

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-6-966

УДК 636.084.73



Научная статья

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ДКВЕС НА ПОКАЗАТЕЛИ АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСА У СВИНЕЙ НА ОТКОРМЕ

*К.С. Остренко, Р.В. Некрасов, М.Г. Чабаев, И.В. Кутьин,
Н.В. Боголюбова, Н.С. Колесник*

Мировое потребление свинины неуклонно растет, растущий спрос на свинину удовлетворяется за счет увеличения как поголовья свиней, так и их убойного веса. Однако производство свинины сталкивается с негативными факторами, приводящие к развитию окислительного стресса, что не позволяет полностью реализовать генетический потенциал пород. Особое внимание обращено на послеотъемный период у свиней, когда они подвергаются многочисленным стрессам, при низкой адаптационной способности. Это важный период в выращивании свиней, так как он часто сопровождается временным низким потреблением корма, плохим ростом, дисбактериозом кишечника и диареей после отъема. Эти факторы представляют угрозу для здоровья и благополучия животных, повышая риск смертности, приводят к значительным экономическим потерям. В течение многих лет проблема окислительного стресса решалась путем использования оксида цинка в рационе поросят-отъемышей. Применение природных (естественных) антиоксидантных добавок к рациону свиней становится все более актуальным приемом в практике свиноводства. К естественным (природным) антиоксидантам относят аскорбиновую кислоту (витамин С), токоферол (витамин Е) и дигидрокверцетин. Цель наших исследований заключалась в создании и апробации кормового комплекса с аддитивными свойствами антиоксидантов и витаминов. Нами был разработан новый кормовой комплекс дигидрокверцетина (ДКВ) с витаминами Е и С (ДКВЕС), который скармливали боровкам в дозировке 0,025% от основного рациона на протяжении всего периода откорма. В ходе проведенных исследований было установлено, что концентрация восстановленного глутатиона (GSH) в сыворотке крови подопытных животных в конце исследования оставалась достоверно выше

($p < 0,1$) - на 12,5% относительно показателей в контрольной группе. Также наблюдалась динамика снижения концентрации окисленного глутатиона (GSS) у животных опытной группы, и достоверное повышение ($p < 0,05$) соотношения восстановленного и окисленного глутатиона (GSH/GSS) на 45,9%. Концентрация малонового диальдегида (MDA) была достоверно ниже ($P < 0,05$) на 33,6% относительно показателей в контрольной группе, а уровень активность супероксиддисмутазы (SOD) была соответственно выше на 48,2% в предубойный период ($p < 0,1$) у свиней опытной группы. Основным эффектом от скармливания ДКВЕС в составе комбикормов проявлялся в улучшении среднесуточного прироста живой массы (ССП ЖМ), в т.ч. в начале опыта, 1-я неделя ($p < 0,10$), и в первый период откорма (5-8-я неделя, $p = 0,09$; 8-я неделя, $p < 0,05$). Данные показатели свидетельствуют об эффективном действии антиоксидантов и способствуют повышению реактивности организма и стрессоустойчивости, что повышает показатели продуктивности.

Ключевые слова: свиньи; дигидрокверцетин; витамин Е; витамин С; окислительный стресс; глутатион; малоновый диальдегид; прирост; продуктивность

Для цитирования. Остренко К.С., Некрасов Р.В., Чабаяев М.Г., Кутын И.В., Боголюбова Н.В., Колесник Н.С. Влияние кормовой добавки ДКВЕС на показатели антиоксидантного статуса у свиней на откорме // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №6. С. 222-245. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-6-966

Original article

EFFECT OF FEED ADDITIVE DHQEC ON INDICATORS OF ANTIOXIDANT STATUS IN FATTENING PIGS

**K.S. Ostrenko, R.V. Nekrasov, M.G. Chabaev, I.V. Kutin,
N.V. Bogolyubova, N.S. Kolesnik**

World consumption of pork is steadily increasing, with the growing demand for pork being met by increasing both the number of pigs and their slaughter weight. However, pork production faces negative factors leading to the development of oxidative stress, which does not allow the genetic potential of the breeds to be fully realised. Particular attention is paid to the post-weaning period in pigs, when they are exposed to numerous stresses, with low adaptive capacity. This

is an important period in pig rearing as it is often accompanied by temporary low feed intake, poor growth, intestinal dysbiosis and diarrhoea after weaning. These factors pose a threat to animal health and welfare, increasing the risk of mortality and leading to significant economic losses. For many years the problem of oxidative stress has been solved by the use of zinc oxide in the diets of weaned piglets. The use of natural antioxidant additives in pig diets is becoming more and more relevant in pig breeding practice. Natural antioxidants include ascorbic acid (vitamin C), tocopherol (vitamin E) and dihydroquercetin. The aim of our research was to create and test a feed complex with the additive properties of antioxidants and vitamins. We developed a new feed complex of Dihydroquercetin (DHQ) with vitamins E and C (DHQEC), which was fed to boars at a dose of 0.025% of the basic diet during the whole period of fattening. The concentration of reduced glutathione (GSH) in the blood serum of experimental animals was found to be significantly higher ($p < 0.1$) by 12.5% at the end of the study compared with the control group. There was also a dynamics of oxidized glutathione concentration (GSS) decrease in experimental group animals, as well as a significant increase ($p < 0.05$) of reduced to oxidized glutathione (GSH/GSS) ratio by 45.9%. The concentration of malonic dialdehyde (MDA) was reliably lower ($P < 0.05$) by 33.6% in comparison with the control group, while the level of superoxide dismutase (SOD) activity was 48.2% higher in the period before slaughter ($p < 0,1$) in experimental group. The main effect of feeding DHQEC in mixed fodders was evident in the improvement of average daily live weight gain (ADG), including at the beginning of the experiment, the 1st week ($p < 0.10$), and in the first period of fattening (5-8 weeks, $p = 0.09$; 8 weeks, $p < 0.05$). These indices testify to effective action of antioxidants and promote reactivity of organism and stress resistance, which raises the indices of productivity.

Keywords: pigs; dihydroquercetin; vitamin E; vitamin C; oxidative stress; glutathione; malondial-dehyde; gain; productivity

For citation. Ostrenko K.S., Nekrasov R.V., Chabaev M.G., Kutin I.V., Bogolyubova N.V., Kolesnik N.S. Effect of Feed Additive DHQEC on Indicators of Antioxidant Status in Fattening Pigs. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 6, pp. 222-245. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-6-966

Введение

В современных системах свиноводства подобраны оптимальные условия выращивания и сбалансированный рацион, отвечающий потребностям животных в питательных веществах на каждой стадии роста, необходимые для полного раскрытия их генетического потенциала. Особое внимание

обращено на послеотъемный период у свиней, когда они подвергаются многочисленным стрессам, при низкой адаптационной способности. Это важный период в выращивании свиней, так как он часто сопровождается временным низким потреблением корма, плохим ростом, дисбактериозом кишечника и диареей после отъема, и представляет угрозу для здоровья и благополучия животных, повышая риск смертности, что приводит к значительным экономическим потерям [22, 25]. Не менее важными периодами являются периоды дорастивания и откорма, когда стресс-факторы различной этиологии также приводят к снижению эффективности.

Кроме того, воздействие стрессоров в условиях интенсивного производства может нарушать окислительно-восстановительный баланс и индуцировать образование активных форм кислорода (АФК). Это приводит к окислительному стрессу, что влечет за собой нарушения в обмене веществ и приводит к развитию субпатологических и патологических состояний. По этой причине ингредиенты и добавки, используемые для приготовления корма после отъема и в период роста, чрезвычайно важны. Они должны быть легкоусвояемыми, поддерживать минимально возможный рН в желудочно-кишечном тракте, а также препятствовать размножению условно-патогенных бактерий, вызывающих диарею у поросят. В течение многих лет проблема окислительного стресса решалась путем использования оксида цинка в рационе поросят-отъемышей. Применение антиоксидантных добавок к рациону свиней становится все более актуальным приемом в практике свиноводства. Применение антиоксидантов в свиноводстве с каждым годом доказывает свою эффективность и значимость, становится стандартным приемом в технологии выращивания и откорма молодняка свиней.

К естественным (природным) антиоксидантам относят аскорбиновую кислоту (витамин С) и токоферол (витамин Е). В экспериментах по кормлению поросят на откорме рядом авторов наблюдалось падение концентрации витамина Е в плазме поросят в первые недели после отъема [6, 9, 16]. Поскольку было показано, что статус витамина Е влияет на иммунологические функции и устойчивость к болезням у свиней [23, 26], установленный факт его снижения является индикатором для включения в рационы дополнительного количества антиоксидантов. Падение витамина Е связывают так же с низкой активностью ферментов карбоксиэфиргидролазы в кишечнике поросят-отъемышей [10]. Поскольку эти ферменты расщепляют форму dl- α -токоферилацетата витамина, используемого в стандартных коммерческих кормах,

рекомендуется использовать специальные добавки для поросят-отъемышей, содержащие неэтерифицированный d- α -токоферол [22]. Другие авторы пришли к выводу, что адекватные уровни витамина E в плазме у поросят-отъемышей могут быть достигнуты при достаточном количестве dl- α -токоферилацетата в корме [17, 28]. Карбоксиэфиргидролазы относятся к классу гидролаз и проявляют активность при наличии неизменённых сульфгидрильных SH – групп, если таковые занимают определённое положение в полипептидной цепи [1]. Основным кофактором данного фермента выступает глутатион. Глутатион – внутриклеточный трипептид. Содержит глутамат, цистеин и глицин (γ -глутамилцистеинилглицин). Существует три пула глутатиона: восстановленный (GSH – 98%), окисленный (GSSG) и конъюгаты с многими экзо- и эндогенными соединениями [13]. Уровень восстановленного глутатиона (GSH) в клетке изменяется под влиянием: скорости биосинтеза и выведения; соединений, нарушающих окислительно-восстановительный статус; гормонов, особенностей питания, стресса, циркадных ритмов, беременности, физической активности [11, 14]. GSH является многофункциональной молекулой. Основная его роль – антиоксидантная защита клеток. Кроме участия в качестве кофактора глутатионпероксидазы, сам по себе GSH способен неферментативно защищать клетки от свободных радикалов, являясь их ловушкой, благодаря наличию тиоловой группы. Важнейшим маркером мощности антиоксидантной защиты является величина коэффициента соотношения GSH/GSSG [21]. Его снижение нарушает сигнальную трансдукцию в клетку, экспрессию генов, клеточную пролиферацию и дифференцировку, метаболизм и жизнедеятельность клетки [15, 19]. Помимо этого, GSH является донором внутриклеточного водорода, регулирует синтез оксида азота и выполняет роль тиолового буфера для многих внутриклеточных белков (металлотионеины, тиоредоксины); является кофактором различных ферментов в том числе карбоксиэфиргидролазы; способствуют восстановлению функций других антиоксидантов (токоферолы, аскорбат) [20, 21]. Таким образом, существует устойчивая взаимосвязь между уровнем токоферолов, аскорбата, дигидрохверцетина и антиоксидантным статусом организма животных.

Применение добавок с высокой антиоксидантной активностью можно отнести к специализированным кормам, необходимым для нивелирования различных нарушений и профилактики развития, окислительных и хронических стрессов, позволяющим сохранять здоровья животным и получать высококачественную продукцию.

Цель исследования заключалась в изучении биологических и продуктивных свойств нового разработанного комплекса, включающего антиоксидант дигидрохверцитин и витамины (ДКВЕС) в рационах свиней на откорме.

Материалы и методы

Научно-хозяйственный опыт проведен в условиях физиологического двора ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, общий план опыта и условия проведения эксперимента представлены в табл.1.

Таблица 1.

Схема исследования

Группа	Количество голов	Рацион	Кормление ДКВЕС, дней
Контрольная группа (С)	15	ОР	-
Опытная группа (Е)	15	ОР+комплекс адаптогенов-антиоксидантов (ДКВЕС)* В дозировке 0,025% в составе корма	Постоянно на протяжении 1-17 недели опытного периода. Возраст свиней 60-180 дней

Животные содержались в стандартных условиях физиологического двора. Температурный режим варьировал в пределах от 14,0 до 32,0°C (в станках до 33,0°C), относительная влажность воздуха - от 60 до 85%. Из общей группы помесных боровков (F-2:(КБхЛ)хД) в предварительный период исследований было отобрано 30 животных-аналогов по 15 голов в каждую группу: 1-ю контрольную (С) и 2-ю опытную (Е). Животные опытной группы дополнительно к стандартному рациону получали кормовую добавку - комплекс дигидрохверцетина (ДКВ) с витаминами Е и С (ДКВЕС). Комбинирование ДКВ с витаминами (С и Е) должно обладать потенцирующим действием и усилить механизм антиоксидантной защиты. Была создана композиция ДКВЕС (на основе зарегистрированных компонентов в РФ), включающая ДКВ (Экостимул-2, АО Аметис, № ПВР-2-9.9/02502), витамин Е (ИННОВИТ Е60, ГК «МЕГАМИКС»), витамин С (Тайгер С 35, AnhuiTigerBiotechCo. Ltd., ПВИ-2-2.15/04504.). Кормление животных осуществлялось по нормам ВИЖа (Под ред. Р.В. Некрасова и др., 2018).

Для оценки клинико-физиологического и метаболического статуса организма в конце периода дорастивания, а также при переводе на заключительный откорм и перед убоем у животных были отобраны образцы крови из яремной вены (не менее $n=5$) утром до кормления, предназначенных для определения концентрации восстановленного (SH) и окисленного (SS) глутатиона, малонового диальдегида (МД), супероксиддисмутазы (СОД), ферментов креатинкиназы и альдолазы.

Антиоксидантный статус крови был определен на основании следующих показателей: содержание ТБК-активных продуктов (ТБК - тиобарбитуровая кислота) с помощью биохимического набора – «Агат-Мед», общее содержание водорастворимых антиоксидантов в крови на приборе Цвет-Яуза-01-АА - амперметрическим методом. Общий антиоксидантный статус (ОАК) определяли с использованием коммерческого набора Elabscience (E-BC-K219-M).

Исследование проведено с использованием набора ветеринарных диагностических реагентов для определения концентрации креатинкиназы в крови животных ДиаВет Тест (АО Диакон-ДС, Россия) на автоматическом биохимическом анализаторе ERBA 100XL (Чехия).

Исследование проведено с использованием набора по кинетическому определению альдолазы в сыворотке крови компании Sentinel (Италия), измерение производили на спектрофотометре СПЕКС 705 («Спектроскопические системы», Россия).

Концентрацию глутатиона в образцах измеряли спектрофотометрическим методом (Smithetal., 1984) с модификацией для окисленного глутатиона (Behr, 1997) на спектрофотометре СПЕКС 705 («Спектроскопические системы», Россия).

Концентрацию малонового диальдегида и активность супероксиддисмутазы определяли с помощью набор реагентов для количественного определения активности супероксиддисмутазы (Cayman, США) и малонового диальдегида (HumanMalondialdehyde ELISA kit, США) в микропланшетном формате, на анализаторе иммуноферментных реакций АИФР-01 УНИПЛАН (ЗАО Пикон, Россия).

Валовый и среднесуточный прирост оценивали на основе еженедельных взвешиваний животных с использованием весов «Реус» («Тензо-сила», Россия).

Полученные экспериментальные данные обрабатывали биометрически с использованием одно- и двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе STATISTICA 13RU («StatSoft, Inc.», США). Вы-

числяли среднеарифметические значения (M), ошибку средней (m), среднеквадратическую ошибку (\pm SEM) и уровень значимости (p).

Результаты исследования

В ходе проведенных исследований, было установлено, что применение ДКВЕС в дозировке 0,025% в составе основного рациона протяжении цикла откорма способствовало повышению основных показателей являющимися маркерами окислительного стресса. Изменение антиоксидантного статуса организма свидетельствует о негативных влияниях воздействующих на организм свиней в цикле откорма. Комбинирование ДКВ с витаминами (С и Е) усиливало механизм антиоксидантной защиты – в начале опыта происходило расхождение водорастворимых форм антиоксидантов (СКВА) ($p < 0,01$) (табл. 1), но в дальнейшем их уровень превышал контроль. Отчетливо проявилось действие ДКВЕС в конце опыта. У свиней группы Е под влиянием скармливания ДКВЕС уровень АОС по сравнению с контролем стал выше ($p < 0,05$) в период основного откорма. Перед убоем в сыворотке крови животных опытной группы относительно контроля повышался ОАС на фоне тенденции к снижению концентрации ТБК-АП ($p < 0,1$).

На начальном этапе откорма не было зафиксировано достоверных отличий между показателями восстановленного и окисленного глутатиона. При определении концентрации глутатиона в процессе откорма было зафиксировано достоверное повышение ($p < 0,1$) концентрации показателей восстановленного глутатиона на 10,3% относительно показателей контрольной группы. Данная достоверная тенденция сохранилась на протяжении всего откорма до убоя. Так концентрация GSH в конце исследования оставалась достоверно выше ($p < 0,1$) на 12,5%. Также наблюдалась динамика снижения концентрации окисленного глутатиона в опытных группах, и достоверное повышение ($p < 0,05$) соотношения восстановленного и окисленного глутатиона на 45,9 %. Данные представлены в таблице 2.

При развитии в клетке окислительного стресса наблюдается повреждение молекул углеводов, липидов, белков и нуклеиновых кислот, что приводит к накоплению продуктов перекисного окисления липидов малонового альдегиду. Так в опытных группах уровень малонового диальдегида был достоверно ниже ($P < 0,05$) на 33,6% относительно показателей в контрольной группе, а уровень активность супероксиддисмутазы была выше на 48,2% в предубойный период ($P < 0,1$).

Таблица 2.

**Антиоксидантные показатели сыворотки крови подопытных животных
(M±m, n=5)**

Показатель	1. начало откорма		2. середина откорма		3. конец откорма	
	Группа		Группа		Группа	
	С n=5	Е n=5	С n=5	Е n=5	С n=5	Е n=5
ОАС, ммоль/л	1,55±0,05	1,39±0,04 ^а	1,47±0,04	1,65±0,08 ^{а,В}	1,47±0,06	1,60±0,02 [†]
СКВА, мг/л	19,01±1,53	14,17±1,05 ^а	11,69±0,93 ^В	12,99±0,52	11,31±0,67	11,61±1,01
ТБК-АП, мкмоль/л	2,48±0,07	2,42±0,22	2,54±0,18	2,52±0,25	2,63±0,19	2,28±0,07 [†]
Альдолаза, Ед/л	6,44±1,47	3,79±0,54	8,30±0,83	3,29±0,72 ^с	8,23±0,55	5,82±0,59 ^{а,А}
Креатинки- наза, Ед/л	80,00±18,31	47,11±6,77	103,19±10,38	40,92±8,99 ^с	102,30±6,88	76,46±4,21 ^{с,С}
SH	0,50±0,01	0,51±0,03	0,58±0,01 ^с	0,64±0,03 ^{а,В}	0,56±0,03	0,63±0,02 [†]
SS	0,25±0,01	0,26±0,01	0,29±0,01 ^с	0,26±0,01 ^б	0,32±0,01 ^{††}	0,23±0,01 ^с
SH/SS	1,97±0,01	1,98±0,01	1,97±0,01	2,49±0,01 ^{с,С}	2,33±0,17 ^А	3,40±0,01 ^{с,С}
MDA	5,85±0,30	5,06±0,31	6,29±1,17	3,42±0,38 ^{а,В}	6,05±0,27	4,02±0,14 ^с
SOD	673,66±36,46	703,06±42,70	479,36±53,65	814,31±105,49 ^{а,В}	559,06±20,90	828,85±37,36 ^с

Различия достоверны: А, В, С - к предыдущему взятию крови - $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$, соответственно. †† - тенденция к достоверности $p < 0,10$; а, б, с - к контролю, на конкретную дату взятия - $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$, соответственно. † - тенденция к достоверности $p < 0,10$.

СКВА – суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов; ТБК-АП - активный продукт тиобарбитуровой кислоты; SH – восстановленный глутатион + цистеин, мкмоль/мл; SS – окисленный глутатион + цистин, мкмоль/мл; SH/SS – тиол-дисульфидное соотношение; MDA –малоновый диальдегид, нмоль/мл; SOD – активность супероксиддисмутазы, Ед

Исследования последних лет указывают на то, что окислительный-стресс оказывает сильное действие на биохимические показатели организма. Особый интерес в изучении реакции организма свиней на стресс представляют тканевые ферменты, которые при различных функциональных состояниях организма поступают в кровь из скелетных мышц и других тканей. Такие ферменты называются клеточными, или индикаторными. К ним относятся альдолаза и креатинкиназа. В ходе проведенных исследований было установлено, что на протяжении цикла откорма наблюдается достоверная тенденция сохранения концентрации альдолазы на одном уровне у свиней опытных групп, и показатели были ниже на 29,2%

относительно показателей в контрольной группе. Уровень креатинкиназы в опытной группе был достоверно ниже на 25,3% ($p < 0,05$) по сравнению с концентрацией в контрольной группе. Необходимо отметить, что креатинкиназа как фермент тонко реагирующий на структурно-функциональные изменения в клетке, широко применяется в качестве маркера ряда нейромы – шеечных и опухолевых заболеваний, а также для оценки токсического действия лекарственных препаратов и других экологически опасных агентов, в основе патогенеза которых лежит окислительный стресс [26].

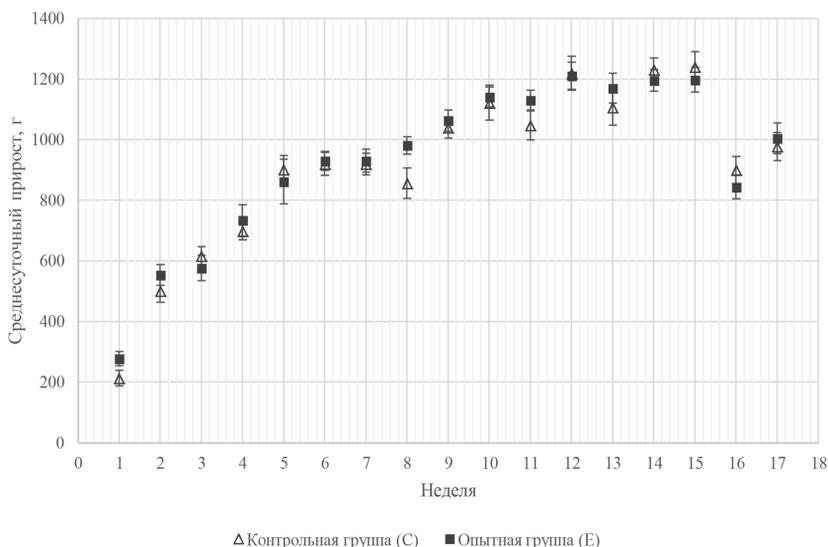


Рис. 1. Динамика среднесуточных приростов подопытных животных в период эксперимента (n=15)

По результатам взвешиваний и учета расхода кормов были определены валовой и среднесуточный приросты (ССП), а также затраты кормов на единицу прироста (табл. 3, рис. 1). В период доращивания (1-5 неделя опыта) ССП во 2-й группе были выше, чем в 1-й на 2,5% ($p > 0,05$). При этом в первую неделю прослеживалась тенденция к лучшему приросту животных в опытной группе ($p < 0,10$). По результатам 1-го периода откорма (6-12 недели опыта) животные опытной группы Е показали также тенденцию ($p = 0,09$) к лучшему росту – 1029,21 против 983,81 г в контроле, или на 4,6%. В период 8-ой недели эксперимента наблюдался прирост животных опытной группы достоверно выше контрольных зна-

чений ($p=0,03$), что указывает на эффективность скармливания ДКВЕС в данный период.

Во 2-м периоде откорма (13-17 недели опыта) животные показали сходные параметры роста ($p>0,05$) – 945,85 против 953,06 г в контроле, или ниже на 0,8%. В целом за опыт приросты составили 877,67 против 861,27 в контроле, животные контрольной группы были больше подвержены стресс-факторам среды в первый период откорма, но в дальнейшем несколько улучшили свои показатели.

Таблица 3.

Динамика живой массы подопытных свиней (кг) и затраты кормов в период исследований (M±m)

Показатель	Группа		p-value
	1-контрольная (С)	2-опытная (Е)	
Количество животных	15	15	-
Живая масса при постановке, кг	15,87±0,42	15,92±0,25	0,92
Живая масса в конце доращивания (5-я неделя опыта), кг	36,37±1,02	36,93±1,04	0,69
ВП (1-5 неделя опыта), кг	20,50±0,91	21,01±0,98	0,69
ССП (1-5 неделя опыта), г	585,71±25,87	600,38±28,0	0,69
Живая масса в конце 1-периода откорма (12ая неделя опыта), кг	77,69±1,48	80,16±1,39	0,22
ВП (6-12 недели опыта), кг	41,32±0,98	43,23±0,56	0,09
ССП (6-12 недели опыта), г	983,81±23,26	1029,21±13,39	0,09
Живая масса в конце откорма (17ая неделя опыта), кг	125,27±1,89	127,21±1,34	0,39
ВП (13-17 недели опыта), кг	46,70±1,27	46,35±0,83	0,81
ССП (13-17 недели опыта), г	953,06±25,85	945,85±16,98	0,58
ВП (1-17 недели опыта), кг	108,52±1,91	110,59±1,29	0,36
ССП (1-17 недели опыта), г	861,27±15,17	877,67±10,26	0,36
Затраты кормов за весь период исследований			
Комбикорма всего, кг	340,7	340,7	-
Комбикорма, кг/кг прироста	3,14	3,08	-
% к контролю	100	98,1	-

Таким образом, основной эффект от скармливания ДКВЕС в составе комбикормов проявлялся в улучшении ССП ЖМ, в т.ч. в начале опыта, 1-я неделя ($p<0,10$), и в первый период откорма, 5-8 я неделя ($p=0,09$; 8 я неделя, $p<0,05$).

Обсуждение

Высшая регуляторная роль нейроэндокринной системы невозможна без наличия эффекторных факторов, наиболее часто являющихся молекулярными мишенями и определяющими то окислительно-восстановительное состояние клеток (перекисное окисление липидов и антиоксидантную защиту (ПОЛ-АОЗ)), без которого немислимо течение физиологических процессов. Для полного представления о характере перекисных процессов в структуре окислительных повреждений в организме, а также при выборе тактики рациональной коррекции необходимо комплексное обследование, которое включало бы оценку как начальных, так и конечных продуктов ПОЛ, а также уровня антиоксидантных факторов, обеспечивающих защиту от возможных повреждений мембранного аппарата клетки. Повышение активности ПОЛ рассматривается в настоящее время как неспецифический процесс, участвующий в патогенезе более 200 различных заболеваний, сопровождающихся антиоксидантной недостаточностью; не исключено, что нарушение интегрального редокс-состояния играет не последнюю роль в реализации тех механизмов, которые влияют на состояние здоровья свиней и интенсивность откорма и проростов. Снижения негативного воздействия окислительного стресса способствует сохранности организма от негативных факторов стресса на клеточном уровне и реализации генетического потенциала породы. Изменение антиоксидантного статуса организма свидетельствует о негативных влияниях воздействующих на организм свиней в цикле откорма. В связи с этим необходимо изучать и определять показатели характеризующие общий антиоксидантный статус сыворотки. АОС определяется присутствием совокупности антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатионредуктазы и др.) и антиоксидантов неферментного действия (в их числе: альбумин, трансферрин, металлотioneины, мочевиная кислота, липоевая кислота, глутатион, убихинол, витамины Е и С, каротиноиды, компоненты полифеноловой структуры, поступающие с растительной пищей, включая флавоноиды, и пр.). Для оценки состояния антиоксидантной защиты, помимо определения уровня наиболее важных антиоксидантных ферментов и неферментных антиоксидантов в крови, используют измерение суммарной антиоксидантной способности компонентов сыворотки. Определение общего антиоксидантного статуса помогает оценить состояние организма и прогнозировать интенсивность приростов. Повышение АОС в опытной группе является свидетельством действия кормового комплекса ДКВЕС на усиление антиоксидантной активности.

Одним из частных показателей активности АОС является активность глутатиона в восстановленной и окисленной форме. Важное значение GSH в редокс-зависимых процессах определяется его участием в регуляции клеточного редокс-зависимого сигналинга и активности транскрипционных факторов, а также тем фактом, что он является внутриклеточным антиоксидантом, играя роль «ловушки» свободных радикалов, косубстрата в реакциях детоксикации пероксидов, катализируемых глутатионпероксидазой (GPx) и глутатионтрансферазой (GST), и выступает в качестве агента, восстанавливающего окисленный глутаредоксин (Grx), необходимый для восстановления дисульфидов [2, 3]. Сохранение оптимального для клетки соотношения восстановленного глутатиона к окисленному (GSSG) – GSH/GSSG является важным условием для ее жизнеспособности. Нарушение внутриклеточного баланса GSH наблюдается при ряде патологий, включая злокачественные новообразования [5, 7]. Высокая концентрация восстановленного глутатиона, что ярко выражено у свиней опытной группы, что позволяет поддерживать высокую активность супероксиддисмутазы, позволяет защищать белки от окислительного стресса и вносит существенный вклад в осуществление редокс-сигналинга и регуляцию активности белков [8]. Также являясь активатором карбоксиэфиргидролазы, высокий уровень GSH позволяет поддерживать активность данного фермента в высокой концентрации, что способствует сохранению адекватных уровней витамина Е в организме свиней на откорме.

Исследования последних лет указывают на то, что окислительный стресс оказывает сильное действие на биохимические показатели организма. Особый интерес в изучении реакции организма свиней на стресс представляют тканевые ферменты, которые при различных функциональных состояниях организма поступают в кровь из скелетных мышц и других тканей. Такие ферменты называются клеточными, или индикаторными. К ним относятся альдолаза и креатинкиназа.

Определение альдолазы в сыворотке крови представляет наибольший клинический интерес при первичных заболеваниях скелетных мышц или нарушениях мышц, вызванных стрессовым воздействием и приводящим к появлению патологии синдрома свиного стресса у свиней, вызванного окислительным стрессом. Повышение активности фермента может быть отмечено при мышечной дистрофии типа Дюшенна и миопатии. Альдолаза расщепляет фруктозо-1,6-дифосфат до глицеральдегид-3-фосфата и дигидроксиацетофосфата. Добавление триозофосфатизомеразы, глицеролфосфатдегидрогеназы и НАДН превращает дигидрокси-ацетофосфат

в глицерол-1-фосфат. Изменение оптической плотности при 340 нм, обусловленное образованием НАД⁺ из НАДН, пропорционально активности альдолазы в пробе.

Креатинкиназа (КФК, КК) — фермент, катализирующий обратимую реакцию превращения креатинфосфата в креатин с участием АДФ, который, превращаясь в АТФ, является источником энергии для мышечного сокращения. Креатинкиназа, обеспечивает потребность в большом количестве энергии в короткие интервалы времени, например, обеспечивая энергией мышечные сокращения. Активность КФК ингибируется тироксином. При повреждении клеток происходит высвобождение КК и поступление её в кровь. Так, при мышечной дистрофии уровень КФК в сыворотке крови может возрастать в 50 раз. Определение креатинкиназы используется в диагностике и мониторинге миопатий различной этиологии.

Повышение в крови индикаторных ферментов или их отдельных изоформ связано с нарушением проницаемости клеточных мембран тканей и может использоваться при биохимическом контроле за функциональным состоянием животного [12, 18]. Результатом повреждения клеточной мембраны является выход в кровь цитоплазматических белков скелетной мышцы, и повышение концентрации альдолазы и креатинкиназы, что свидетельствует о снижении качества мясной продукции и как следствие возникновение синдрома свиного стресса. Диагностика микроповреждений мышечной ткани (ММТ) базируется на измерении активности в плазме крови саркоплазматических ферментов (креатинкиназы альдолазы). Повышение их активности в плазме крови отражает значительное изменение проницаемости мембранных структур миоцита, вплоть до его полного разрушения. Данный факт отражает снижение адаптации организма стресс-факторам различной этиологии, возникающие в технологическом цикле откорма свиней. Повышение в крови ферментов, в результате процессов биологического окисления веществ, альдолазы (фермент гликолиза) и креатинкиназы (играет ключевую роль в поддержании энергетического гомеостаза в клетке, регулируя в ней потоки энергии) является показателем сильного стрессового воздействия, приводящего к изменению энергетического обмена и структурноповреждению мышечного волокна, что приводит к снижению скорости роста свиней и повышению конверсии корма. В опытной группе, мы наблюдаем тенденцию повышения уровня альдолазы и креатинкиназы, что обусловлено интенсивностью роста свиней, что коррелирует с показателями прироста. В контрольной группе повышение активности ферментов альдолазы и креатинкиназы,

при более низкой интенсивности прироста и антиоксидантной активности свидетельствует об использовании белка для энергообеспеченности, что снижает конъюнктуру сверхподдержания приростов. Подобная динамика приростов обеспечивает валовой прирост живой массы в опытной группе на 1,5%, относительно показателей в контрольной группе. Также при повышении приростов снижается на 1,9% использованного комбикорма. Таким образом стрессовое воздействие вызывает значительные изменения в биохимическом статусе организма, при котором обеспечивается значительный выход ферментов в кровь из тканей, что свидетельствует о невысоком адаптационном уровне организма и высоком риске развития патологических состояний и потерей продуктивности.

Заключение

Анализ показателей антиоксидантной защиты у свиней на дорастивании и откорме свидетельствует о наличии у них начальных фаз развития оксидативного стресса, которые ассоциируются с низкими величинами общей антиокислительной активности и доступностью токоферола, а также адаптивным увеличением активности СОД. Рассматривая роль факторов антиоксидантной защиты (ретинол, окисленный глутатион), следует учитывать возможность включения других метаболических путей, которые могут модифицировать их классические ответы на систему липопероксидации и антиоксидантной защиты. Замедление развитие эндогенного оксидативного стресса с воздействием на организм поросят и свиней на откорме за счет повышения показателей ее ферментативного звена и снижения уровня липопероксидации при введении кормового комплекса ДКВЕС позволяет снизить развитие субпатологических состояний, вызванных окислительным стрессом в ранние периоды откорма. Данные показатели свидетельствуют об эффективном действии антиоксидантов и способствуют повышению реактивности организма и стрессоустойчивости, что повышает качество мясной продукции. В связи с избытком в крови у свиней контрольной группы окисленной формы глутатиона для оптимизации процесса кормления можно рекомендовать назначение антиоксидантного кормового комплекса.

Заключение комитета по этике. «Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ №19-16-00068-П.

Список литературы

1. Варфоломеев С.Д., Пожитков А.Е. Активные центры гидролаз: основные типы структур и механизм катализа // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2000. Т. 41. № 3. С. 147-156.
2. Меерсон Ф.З., Пшенинкова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 256 с.
3. Морозов В.И., Петрова Т.Н. Выявление протеиназ нейтрофилов в скелетных мышцах крыс после мышечной деятельности // Укр. биохим. журн. 1993. №65. С. 40-44.
4. Шенкман Б.С., Подлубная З.А., Вихлянцев И.М. Сократительные характеристики и белки саркомерного цитоскелета волокон m. soleus человека в условиях гравитационной разгрузки // Биофизика. 2004. № 49. С. 881-890.
5. Chung, Y.K., Mahan D.C., Lepine A.J. Efficacy of dietary D- α -tocopherol and DL- α -tocopheryl acetate for weanling pigs // J Anim Sci. 1992. №70. pp. 2485-2492.
6. Franco, R., Cidlowski J.A. Apoptosis and glutathione: beyond an antioxidant // Cell Death and Differentiation. 2009. №16. pp. 1303–1314.
7. Galano, A., Alvarez-Idaboy J.R. Glutathione: mechanism and kinetics of its non-enzymatic defense action against free radicals // RSC Advances. 2011. №1. pp. 1763–1771.
8. Håkansson, J. Hakkarainen J, Lundeheim N. Variation in vitamin E, glutathione peroxidase and retinol concentrations in blood plasma of primiparous sows and their piglets, and in vitamin E, selenium and retinol contents in sows' milk // Acta Agric Scand. Anim. Sci. 2001. №51. pp. 224-234.
9. Hedemann, M.S., Jensen S.K. Vitamin E status in newly weaned pigs is correlated to the activity of carboxyl ester hydrolase // In Proceeding of the 7th biennial conference of Australian Pig Science Association. 28. Nov. 1. Dec.1999, Adelaide Edited by: Cranwell P.D. Werribee, Victoria, Australian Pig Science Association; 1999:181.
10. Ishkaeva. R.A., Nizamov I.S., Blokhin D.S., Urakova E.A., Klochkov V.V., Nizamov I.D., Gareev B.I., Salakhieva D.V., Abdullin T.I. Dithiophosphate-Induced Redox Conversions of Reduced and Oxidized Glutathione // Molecules. 2021. №26. p. 2973. <https://doi.org/10.3390/molecules26102973>
11. Jacob, C., Battaglia E., Burkholz T., Peng D., Bagrel D., Montenarh M. Control of oxidative posttranslational cysteine modifications: from intricate chemistry

- tow ide spread biological and medical applications // *Chemical Research in Toxicology*. 2012. №25. pp. 588–604.
12. Leskovec, J., Rezar V., Svete A.N., Salobir J., Levart A. Antioxidative Effects of Olive Polyphenols Compared to Vitamin E in Piglets Fed a Diet Rich in N-3 PUFA // *Animals*. 2019. №12. <https://doi.org/10.3390/ani9040161>
 13. Liu, T., Sun L., Zhang Y., Wang Y., Zheng J. Imbalanced GSH/ROS and sequential cell death // *J Biochem. Mol. Toxicol.* 2022. №36. <https://doi.org/10.1002/jbt.22942>
 14. Lv, H., Zhen C., Liu J., Yang P., Hu L., Shang P. Unraveling the Potential Role of Glutathione in Multiple Forms of Cell Death in Cancer Therapy // *Oxid Med Cell Longev*. 2019. 3150145. <https://doi.org/10.1155/2019/3150145>
 15. Meyer, W.R., Mahan D.C., Moxon A.L. Value of dietary selenium and vitamin E for weanling swine as measured by performance and tissue selenium and glutathione peroxidase activities // *J Anim. Sci.* 1981. №52. pp. 302-311.
 16. Moreira I., Mahan D.C. Effect of dietary levels of vitamin E (all-rac-tocopheryl acetate) with or without added fat on weanling pig performance and tissue alpha-tocopherol concentration // *J. Anim. Sci.* 2002. № 80. pp. 663-665.
 17. Moreira I., Mahan D.C. Effect of dietary levels of vitamin E (all-rac-tocopheryl acetate) with or without added fat on weanling pig performance and tissue alpha-tocopherol concentration // *J. Anim. Sci.* 2002. № 80. pp. 665-669.
 18. Nagy, P. Kinetics and mechanisms of thiol-disulfide exchange covering direct substitution and thiol oxidation-mediated pathways. // *Antioxidants & Redox Signaling*. 2013. №18. pp. 1623–1641.
 19. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: Монография /Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева / Некрасов Р.В., Головин А.В., Махаев Е.А., Аникин А.С., Первов Н.Г., Стрекозов Н.И., Мысик А.Т., Дуборезов В.М., Чабаев М.Г., Фомичев Ю.П., Гусев И.В. М., 2018. 290 с.
 20. Ogata, K., Imai A., Sato S., Nishino K., Watanabe S., Somfai T., Kobayashi E., Takeda K. Effects of reduced glutathione supplementation in semen freezing extender on frozen-thawed bull semen and in vitro fertilization // *J. Reprod. Dev.* 2022. №18. pp. 53-61. <https://doi.org/10.1262/jrd.2021-079>
 21. Owen, J.B., Butterfield D.A. Measurement of oxidized/reduced glutathione ratio // *Methods Mol Biol.* 2010. №648. pp. 269-77. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-756-3_18
 22. Shimura, T., Nakashiro C., Fujiwara K., Shiga R., Sasatani M., Kamiya K., Ushiyama A. Radiation affects glutathione redox reaction by reduced glutathione

- peroxidase activity in human fibroblasts // *J Radiat Res.* 2022. №17. pp. 183-191. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrab122>
23. Sivertsen, T., Vie E., Bernhoft A., Baustad B. Vitamin E and selenium plasma concentrations in weanling pigs under field conditions in Norwegian pig herds // *Acta Vet Scand.* 2007. №49. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-1>
24. Stuart, R.L., Kane E. Vitamin E form, source may be important for swine // *Feedstuffs.* 2004. №76. pp. 11-14.
25. Teige, J., Tollersrud S., Lund A., Larsen H.J. Swine dysentery: the influence of dietary vitamin E and selenium on the clinical and pathological effects of *Treponemahydysenteriae* infection in pigs // *Res Vet Sci.* 1982. №32. pp. 95-100.
26. Van Kempen, T.A., Reijersen M.H., de Bruijn C., De Smet S., Michiels J., Traber M.G., Lauridsen C. Vitamin E plasma kinetics in swine show low bioavailability and short half-life of α -tocopheryl acetate // *J Anim Sci.* 2016. №94. pp. 4188-4195. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0640>
27. Winterbourn, C.C. Superoxides an intracellular radical sink // *Free Radical Biology and Medicine.* 1993. №14. pp. 85-90.
28. Wuryastuti, H., Stowe H.D., Bull R.W., Miller E.R. Effects of vitamin E and selenium on immune responses of peripheral blood, colostrum, and milk leukocytes of sows // *J AnimSci.* 1993. №71. pp. 2464-2472.

References

1. Varfolomeev S.D., Pozhitkov A.E. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Khimiya*, 2000, vol. 41, no. 3, pp. 147-156.
2. Meerson F.Z., Pshennikova M.G. *Adaptatsiya k stressovym situatsiyam i fizicheskim nagruzkam* [Adaptation to stressful situations and physical loads]. M.: Meditsina, 1988, 256 p.
3. Morozov V.I., Petrova T.N. *Ukr. biokhim. zhurn.*, 1993, no. 65, pp. 40-44.
4. Shenkman B.S., Podlubnaya Z.A., Vikhlyantsev I.M. *Biofizika*, 2004, no. 49, pp. 881-890.
5. Chung, Y.K., Mahan D.C., Lepine A.J. Efficacy of dietary D- α -tocopherol and DL- α -tocopheryl acetate for weanling pigs. *J Anim Sci.*, 1992, no. 70, pp. 2485-2492.
6. Franco, R., Cidlowski J.A. Apoptosis and glutathione: beyond an antioxidant. *Cell Death and Differentiation*, 2009, no. 16, pp. 1303-1314.
7. Galano, A., Alvarez-Idaboy J.R. Glutathione: mechanism and kinetics of its non-enzymatic defense action against free radicals. *RSC Advances*, 2011, no. 1, pp. 1763-1771.

8. Håkansson, J. Hakkarainen J, Lundeheim N. Variation in vitamin E, glutathione peroxidase and retinol concentrations in blood plasma of primiparous sows and their piglets, and in vitamin E, selenium and retinol contents in sows' milk. *Acta Agric Scand. Anim. Sci.*, 2001, no. 51, pp. 224-234.
9. Hedemann, M.S., Jensen S.K. Vitamin E status in newly weaned pigs is correlated to the activity of carboxyl ester hydrolase. *Proceeding of the 7th biennial conference of Australian Pig Science Association*. 28. Nov. 1. Dec. 1999, Adelaide Edited by: Cranwell P.D. Werribee, Victoria, Australian Pig Science Association; 1999:181.
10. Ishkaeva. R.A., Nizamov I.S., Blokhin D.S., Urakova E.A., Klochkov V.V., Nizamov I.D., Gareev B.I., Salakhieva D.V., Abdullin T.I. Dithiophosphate-Induced Redox Conversions of Reduced and Oxidized Glutathione. *Molecules*, 2021, no. 26, p. 2973. <https://doi.org/10.3390/molecules26102973>
11. Jacob, C., Battaglia E., Burkholz T., Peng D., Bagrel D., Montenarh M. Control of oxidative posttranslational cysteine modifications: from intricate chemistry to wide spread biological and medical applications. *Chemical Research in Toxicology*, 2012, no. 25, pp. 588–604.
12. Leskovec, J., Rezar V., Svete A.N., Salobir J., Levart A. Antioxidative Effects of Olive Polyphenols Compared to Vitamin E in Piglets Fed a Diet Rich in N-3 PUFA. *Animals*, 2019, no. 12. <https://doi.org/10.3390/ani9040161>
13. Liu, T., Sun L., Zhang Y., Wang Y., Zheng J. Imbalanced GSH/ROS and sequential cell death. *J Biochem. Mol. Toxicol.*, 2022, no. 36. <https://doi.org/10.1002/jbt.22942>
14. Lv, H., Zhen C., Liu J., Yang P., Hu L., Shang P. Unraveling the Potential Role of Glutathione in Multiple Forms of Cell Death in Cancer Therapy. *Oxid Med Cell Longev.*, 2019, 3150145. <https://doi.org/10.1155/2019/3150145>
15. Meyer, W.R., Mahan D.C., Moxon A.L. Value of dietary selenium and vitamin E for weanling swine as measured by performance and tissue selenium and glutathione peroxidase activities. *J Anim. Sci.*, 1981, no. 52, pp. 302-311.
16. Moreira I., Mahan D.C. Effect of dietary levels of vitamin E (all-rac-tocopheryl acetate) with or without added fat on weanling pig performance and tissue alpha-tocopherol concentration. *J. Anim. Sci.*, 2002, no. 80, pp. 663-665.
17. Moreira I., Mahan D.C. Effect of dietary levels of vitamin E (all-rac-tocopheryl acetate) with or without added fat on weanling pig performance and tissue alpha-tocopherol concentration. *J. Anim. Sci.*, 2002, no. 80, pp. 665-669.
18. Nagy, P. Kinetics and mechanisms of thiol-disulfide exchange covering direct substitution and thiol oxidation-mediated pathways. *Antioxidants & Redox Signaling*, 2013, no. 18, pp. 1623–1641.

19. *Normy potrebnostey molochnogo skota i sviney v pitatel'nykh veshchestvakh: Monografiya* [Norms of dairy cattle and pigs nutrient requirements: Monograph] /Pod red. R.V. Nekrasova, A.V. Golovina, E.A. Makhaeva / Nekrasov R.V., Golovin A.V., Makhaev E.A., Anikin A.S., Pervov N.G., Strekozov N.I., Mysik A.T., Duborezov V.M., Chabaev M.G., Fomichev Yu.P., Gusev I.V. M., 2018, 290 p.
20. Ogata, K., Imai A., Sato S., Nishino K., Watanabe S., Somfai T., Kobayashi E., Takeda K. Effects of reduced glutathione supplementation in semen freezing extender on frozen-thawed bull semen and in vitro fertilization. *J. Reprod. Dev.*, 2022, no. 18, pp. 53-61. <https://doi.org/10.1262/jrd.2021-079>
21. Owen, J.B., Butterfield D.A. Measurement of oxidized/reduced glutathione ratio. *Methods Mol Biol.*, 2010, no. 648, pp. 269-77. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-756-3_18
22. Shimura, T., Nakashiro C., Fujiwara K., Shiga R., Sasatani M., Kamiya K., Ushiyama A. Radiation affects glutathione redox reaction by reduced glutathione peroxidase activity in human fibroblasts. *J Radiat Res.*, 2022, no. 17, pp. 183-191. <https://doi.org/10.1093/jrr/trab122>
23. Sivertsen, T., Vie E., Bernhoft A., Baustad B. Vitamin E and selenium plasma concentrations in weanling pigs under field conditions in Norwegian pig herds. *Acta Vet Scand.*, 2007, no. 49. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-1>
24. Stuart, R.L., Kane E. Vitamin E form, source may be important for swine. *Feed-stuffs*, 2004, no. 76, pp. 11-14.
25. Teige, J., Tollersrud S., Lund A., Larsen H.J. Swine dysentery: the influence of dietary vitamin E and selenium on the clinical and pathological effects of *Treponemahydodysenteriae* infection in pigs. *Res Vet Sci.*, 1982, no. 32, pp. 95-100.
26. Van Kempen, T.A., Reijersen M.H., de Bruijn C., De Smet S., Michiels J., Traber M.G., Lauridsen C. Vitamin E plasma kinetics in swine show low bioavailability and short half-life of α -tocopheryl acetate. *J Anim Sci.*, 2016, no. 94, pp. 4188-4195. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0640>
27. Winterbourn, C.C. Superoxide as an intracellular radical sink. *Free Radical Biology and Medicine*, 1993, no. 14, pp. 85-90.
28. Wuryastuti, H., Stowe H.D., Bull R.W., Miller E.R. Effects of vitamin E and selenium on immune responses of peripheral blood, colostrum, and milk leucocytes of sows. *J AnimSci.*, 1993, no. 71, pp. 2464-2472.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Остренко Константин Сергеевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией иммунобиотехнологии и микробиологии, ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

*п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
ostrenkos@gmail.com*

Некрасов Роман Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, доцент, заведующий отделом кормления сельскохозяйственных животных, главный научный сотрудник

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

*поселок Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
nek_roman@mail.ru*

Чабаев Магомед Газиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор-главный научный сотрудник

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

*поселок Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
chabaev.m.g-1@mail.ru*

Кутын Иван Владимирович, научный сотрудник лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб *Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»*

*п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
Kurookami@mail.ru*

Боголюбова Надежда Владимировна, доктор биологических наук, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста»
поселок Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132,
Российская Федерация
652202@mail.ru*

Колесник Никита Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории фундаментальных основ питания с.-х. животных и рыб
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста»
поселок Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132,
Российская Федерация
kominisiko@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Konstantin S. Ostrenko, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology, Leading Researcher
*All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
Institut, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation
ostrenkoks@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2235-1701>
ResearcherID: E-2898-2019
Scopus Author ID: 57201719569*

Roman V. Nekrasov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of RAS, Associate Professor, Head of the Department of Feeding of Farm Animals, Chief Scientific Associate
*L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation
nek_roman@mail.ru
SPIN-code: 1539-8087*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

Researcher ID: P-7028-2016

Scopus Author ID: 55760119900

Magomed G. Chabaev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor Chief Scientific Researcher

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

chabaev.m.g-1@mail.ru

SPIN-code: 2493-8335

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1889-6063>

Researcher ID: I-8651-2018

Scopus Author ID: 57202293385

Ivan V. Kutyin, Scientific Researcher at the Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition for Agricultural Animals and Fish

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Institut, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

Kurookami@mail.ru

SPIN-code: 8893-1346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4605-9417>

Researcher ID: E-2898-2019

Scopus Author ID: 57217588743

Nadezhda V. Bogolyubova, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Leading Researcher

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

652202@mail.ru

SPIN-code: 4007-2980

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

Researcher ID: J-3771-2018

Scopus Author ID: 57191954598

Nikita S. Kolesnik, Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Agricultural Animals and Fish, Junior Researcher

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

kominisiko@mail.ru

SPIN-code: 3653-1111

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Поступила 20.04.2023

После рецензирования 20.05.2023

Принята 29.05.2023

Received 20.04.2023

Revised 20.05.2023

Accepted 29.05.2023