and mineral blood parameters in the first period of pig fattening. **Materials and methods.** The whole blood and its serum from hybrid pigs (in the first period of fattening) were studied at the automatic biochemical analyzer in the Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry. **Scientific novelty.** For the first time in the work, the TASWA indices of the blood serum of young pigs were measured (the average value was 16.39 ± 3.03), on the basis of which an attempt was made to evaluate the antioxidant status of fattened young pigs in comparison with the biochemical, hematological and mineral indices of the blood. **Results.** The study revealed a relationship between TASWA and albumins, erythrocytes, hemoglobin, iron and chlorides. It is important to emphasize that the antioxidant status in a living organism is assessed by the total antioxidant activity of both endogenous and exogenous antioxidants, i. e. the TASWA index is an integral indicator of the antioxidant status as a whole. Regular biochemical blood tests are required, which help to track the dynamics of the body's vital functions, identify deviations, some pathological conditions, and control the effectiveness of therapeutic and preventive measures.

Keywords: pigs, fattening, blood, biochemistry, hematology, antioxidant status

Acknowledgements. The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 20-16-00032-P), <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>

For citation: Zelenchenkova A. A., Sivkina O. N., Zaytsev S. Yu. Blood as a method of assessing the well-being of fattening pigs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 422–433. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433> (In Russ.)

Date of paper submission: 28.10.2024, **date of review:** 14.01.2025, **date of acceptance:** 21.02.2025.

Введение (Introduction)

Популяция свиней в мире оценивается в 784 млн, включая экзотических, помесных и местных свиней [1]. Спрос на свинину как важный источник животного белка и других питательных веществ, по прогнозам ФАО, возрастет в ближайшем будущем [2].

Данные Росстата показывают, что поголовье свиней на конец июля 2024 года возросло на 2,6 % по сравнению с концом июля 2023 года [3]. В. Кравченко излагает аргументированные выводы по развитию свиноводческой отрасли в РФ, основываясь на статистических и литературных данных [4]. В целом продовольственная безопасность и социальная стабильность страны в значительной степени зависят от здорового и устойчивого роста свиноводческой отрасли, но при этом продуктивность поголовья достигается лучше всего, когда животные здоровы [5].

Исследование крови предоставляет существенную информацию о физиологических аспектах оценки здоровья животных, включая состояние активации нейроэндокринной и иммунной систем, на которые оказывают влияние как острые и (или) долгосрочные последствия неблагоприятных технологических, зоогигиенических, зоотехнических показателей условий содержания, так и потенциальные заболевания и генетические предрасположенности [6]. Например, белки являются продуктами генома, которые управляют многими клеточными процессами [7]. Протеом крови представляет собой сложный состав белков, включая классические белки крови и белки, секретируемые или вытекающие из тканей, включая гормоны, цитокины, адипокины, хемокины и факторы роста, которые координируют биологические процессы, связанные со здоровьем или болезнями [8]. Таким образом, протеом крови

обеспечивает текущее состояние организма, включая здоровье [9]. Некоторые исследования свиней показали, что протеом крови изменяется в зависимости от статуса заболевания [10; 11] и что уровни некоторых белков плазмы, таких как альфа-кислые гликопротеины, генетически отрицательно коррелируют со средним суточным приростом (от $-0,72$ до $-0,53$) [12].

Определение гематологических и биохимических профилей крови дает возможность информативно оценить состояние здоровья как отдельного индивидуума, так и группы животных или всего поголовья [15]. Для каждого параметра крови есть нормы или референсы. Важно, что на интервалы норм влияет множество внешних и внутренних факторов, необязательно выходя за пределы диапазона допустимых значений указывает на патологию. Референсные значения – это средние числа результатов анализа, полученных на конкретном анализаторе и с конкретным реагентом при массовом обследовании группы здоровых животных. Эталонные интервалы включают средние 95 % данных и исключают 5 % результатов клинически здоровых животных – это 2,5 % в верхней части и 2,5 % в нижней части. Если исследуемый параметр остался без контрольного интервала из лаборатории, то в таком случае полагаются на литературные данные, если они доступны, в качестве методики для интерпретации результатов испытаний. Отметим, что опубликованные «нормальные» значения могут не соответствовать результатам, которые получают в лаборатории [13; 14]. Образцы крови минимально инвазивны и позволяют проводить последовательную выборку одних и тех же исследуемых живых объектов и обеспечивают доступ к большому количеству показателей многочисленных физиологических функций. Таким образом, они предоставляют информацию для исследования благосостояния функционирования метаболических систем живого организма [16]. У свиней многие параметры крови являются наследуемыми [17; 18].

На гематологические и биохимические параметры могут влиять многие внутривидовые переменные. К ним относятся экологические и физиологические факторы, такие как возраст, порода, пол, рацион и условия содержания, а также воздействие патогенов и стресс [19; 21].

В последнее время особое внимание уделяют оценке антиоксидантного статуса организма в целях выявления стрессовой нагрузки на животное. Известно, что, антиоксиданты – это природные или синтетические соединения, подавляющие или замедляющие окислительный процесс при относительно низких концентрациях, а также способные взаимодействовать со свободными радикалами, не нарушая целостности клеток организма. Их функции в организме: поглощать свободные радикалы, которые инициируют деградацию различных биологически активных соединений, прерывать цепную реакцию

аутоокисления и снижать локальную концентрацию O_2 в продукте. Например, высокий уровень активных форм кислорода (АФК), образующихся в мышцах, может увеличить выброс гормонов стресса в кровоток, что, в свою очередь, стимулирует высвобождение ферментов, кортизола и катехоламинов. Окисление может привести к появлению посторонних привкусов и потере питательных веществ, а также сократить срок хранения продуктов. Антиоксиданты важны для снижения окислительного стресса у животных и предотвращения появления посторонних привкусов и прогорклого запаха, изменения цвета и накопления токсичных соединений в мясе во время обработки и хранения [20]. Антиоксидантный статус оценивает суммарную антиоксидантную активность как эндогенных, так и экзогенных антиоксидантов в живом организме [22]. Установление корреляционной зависимости переменных крови с суммарной концентрацией водорастворимых антиоксидантов может способствовать выявлению и прогнозированию ответных реакций как на стресс-факторы, так и на недостаток питательных компонентов в рационе откармливаемых свиней.

Цель представленной работы заключалась в оценке благополучия животных через показатели интервальных значений гематологических и биохимических параметров крови свиней-гибридов в первом периоде откорма со значениями СКВА (суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов).

Материалы и методы исследования (Methods)

Кровь исследовали в отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста.

Объект исследования – свиньи в первый период откорма со средней живой массой 50 кг из Рязанской области. Предметом исследования служили цельная кровь и сыворотка крови от свиней в количестве 20 голов. Для биохимических исследований сыворотка однократно замораживалась при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для получения биохимических показателей из сыворотки крови использовали автоматический биохимический анализатор Erba Mannheim automatic XL-640 (Lachema s.r.o., Чехия). Определяли следующие показатели: аланин-трансаминазу (АЛТ) измеряли УФ-кинетическим методом без использования пиридоксальфосфата (ПФ) в соответствии с рекомендациями Международная федерация клинической химии (The International Federation of Clinical Chemistry, IFCC); аспаратаминотрансферазу (АСТ) измеряли УФ-кинетическим методом без использования ПФ, IFCC; щелочную фосфатазу (ЩФ) – с использованием 2-амино-2-метил-1-пропанола (АМП буфер, IFCC); общий белок – биуретовым методом; альбумин – реакцией с бромкрезоловым зеленым (БКЗ); креатинин – кинетическим методом Яффе; мочевины – кинетическим методом;

билирубин – количественным методом Walters и Gerarde; электролиты: кальций – методом APCE-НАЗО III; фосфор – реакцией с молибдатом аммония; магний – реакцией с ксилидиновым голубым.

Анализатор имеет автономное программное обеспечение MultiXL, которое используется для выполнения и просмотра результатов измерений согласно инструкции производителя.

Из гематологических показателей определяли эритроциты, лейкоциты, гемоглобин, гематокрит в цельной крови на гематологическом анализаторе ABC VET analyzer (Horiba ABZ, Франция) с использованием пакета реагентов Uni-Gem reagent kits (ReaMed, Россия).

Прибор «ЦветЯуза-01-АА» использовали для измерения содержания СКВА в сыворотке крови и применяли амперометрический метод в диапазоне от 0,2 до 4000 мкг, используя стандарт – галловую кислоту (ГлК). Величина сигнала линейно зависит от концентрации ГлК, что служит основой калибровочной кривой. Полученный сигнал отражает силу тока, которая наблюдается при окислении биологически активных молекул на электроде (потенциал рабочего электрода $U = +1,3$ В). Детали калибровки и измерения СКВА описаны в известной методической работе [23].

Обработку результатов проводили при помощи пакета статистических программ STATISTICA 10 (Statistica 13RU, StatSoft, США).

Полученные референсные значения биохимических и гематологических показателей крови от свиней сравнивались с литературными нормами, а также производилась статистическая обработка данных по всей группе животных в количестве 20 голов. Результаты представлены согласно показателям описательной статистики, приведены среднее значение (Mean) и стандартное отклонение (SD), подсчитан коэффициент вариации (Cv). Нормальность распределения переменных оценивалась с использованием графических методов и теста Шапиро – Уилка на нормальность, принимая 5 % за уровень значимости. Данные с ненормальным распределением были преобразованы с использованием метода степенной функции Бокса – Кокса. Кластерный анализ проведен иерархическим агломеративным методом со следующими параметрами: меры близости – корреляция Пирсона, правило связи – одиночная связь. Графический процесс кластеризации представлен в виде дендрограммы.

Результаты (Results)

Результаты исследований по 17 биохимическим, 4 гематологическим показателям и 1 антиоксидантному параметрам крови проанализированы во всех 20 образцах. Для характеристики получившихся данных мы использовали средние параметры, представленные в таблице 1.

Отметим, что при анализе физиолого-биохимических показателей (ФБП) у свиней, как и у других сельскохозяйственных животных, особое значение

имеет генотип, так как он может оказывать воздействие на изменчивость ФБП крови в онтогенезе, от которого во многом определяется саморегуляция животных и их жизнеспособность. [4]. На сегодняшний день имеется недостаток в обобщении данных по биохимии крови не только свиней разных пород, но и основных товарных гибридов [5]. Учитывая данный фактор, для интерпретации полученных данных в наших исследованиях мы ориентировались на справочные нормы.

Все свиньи, выделенные для отбора проб, не имели видимых внешних клинических признаков или физических отклонений по здоровью. Однако у некоторых свиней, включенных в это исследование, из биохимических параметров сыворотки крови наиболее изменчивы в выборке оказались показатели мочевины, триглицеридов, АСТ; в минеральном обмене – кальций и железо; в гематологических – лейкоциты, что может быть обусловлено как индивидуальными физиологическими особенностями, так и воздействием фактора погрешности при условии хранения и получения биобразцов. По словам Козлова В. А.: «Поскольку кровь и ее производные (сыворотка, плазма, клетки крови) являются наиболее часто используемым типом биоматериала при проведении биомедицинских исследований, изучение условий получения, хранения, размораживания крови является одним из актуальных направлений в области контроля качества биообразцов» [23].

Известно, что мочевина является основным конечным продуктом катаболизма метаболитических аминокислот и детоксикации аммиака в печени, однако концентрации азота мочевины у свиней значительно различаются [24]. Пиковая концентрация мочевины зависит от концентрации протеина в корме, уровня кормления и температуры окружающей среды [25; 26]. В исследованиях Пардо и др. [27] обнаружили, что длительный тепловой стресс может повысить уровень мочевины в плазме у иберийских свиней.

Наибольший интерес вызывает высокая изменчивость сывороточного уровня аспартатовой (АСТ) аминотрансферазы и лейкоцитов в крови у откармливаемого молодняка.

Уровень трансаминаз в сыворотке крови сильно варьируется и зависит от множества факторов, такие как пол, возраст и породная принадлежность, а также от факторов окружающей среды, таких как санитарно-гигиенические показатели, например вода, корма, животноводческие постройки. Уровень трансаминаз в сыворотке крови также подвержен суточным колебаниям. Кроме того, известно, что концентрации АЛТ и АСТ в кровотоке наследуются. Фактически исследования показали, что уровни АЛТ и АСТ в высокой степени наследуются, при этом аддитивные генетические эффекты составляют 48 % и 32 % вариации соответственно. Кроме того, результаты популяционного исследования на близнецах показали, что наследуемость АЛТ и АСТ не зависит от пола [28].

Таблица 1

Биометрические данные крови откармливаемого молодняка свиней
в первый период откорма (Mean $\pm$ SD, n = 20)

Показатели	Среднее $\pm$ SD	Cv, %
Биохимический состав сыворотки крови		
Общий белок, г/л	57,77 $\pm$ 3,28	6
Альбумин, г/л	34,23 $\pm$ 2,02	6
Глобулин, г/л	23,55 $\pm$ 3,23	14
A/G	1,49 $\pm$ 0,25	17
Мочевина, мМ/л	3,71 $\pm$ 0,97	26
Креатинин, мкМ/л	112,23 $\pm$ 11,97	11
Глюкоза, мМ/л	5,46 $\pm$ 0,86	16
Билирубин общий, мкМ/л	1,25 $\pm$ 0,23	18
Триглицериды, мМ/л	0,55 $\pm$ 0,14	27
Холестерин, мМ/л	2,77 $\pm$ 0,22	8
АЛТ, МЕ/л	50,84 $\pm$ 6,91	14
АСТ, МЕ/л	42,13 $\pm$ 16,43	39
Коэффициент де Ритиса АСТ/АЛТ	0,82 $\pm$ 0,24	29
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	440,50 $\pm$ 82,96	19
Минеральный состав сыворотки крови		
Кальций, мМ/л	2,49 $\pm$ 0,13	24
Фосфор, мМ/л	3,63 $\pm$ 0,26	7
Магний, мМ/л	0,93 $\pm$ 0,10	11
Хлориды, мМ/л	91,43 $\pm$ 2,38	3
Железо, мкМ/л	21,91 $\pm$ 6,99	32
Гематологический состав цельной крови		
Гемоглобин, г/л	120,75 $\pm$ 10,23	8
Гематокрит, %	31,16 $\pm$ 2,61	8
Лейкоциты, 10^9 л	11,54 $\pm$ 4,54	39
Эритроциты, 10^{12} л	6,56 $\pm$ 0,38	6
Антиоксиданты сыворотки крови		
Суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов (СКВА),	16,39 $\pm$ 3,03	19

Table 1

Biometric blood data of fattened young pigs in the first fattening period (Mean $\pm$ SD, n = 20)

Indicators	Mean $\pm$ SD	Cv, %
Biochemical composition of blood serum		
Total protein, g/l	57.77 $\pm$ 3.28	6
Albumin, g/l	34.23 $\pm$ 2.02	6
Globulin, g/l	23.55 $\pm$ 3.23	14
A/G	1.49 $\pm$ 0.25	17
Urea, mM/l	3.71 $\pm$ 0.97	26
Creatinine, μ mol/ l	112.23 $\pm$ 11.97	11
Glucose, mM/l	5.46 $\pm$ 0.86	16
Total bilirubin, μ mol/ l	1.25 $\pm$ 0.23	18
Triglycerides, mM/l	0.55 $\pm$ 0.14	27
Cholesterol, mM/l	2.77 $\pm$ 0.22	8
ALT, IU/L	50.84 $\pm$ 6.91	14
AST, IU/L	42.13 $\pm$ 16.43	39
The de Ritis coefficient AST/ALT	0.82 $\pm$ 0.24	29
Phosphatase, IU/L	440.50 $\pm$ 82.96	19
The mineral composition of blood serum		
Calcium, mM/l	2.49 $\pm$ 0.13	24
Phosphorus, mM/l	3.63 $\pm$ 0.26	7
Magnesium, mM/l	0.93 $\pm$ 0.10	11
Chlorides, mM/l	91.43 $\pm$ 2.38	3
Iron, μ mol/ l	21.91 $\pm$ 6.99	32
Hematological composition of whole blood		
HGB, g/l	120.75 $\pm$ 10.23	8
Hematocrit, %	31.16 $\pm$ 2.61	8
WBC, 10^9 l	11.54 $\pm$ 4.54	39
RBC, 10^{12} l	6.56 $\pm$ 0.38	6
Blood serum antioxidants		
Total amount of water-soluble antioxidants (TAWSA)	16.39 $\pm$ 3.03	19

Лейкоциты играют важную роль в защитных механизмах организма. В целом количество лейкоцитов (WBC) может относиться к инфекционным процессам, однако, по мнению некоторых авторов, транспортировка или содержание в неволе могут вызывать лейкоцитоз, связанный со стрессом [29; 30]. Широкий диапазон вариации количества лейкоцитов в нашем исследовании может быть обусловлен стрессом, вызванным процессом взятия проб.

Построение корреляционного кластерного анализа взаимосвязи антиоксидантной системы с биохимическими, гематологическими и минеральными компонентами крови выявил сближенность суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов с альбуминами, эритроцитами и гемоглобином, железом и хлоридами (рис. 1–3).

Свободные радикалы и активные формы кислорода (ROS), азота и хлора способствуют развитию нескольких возрастных заболеваний, вызывая окислительный стресс и окислительное повреждение. Окислительный стресс обычно определяется как нарушение прооксидантного и антиоксидантного баланса, приводящее к повреждению нуклеиновых кислот, белков и липидов [31].

Белок альбумин молекулярной массой 66 кДа включает в себя «585 аминокислот» [32] и обладает рядом важных функций: транспортирует ионы металлов (прежде всего кальция), различные насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, холестерин и его производные, желчные пигменты и другие биологически активные вещества. «Он является ключевым элементом в регуляции осмотического давления и распределении жидкости между

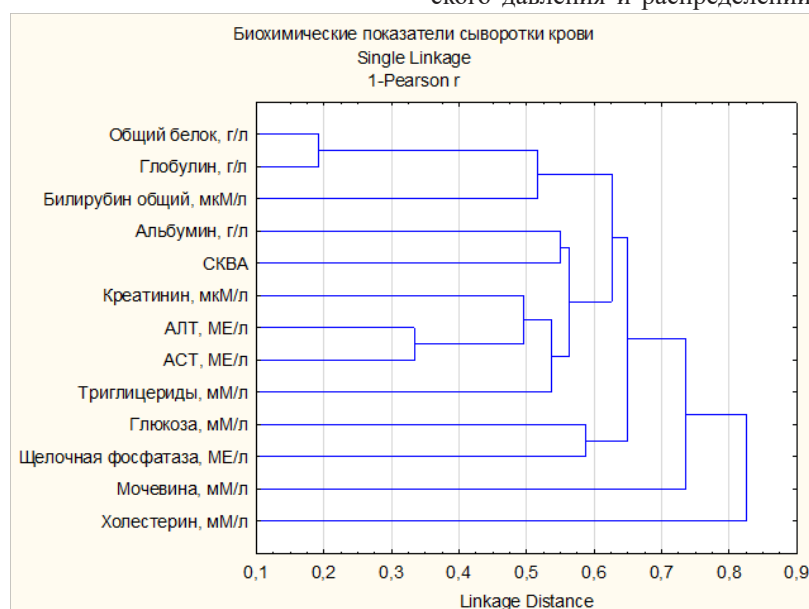


Рис. 1. Кластерный анализ биохимических показателей сыворотки крови со СКВА

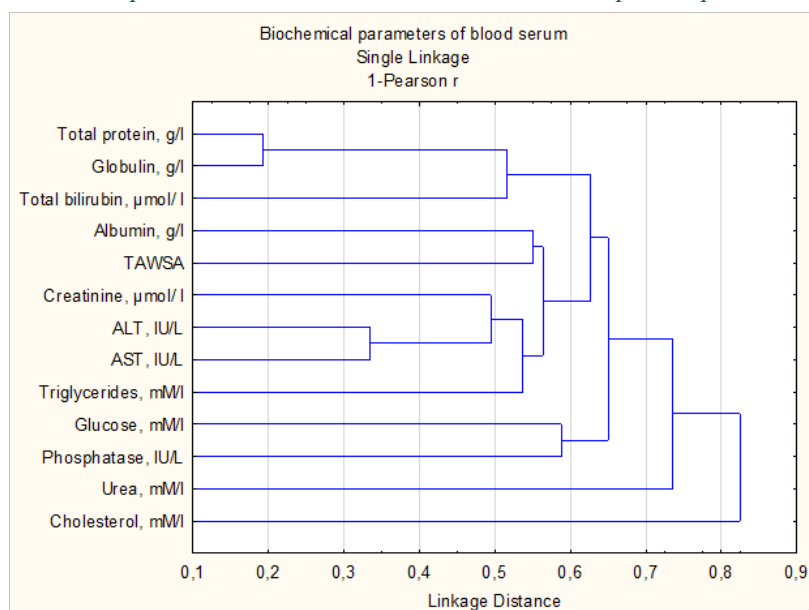


Fig. 1. Cluster analysis of biochemical parameters of blood serum, including TAWSA

различными отсеками» [32]. У здоровых животных в норме его концентрация в плазме составляет около половины от общего содержания белков и выглядит как равновесие между следующими биохимическими метаболическими процессами: синтезом и распадом его в печени, сопряженными с переносом его из гепатоцитов (после его синтеза) в кровь и в гепатоциты (из крови для его деградации). Помимо этого, альбумин обладает уникальными антиоксидантными свойствами и преобладает в плазме крови, что делает его главным антиоксидантом в жидкой ткани мезенхимной природы, которая известна тем, что «подвергается постоянному окислительному стрессу» [32]. Многочисленные исследования доказали, что «более 70 % активности сыворотки по улавливанию свободных радикалов было обусловлено альбумином сыворотки человека (HSA), что было подтверждено с помощью теста на гемолиз, вызванный свободными радикалами» [32].

Основным конечным продуктом катаболизма белка является азот мочевины, его уровень будет зависеть не только от количества получаемого сырого протеина, но и от сбалансированности аминокислот. Рацион, который содержит недостаточное количество триптофана, метионина и лизина, будет оказывать влияние на снижение количества альбуминов.

Известно, что метаболизм железа лежит в основе динамического взаимодействия между окислительным стрессом и антиоксидантами во многих патофизиологических процессах. Как дефицит железа, так и перегрузка железом могут влиять на окислительно-восстановительное состояние, эти состояния можно восстановить до физиологических состояний с помощью добавок железа и хелатирования железа соответственно.

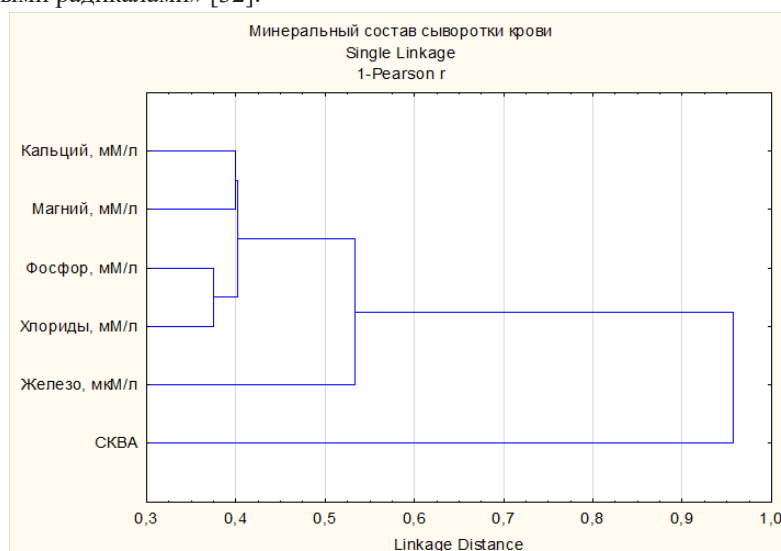


Рис. 2. Кластерный анализ минеральных компонентов сыворотки крови со СКВА

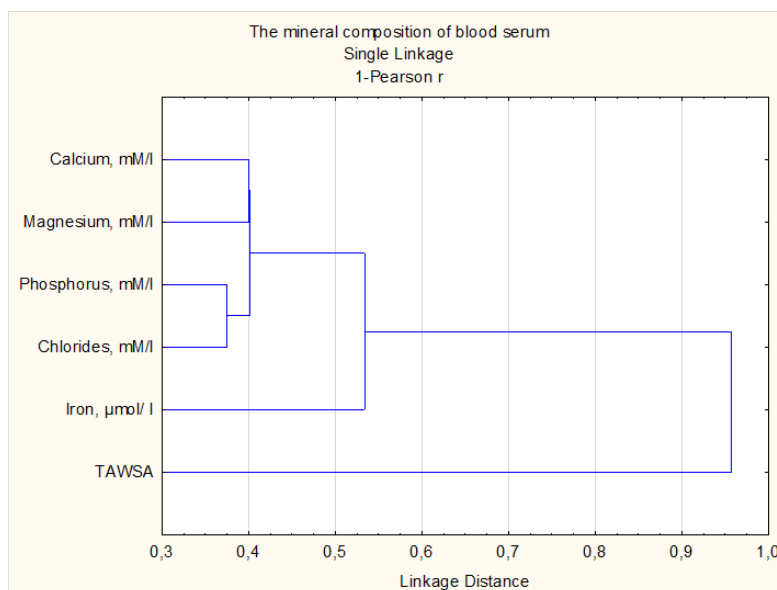


Fig. 2. Cluster analysis of mineral components of blood serum, including TAWSA

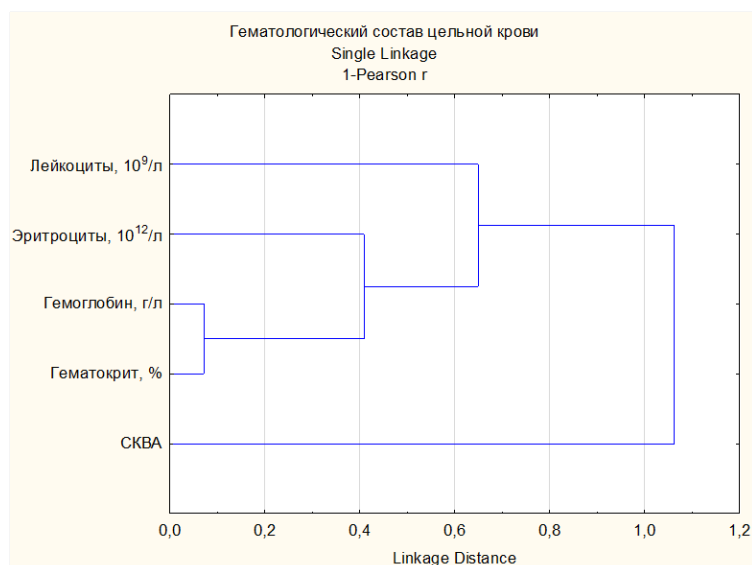


Рис. 3. Кластерный анализ гематологических показателей цельной крови со СКВА

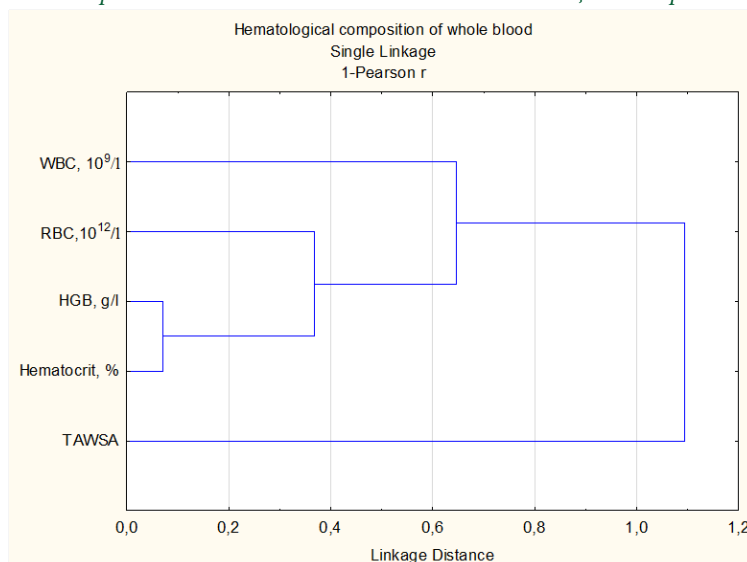


Fig. 3. Cluster analysis of hematology parameters of whole blood, including TAWSA

Эритроциты являются наиболее распространенными клетками в крови. Их основная функция – транспортировка кислорода к тканям. Чтобы выполнять свою работу, они содержат большое количество гемоглобина. Процесс связывания кислорода с железосодержащим белком гемоглобином регулируется в организме. К сожалению, гемоглобин подвержен быстрому распаду под действием супероксидных радикалов, в результате чего нарушается его транспортная и другие функции. Поэтому гемоглобину требуется защита антиоксидантами, которые должны поступать в организм свиней и других сельскохозяйственных животных с пищей. Как низкомолекулярные антиоксиданты, так и многочисленные ферментные системы, ослабляют действие «супероксидных радикалов», предупреждая существенные повреждения эритроцитов. Окислительно-восстановительный статус эритроцитов важен не только для поддержания адекватного снабжения кислородом каждой клетки ткани, но и для

поддержания здоровой системы кровообращения из-за взаимодействия эритроцитов с другими клетками крови и эндотелием сосудов [33].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

За последние три десятилетия цели свиноводства были сосредоточены в первую очередь на продуктивности, эффективности кормления, качестве туши и воспроизводстве. Однако в последние годы цель свиноводства расширилась и теперь включает в себя такие связанные со здоровьем признаки, как устойчивость к болезням, поэтому исследование крови может дать информативную оценку при диагностике заболеваний. Биохимические и гематологические параметры крови являются полезными индикаторами здоровья человека и животных [34; 35]. За последнее десятилетие обширное внимание получил процесс мониторинга активности биомаркеров окислительного стресса [36]. В клинической практике ему приписывают значительную роль, так как биомаркеры окислительного стресса эффектив-

ны в дифференцировке диагноза или синдрома и в дальнейшем будут предложены различные схемы лечения [37]. Организация ВОЗ дала определение биомаркеру: «любое вещество, структура или процесс, которые могут быть измерены в организме или его продуктах и влиять или предсказывать частоту исхода или заболевания» [32]. Биомаркер окислительного стресса для достоверности должен соответствовать следующим требованиям: 1) быть значимым для клинического мониторинга; 2) проявлять специфичность к определенным патологи-

ческим состояниям; 3) соответствовать конкретной стадии заболевания. Количественная детекция каждого биомаркера в крови животных должна иметь высокую чувствительность и большую степень воспроизводимости.

Определение суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов крови способствует выявлению окислительно-восстановительного статуса организма. Кроме того, существует взаимосвязь СКВА с содержанием альбуминов, железа, хлоридов, эритроцитов и гемоглобина.

Библиографический список

1. Yu W., Jensen J. D. Sustainability implications of rising global pork demand // *Animal Frontiers*. 2022. No. 12 (6). Pp. 56–60. DOI: 10.1093/af/vfac070.
2. Oecd F. A. O. OECD-FAO Agricultural Outlook 2022–2031. Paris: OECD Publishing, 2022. DOI: 10.1787/flb0b29c-en.
3. Ликарчук Ю. Росстат фиксирует рост поголовья свиней и птицы в сельхозорганизациях [Электронный ресурс] // *Ветеринария и жизнь*. 2024. URL: <https://vetandlife.ru/livestock/rosstat-fiksiruet-rost-pogolovya-svinej-i-pticy-v-selhozorganizacijah> (дата обращения: 23.10.2024).
4. Кравченко В. Наращивание объемов свинины не прекращается // *Животноводство России*. 2023. № 6. С. 3–5.
5. Martins J. M., Fialho R., Albuquerque A., Neves J., Freitas A., Nunes J. T. Growth, blood, carcass and meat quality traits from local pig breeds and their crosses // *Animal*. 2020. No. 14 (3). Pp. 636–647. DOI: 10.1017/S1751731119002222.
6. Андреева О. Н., Меднова В. В., Хорошилова Т. И., Жариков А. Ю. Научные основы оптимизации условий содержания сельскохозяйственных животных и птицы // *Научный журнал молодых ученых*. 2020. № 3 (20). С. 23–32.
7. Lesk A. M. Introduction to protein architecture: the structural biology of proteins. Oxford: Oxford University Press, 2001. 347 p.
8. Lin H., Lee E., et al. Discovery of a cytokine and its receptor by functional screening of the extracellular proteome // *Science*. 2008. No. 320. Pp. 807–811. DOI: 10.1126/science.1154370.
9. Anderson N. L., Polanski M., et al. The human plasma proteome: a nonredundant list developed by combination of four separate sources // *Molecular & Cellular Proteomics*. 2004. №3. Pp. 311–326. DOI: 10.1074/mcp.M300127-MCP200.
10. Te Pas M. F., Koopmans S. J., et al. Plasma proteome profiles associated with diet-induced metabolic syndrome and the early onset of metabolic syndrome in a pig model // *PLoS One*. 2013. No. 8. Article number e73087. DOI: 10.1371/journal.pone.0073087.
11. Muk T., et al. Rapid proteome changes in plasma and cerebrospinal fluid following bacterial infection in preterm newborn pigs // *Frontiers in Immunology*. 2019. No. 10. Article number 2651. DOI: 10.3389/fimmu.2019.02651.
12. Clapperton M., et al. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: heritability and associations with performance under different health status conditions // *Genetics Selection Evolution*. 2009. No. 41. Article number 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
13. Демидович А. П. Диагностическое значение биохимических показателей крови (белковый, углеводный, липидный обмен). Витебск: ВГАВМ, 2019. 36 с.
14. Мирошников М. В. Установление референтных интервалов биохимических и гематологических показателей некоторых лабораторных животных в доклинических исследованиях [Электронный ресурс] // GLP-PLANET: материалы VI конференции. Санкт-Петербург, 2022. URL: <https://glp-planet.com/wp-content/uploads/2022/07/miroshnikov-mv.pdf> (дата обращения: 18.03.2025).
15. Græsli A. R., et al. Haematological and biochemical reference intervals for free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) in Sweden // *BMC Veterinary Research*. 2014. No. 10. Article number 183. DOI: 10.1186/s12917-014-0183-x.
16. Perri A. M., O'Sullivan T. L., Harding J. C. S., Wood R. D., Friendship R. M. Hematology and biochemistry reference intervals for Ontario commercial nursing pigs close to the time of weaning // *The Canadian Veterinary Journal*. 2017. No. 58 (4). Pp. 371–376.
17. Montoro J. C., Solà-Oriol D., Muns R. Blood and faecal biomarkers to assess dietary energy, protein and amino acid efficiency of utilization by growing and finishing pigs // *Porcine Health Management*. 2022. No. 8. Article number 32. DOI: 10.1186/s40813-022-00273-y.

18. Clapperton M., Diack A. B., et al. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: Heritability and associations with performance under different health status conditions // *Genetics Selection Evolution*. 2009. No. 41. Article number 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
19. Flori L., Gao Y., Laloë D. et al. Immunity traits in pigs: Substantial genetic variation and limited covariation // *PLoS ONE*. 2011. No. 6. Article number e22717. DOI: 10.1371/journal.pone.0022717.
20. Evans R. J. Porcine haematology: Reference ranges and the clinical value of the haematological examination in the pig // *Pig Journal*. 1994. No. 32. Pp. 52–57.
21. Abeyrathne E. D. N. S., et al. Plant-and animal-based antioxidants' structure, efficacy, mechanisms, and applications: A review // *Antioxidants*. 2022. No. 11 (5). Article number 1025. DOI: 10.3390/antiox11051025.
22. Friendship R., Lumsden J. H., McMillan I., Wilson M. R. Hematology and biochemistry reference values for Ontario swine // *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 1984. No. 48. Pp. 390–393.
23. Яшин А. Я. Методология определения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей // *Аналитика*. 2021. № 11 (5). С. 370–371.
24. Whang K. Y., Easter R. A. Blood urea nitrogen as an index of feed efficiency and lean growth potential in growing-finishing swine // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2000. No. 13. Pp. 811–816. DOI: 10.5713/ajas.2000.811.
25. Berschauer F., Close W. H., Stephens D. B. The influence of protein: energy value of the ration and level of feed intake on the energy and nitrogen metabolism of the growing pig: 2. N metabolism at two environmental temperatures // *British Journal of Nutrition*. 1983. No. 49. Pp. 271–283. DOI: 10.1079/bjn19830033.
26. Zervas S., Zijlstra R. T. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and post-prandial plasma urea profiles in grower pigs // *Journal of Animal Science*. 2002. No. 80. Pp. 3238–3246. DOI: 10.2527/2002.80123238x.
27. Pardo Z., Seiquer I., et al. Exposure of growing Iberian pigs to heat stress and effects of dietary betaine and zinc on heat tolerance // *Journal of Thermal Biology*. 2022. No. 106. Article number 103230. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2022.103230.
28. Козлова В. А., Метельская В. А., Покровская М. С., Ефимова И. А., Литинская О. А., Куценко В. А., Яровая Е. Б., Шальнова С. А., Драпкина О. М. Изучение стабильности биохимических маркеров при непрерывном длительном хранении сыворотки крови и при однократном размораживании // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2020. № 19(6). С. 149–157.
29. Dubreuil P., Lapierre H. Biochemistry reference values for Quebec lactating dairy cows, nursing sows, growing pigs and calves // *Canadian Journal of Veterinary Research*. 1997. No. 61. Pp. 235–239.
30. Casas-Diaz E., Closa-Sebastia F., et al. Hematologic and biochemical reference intervals for wild boar (*Sus scrofa*) captured by cage trap // *Veterinary Clinical Pathology*. 2015. No. 44. Pp. 215–222. DOI: 10.1111/vcp.12250.
31. Sookoian S., Pirola C. J. Liver enzymes, metabolomics and genome-wide association studies: from systems biology to the personalized medicine // *World Journal of Gastroenterology*. 2015. No. 21 (3). Pp. 711–725. DOI: 10.3748/wjg.v21.i3.711.
32. Sies H. Oxidative stress: from basic research to clinical application // *American Journal of Medicine*. 1991. No. 91. Pp. 31–38.
33. Roche M., Rondeau P., Singh N. R., et al. The antioxidant properties of serum albumin // *FEBS Letters*. 2008. No. 582 (13). Pp. 1783–1787.
34. Möller M. N., Orrico F., Villar S. F., et al. Oxidants and Antioxidants in the Redox Biochemistry of Human Red Blood Cells // *ACS Omega*. 2023. No. 8 (1). Pp. 147–168. DOI: 10.1021/acsomega.2c06768.
35. Chen Y., et al. Plasma protein levels of young healthy pigs as indicators of disease resilience // *Journal of Animal Science*. 2023. No. 101. Article number sd014. DOI: 10.1093/jas/skad014.
36. Didkowska A., et al. Determination of hematological and biochemical values blood parameters for European bison (*Bison bonasus*) // *PLoS One*. 2024. No. 19 (5). Article number e0303457. DOI: 10.1371/journal.pone.0303457.
37. Dalle-Donne I., Rossi R., Colombo R., Giustarini D., Milzani A. Biomarkers of oxidative damage in human disease // *Clinical Chemistry*. 2006. No. 52. Pp. 601–623. DOI: 10.1373/clinchem.2005.061408.

Об авторах:

Алена Анатольевна Зеленченкова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0001-8862-3648, AuthorID 850103. E-mail: aly4383@mail.ru

Ольга Николаевна Сивкина, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика

Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0009-0009-3831-4412, AuthorID 1219960.
E-mail: solga8039@gmail.com

Сергей Юрьевич Зайцев, доктор биологических наук, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, руководитель группы аналитической биохимии отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0003-1533-8680, AuthorID 42976.
E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru

References

1. Yu W., Jensen J. D. Sustainability implications of rising global pork demand. *Animal Frontiers*. 2022; 12 (6): 56–60. DOI: 10.1093/af/vfac070.
2. Oecd F. A. O. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022–2031*. Paris: OECD Publishing. 2022. DOI: 10.1787/flb0b29c-en.
3. Likarchuk Yu. Rosstat records an increase in the number of pigs and poultry in agricultural organizations *Veterinary medicine and life* [Internet]. 2024 [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://vetandlife.ru/livestock/rosstat-fiksiruet-rost-pogolovya-svinej-i-pticy-v-selhozorganizacijah>. (In Russ.)
4. Kravchenko V. The increase in pork volumes does not stop. *Animal Husbandry of Russia*. 2023; 6: 3–5. (In Russ.)
5. Martins J. M., Fialho R., Albuquerque A., Neves J., Freitas A., Nunes J. T. Growth, blood, carcass and meat quality traits from local pig breeds and their crosses. *Animal*. 2020; 14 (3): 636–647. DOI: 10.1017/S1751731119002222.
6. Andreeva O. N., Mednova V. V., Khoroshilova T. I., Zharikov A. Yu. Scientific bases of optimization of conditions for keeping farm animals and poultry. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2020; 3 (20): 23–32. (In Russ.)
7. Lesk A. M. *Introduction to protein architecture: the structural biology of proteins*. Oxford: Oxford University Press, 2001. 347 p.
8. Lin H., Lee E., et al. Discovery of a cytokine and its receptor by functional screening of the extracellular proteome. *Science*. 2008; 320: 807–811. DOI: 10.1126/science.1154370.
9. Anderson N. L., Polanski M., et al. The human plasma proteome: a nonredundant list developed by combination of four separate sources. *Molecular & Cellular Proteomics*. 2004; 3: 311–326. DOI: 10.1074/mcp.M300127-MCP200.
10. Te Pas M. F., Koopmans S. J., et al. Plasma proteome profiles associated with diet-induced metabolic syndrome and the early onset of metabolic syndrome in a pig model. *PLoS One*. 2013; 8: e73087. DOI: 10.1371/journal.pone.0073087.
11. Muk T., et al. *Rapid proteome changes in plasma and cerebrospinal fluid following bacterial infection in preterm newborn pigs*. *Frontiers in Immunology*. 2019; 10: 2651. DOI: 10.3389/fimmu.2019.02651.
12. Clapperton M., et al. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: heritability and associations with performance under different health status conditions. *Genetics Selection Evolution*. 2009; 41: 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
13. Demidovich A. P. *Diagnostic value of blood biochemical parameters (protein, carbohydrate, lipid metabolism)*. Vitebsk: VGAVM, 2019. 36 p. (In Russ.)
14. Miroshnikov M. V. Establishment of reference intervals of biochemical and hematological parameters of some laboratory animals in preclinical studies. *GLP-PLANET: proceedings of the VI conference* [Internet]. Saint Petersburg, 2022 [cited 2022]; 2. Available from: <https://glp-planet.com/wp-content/uploads/2022/07/miroshnikov-mv.pdf>. (In Russ.)
15. Græsli A. R., et al. Haematological and biochemical reference intervals for free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) in Sweden. *BMC Veterinary Research*. 2014; 10: 183. DOI: 10.1186/s12917-014-0183-x.
16. Perri A. M., O'Sullivan T. L., Harding J. C. S., Wood R. D., Friendship R. M. Hematology and biochemistry reference intervals for Ontario commercial nursing pigs close to the time of weaning. *The Canadian Veterinary Journal*. 2017; 58 (4): 371–376.
17. Montoro J. C., Solà-Oriol D., Muns R. Blood and faecal biomarkers to assess dietary energy, protein and amino acid efficiency of utilization by growing and finishing pigs. *Porcine Health Management*. 2022; 8: 32. DOI: 10.1186/s40813-022-00273-y.
18. Clapperton M., Diack A. B., Matika O., Glass E. J., Gladney C. D., Mellencamp M. A., Hoste A., Bishop S. C. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: Heritability and associations with performance under different health status conditions. *Genetics Selection Evolution*. 2009; 41: 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
19. Flori L., Gao Y., Laloë D., Lemonnier G., Leplat J.J., Teillaud A., Cossalter A. M., Laffitte J., Pinton P., de Vaureix C., et al. Immunity traits in pigs: Substantial genetic variation and limited covariation. *PLoS ONE*. 2011; 6: e22717. DOI: 10.1371/journal.pone.0022717.

20. Evans R. J. Porcine haematology: Reference ranges and the clinical value of the haematological examination in the pig. *Pig Journal*. 1994; 32: 52–57.
21. Abeyrathne E. D. N. S., et al. Plant-and animal-based antioxidants' structure, efficacy, mechanisms, and applications: A review. *Antioxidants*. 2022; 11 (5): 1025. DOI: 10.3390/antiox11051025.
22. Friendship R., Lumsden J. H., McMillan I., Wilson M. R. Hematology and biochemistry reference values for Ontario swine. *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 1984; 48: 390–393.
23. Yashin A. Ya. Methodology for determining the antioxidant activity of food products and biological fluids. *Analytics*. 2021; 11 (5): 370–371. DOI: 10.22184/2227-572X.2021.11.5.370.384. (In Russ.)
24. Whang K. Y., Easter R. A. Blood urea nitrogen as an index of feed efficiency and lean growth potential in growing-finishing swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2000; 13: 811–816. DOI: 10.5713/ajas.2000.811.
25. Berschauer F., Close W. H., Stephens D. B. The influence of protein: energy value of the ration and level of feed intake on the energy and nitrogen metabolism of the growing pig: 2. N metabolism at two environmental temperatures. *British Journal of Nutrition*. 1983; 49: 271–283. DOI: 10.1079/bjn19830033.
26. Zervas S., Zijlstra R. T. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *Journal of Animal Science*. 2002; 80: 3238–3246. DOI: 10.2527/2002.80123238x.
27. Pardo Z., Seiquer I., et al. Exposure of growing Iberian pigs to heat stress and effects of dietary betaine and zinc on heat tolerance. *Journal of Thermal Biology*. 2022; 106: 103230. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2022.103230.
28. Kozlova V. A., Metelskaya V. A., Pokrovskaya M. S., Efimova I. A., Litinskaya O. A., Kutsenko V. A., Yarovaya E. B., Shalnova S. A., Drapkina O. M. Studying the stability of biochemical markers during continuous long-term storage of blood serum and with single defrosting. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2020; 19 (6): 149–157. DOI: 10.15829/1728-8800-2020-2736. (In Russ.)
29. Dubreuil P., Lapierre H. Biochemistry reference values for Quebec lactating dairy cows, nursing sows, growing pigs and calves. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 1997; 61: 235–239.
30. Casas-Diaz E., Closa-Sebastia F., et al. Hematologic and biochemical reference intervals for wild boar (*Sus scrofa*) captured by cage trap. *Veterinary Clinical Pathology*. 2015; 44: 215–222. DOI: 10.1111/vcp.12250.
31. Sookoian S., Pirola C. J. Liver enzymes, metabolomics and genome-wide association studies: from systems biology to the personalized medicine. *World Journal of Gastroenterology*. 2015; 21 (3): 711–725. DOI: 10.3748/wjg.v21.i3.711.
32. Sies H. Oxidative stress: from basic research to clinical application. *American Journal of Medicine*. 1991; 91: 31–38. DOI: 10.1016/0002-9343(91)90281-2.
- Roche M., Rondeau P., Singh N. R., et al. The antioxidant properties of serum albumin. *FEBS Letters*. 2008; 582 (13): 1783–1787. DOI: 10.1016/j.febslet.2008.04.057.
- Möller M. N., Orrico F., Villar S. F., et al. Oxidants and Antioxidants in the Redox Biochemistry of Human Red Blood Cells. *ACS Omega*. 2023; 8 (1): 147–168. DOI: 10.1021/acsomega.2c06768
- Chen Y., et al. Plasma protein levels of young healthy pigs as indicators of disease resilience. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: sd014. DOI: 10.1093/jas/skad014.
- Didkowska A., et al. Determination of hematological and biochemical values blood parameters for European bison (*Bison bonasus*). *PLoS One*. 2024; 19 (5): e0303457. DOI: 10.1371/journal.pone.0303457.
- Dalle-Donne I., Rossi R., Colombo R., Giustarini D., Milzani A. Biomarkers of oxidative damage in human disease. *Clinical Chemistry*. 2006; 52: 601–623. DOI: 10.1373/clinchem.2005.061408.

Authors' information:

Alena A. Zelenchenkova, candidate of agricultural sciences, senior researcher, head of the laboratory of fundamental principles of nutrition of agricultural animals and fish, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia;

ORCID 0000-0001-8862-3648, AuthorID 850103. E-mail: aly4383@mail.ru

Olga N. Sivkina, junior researcher at the department of physiology and biochemistry of agricultural animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0009-0009-3831-4412, AuthorID 1219960. E-mail: solga8039@gmail.com

Sergey Yu. Zaitsev, doctor of biological sciences, doctor of chemical sciences, professor, leading researcher, head of the analytical biochemistry group of the department of physiology and biochemistry of agricultural animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Russia;

ORCID 0000-0003-1533-8680, AuthorID 42976. E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru