

Стресс и продуктивность

УДК 636.4:619:616-092.19

doi: 10.15389/agrobiology.2023.4.638rus

БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС И ПРОДУКТИВНЫЕ КАЧЕСТВА СВИНЕЙ
(*Sus scrofa domestica*) ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СТРЕССА
И ЕГО КОРРЕКЦИИ*Р.В. НЕКРАСОВ[✉], Н.В. БОГОЛЮБОВА, К.С. ОСТРЕНКО, М.Г. ЧАБАЕВ,
И.В. КУТЬИН, П.Д. ЛАХОНИН, А.А. СЕМЕНОВА, В.А. ПЧЕЛКИНА,
В.В. НАСОНОВА, С.И. ЛОСКУТОВ, Р.А. РЫКОВ, Ю.А. ПРЫТКОВ

Одна из особенностей живого организма — его способность сохранять постоянство внутренней среды с помощью механизмов саморегуляции. У высших животных функции управления и регуляции биохимических реакций выполняет нервно-эндокринная система. С ее помощью организм воспринимает различные воздействия внешней и внутренней среды и реагирует на них посредством гормонов. В связи с этим биомаркерами уровня стресса служит в первую очередь содержание гормонов, а также концентрации в крови метаболитов и их соотношения. Использование в питании дигидрокверцетина, витаминов С и Е может способствовать снижению негативного влияния стресса. В настоящей работе впервые установлено положительное влияние дополнительного скармливания комплекса антиоксидантов (дигидрокверцетин и витамины Е, С) на адаптацию организма свиней к условиям стресса посредством оптимизации метаболических процессов и гормонального статуса при усилении антиоксидантной защиты, что способствовало получению мяса более высокого качества. Цель работы — оценка влияния скармливания комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрокверцетин и витамины Е, С) на биохимический статус и продуктивные качества свиней при моделировании стресса. Опыты проводили в 2022-2023 годах в Федеральном исследовательском центре животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста. В эксперимент отобрали 34 боровка (*Sus scrofa domestica*) F₂ [(крупная белая × ландрас) × дюрок] в период откорма. Живая масса поросят на начало эксперимента составляла 40,7-41,0 кг, возраст — 99 сут. Период откорма длился 90 сут. В предварительный период поросята были распределены в четыре группы методом пар-аналогов: I контрольная (С-, без скармливания ДКВЕС) (9 гол.), II контрольная (С+, скармливание ДКВЕС) (9 гол.), III опытная (Е-, без скармливания ДКВЕС) (8 гол.), IV опытная (Е+, скармливание ДКВЕС) (8 гол.). Размер каждого станка составлял 2,40×2,25 м (площадь 5,4 м²), фронт кормления — 1,05 м. То есть при размещении свиней в станках по 4 гол. (группы Е- и Е+) вместо 3 гол. (группы С- и С+) произошло снижение площади станка в расчете на 1 гол. с 1,80 до 1,35 м², а фронта кормления — с 0,35 м до 0,26 м (при норме не менее 0,3 м/гол. согласно ГОСТ 28839-2017). ДКВЕС содержал ДКВ (Эжостимул-2, «АО Аметис», Россия; ДКВ 72-73 %) в дозе 32 мг/кг корма, витамин Е (ИННОВИТ Е60, ГК «МЕГАМИКС», Россия) — 10 мг/кг корма, витамин С (Тайгер С 35, «Anhui Tiger Biotech Co., Ltd.», Китай) — 35 мг/кг корма. Животные из групп С+ и Е+ дополнительно к рациону получали ДКВЕС в количестве 0,025 % по массе комбикорма на протяжении всего времени испытаний. Молодняк взвешивали индивидуально каждую декаду. Для оценки клинико-физиологического и метаболического статуса в конце периода доращивания, а также при переводе на заключительный откорм и перед убоем у животных брали кровь из яремной вены утром до кормления для анализа. В сыворотке крови определяли содержание кальция, фосфора, магния, активность аспартатаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы, количество щелочной фосфатазы, общего билирубина, креатинина, холестерина, глюкозы, общего белка, альбумина, хлоридов и мочевины. Для оценки антиоксидантного статуса определяли в пробах сыворотки крови общее количество свободных водорастворимых антиоксидантов с помощью амперометрического метода. Также определяли концентрации в сыворотке крови тиреоидных гормонов — общего и свободного тироксина (Т₄общ. и Т₄св.) и трийодтиронина (Т₃общ. и Т₃св.), тиреотропного гормона, кортизола, адреналина, инсулиноподобного фактора роста 1, мелатонина методом твердофазного иммуноферментного анализа. Непосредственно перед убоем измеряли живую массу (ЖМ) свиней после голодной выдержки. После убоя определяли массу парной туши, а также убойный выход, толщину шпика, площадь мышечного глазка, pH через 45 мин после убоя и через 24 ч хранения. Установлено, что на фоне усиления конкуренции за кормовой стол скармливание ДКВЕС приводило к существенному снижению содержания кортизола (p = 0,014) и адреналина (p = 0,09) у поросят в заключительный период откорма. Вследствие конкуренции за корм снижалась концентрация мелатонина (p = 0,01), а скармливание ДКВЕС в группе Е+ нормализовало ее до значений, полученных при 1-м и 2-м взятиях крови. Стресс негативно сказывался на метаболических процессах, индикаторами которых служат биохимические показатели крови (концентрация в сыворотке крови триглицеридов, холестерина, билирубина). В заключительный период откорма произошли существенные сдвиги в гормональном статусе животных. У поросят в группах С по сравнению с Е снижалась концентрация Т₄общ. (p = 0,02), Т₃общ. (p = 0,05), Т₃своб.

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

($p = 0,004$), что сопровождалось усилением выработки ТТГ ($p = 0,05$). Скармливание ДКВЕС несколько сглаживало отрицательное влияние моделируемого фактора. Самые низкие значения $T_{\text{общ.}}$, $T_{\text{своб.}}$, $T_{\text{Зобщ.}}$, $T_{\text{Зсвоб.}}$ наблюдались в группе Е+. Следует отметить, что содержание тиреотропного гормона (ТТГ) и интегральный тиреоидный индекс (ИТИ) в группе Е+ снижались до 0,46 мМЕ/л и 69,7 ед. против 0,51 и 263,8 ед. в группе Е– при снижении конверсии $T_{\text{своб.}}$ в $T_{\text{Зсвоб.}}$ в 1,73 раза. С увеличением ЖМ животных (70 кг и более) сильнее проявлялось влияние ограничения площади станка и фронта кормления, которое проявлялось в снижении ССП в группе Е– в последний период откорма ($p < 0,05$). Под влиянием ДКВЕС в период заключительного откорма отмечена тенденция к повышению количества инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1) в группах С+ и Е+ по сравнению с группами С– и Е– (соответственно 163,7 и 162,8 против 141,0 и 142,1 нг/мл, $p = 0,14$), что коррелирует с более высокими приростами живой массы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что добавка ДКВЕС, обладая антиоксидантной способностью, может улучшать параметры роста и, по-видимому, проявлять тканеспецифическую регуляцию количества мРНК IGF-IR. На этом фоне в конце опыта произошло увеличение концентрации мелатонина в сыворотке крови животных из групп С– и С+ ($p < 0,05$), причем скармливание ДКВЕС не влияло на изменение этого показателя. В то же время следует отметить статистически значимое снижение содержания мелатонина (МТ) в группах Е– и Е+ по сравнению с контрольными (292,2 и 179,8 пг/мл против 457,6 и 458,7 пг/мл, $p = 0,01$), то есть усиление конкуренции за корм привело к снижению этого показателя, а скармливание ДКВЕС в группе Е+ нормализовало его значения до отмеченных при 1-м и 2-м взятиях крови. Среди прочего стресс может оказывать значительное влияние на качество продукции, что необходимо учитывать при выборе стратегий кормления, содержания и организации убоя животных. Показано, что использование комплекса адаптогенов-антиоксидантов значительно улучшило адаптационные способности организма и снизило влияние стрессовых факторов на производственные показатели.

Ключевые слова: адаптоген, дигидрокверцетин, витамин, стресс, молодой свиней, гормоны, биохимия крови, убойные показатели.

Одна из особенностей живого организма — его способность сохранять постоянство внутренней среды с помощью механизмов саморегуляции. У высших животных функции управления и регуляции биохимических реакций выполняет сложно организованная нервно-эндокринная система. С ее помощью организм воспринимает воздействия внешней и внутренней среды и реагирует на них посредством биохимических сигналов — гормонов (1).

Стресс относится к ключевым факторам, влияющим на организм свиней при современных интенсивных технологиях откорма. Физиологический стресс повышает бдительность особи и обеспечивает усилия, необходимые для проявления поведенческих реакций. Они связаны с учащением пульса и секрецией гормонов стресса, таких как кортизол и катехоламины (адреналин и норадреналин). Предубойные физиологические и поведенческие реакции животного могут значительно изменять качество мяса, поскольку влияют на энергетический метаболизм в мышцах, включая содержание метаболитов и гликогена (2). У свиней биомаркеры хронического и острого стресса различны. Ими могут служить содержание гормонов (3), антиоксидантов (4), некоторых метаболитов (5) и их соотношение (6, 7).

При стрессовых условиях в основном активируется симпатическая нервная система и система гипоталамус—гипофиз—надпочечники за счет продукции катехоламинов и глюкокортикоидов (8). В исследованиях E. Retrosus с соавт. (9) выявлена закономерность изменения микробиома кишечника и восприимчивости к заболеваниям у поросят во время отъема в связи с повышенным содержанием кортизола и катехоламинов во время стресса. С.-Н. Yu с соавт. (10) при отъеме гибридных поросят от матерей установили, что до модуляции стресса отлучения не было различий в количестве кортизола в плазме крови между группами. После отъема у поросят в опытной группе значительно ($p < 0,05$) повысилась концентрация кортизола в плазме по сравнению с таковой у животных, не подвергшихся стрессу (230 ± 50 против 120 ± 50 нмоль/л).

Гормоны щитовидной железы влияют на функции практически всех

органов и систем (включая сердце, центральную нервную систему, вегетативную нервную систему, желудочно-кишечный тракт), на состояние костей, обмен веществ, активируют гены, обеспечивающие ускорение метаболизма и термогенез. Увеличение скорости метаболизма связано с повышением потребления кислорода и энергии. Гормоны щитовидной железы также играют ключевую роль в фертильности, развитии, дифференцировке тканей и росте плода, они регулируют клеточный метаболизм и содержание кальция (11-13).

В крупных свинокомплексах даже относительно комфортные условия очень часто неблагоприятно влияют на физиолого-биохимические процессы у животных. Щитовидная железа как важнейшее регуляторное звено гомеостаза быстро реагирует на воздействие эндогенных и экзогенных факторов посредством изменения секреторной активности (14).

Реакция на стресс тесно связана с качеством мяса. Прижизненные механизмы его ухудшения при стрессе и отдаленные эффекты стресса, вызывающие порчу полученного от животных мяса, все еще изучены недостаточно, хотя сама проблема очевидна (15). На этапе убоя животные подвергаются потенциально стрессовым процедурам, которые могут включать лишение пищи, сбор и смешивание животных, транспортировку на бойню, ожидание перед убоем. Некоторые из этих факторов относятся к физическим или физиологическим (лишение пищи, усталость или боль), другие связаны с психологическим воздействием (присутствие незнакомых людей, отделение от членов группы выращивания, встреча с особями, с которыми ранее животное не контактировало) (2).

Считается, что такие характеристики мяса, как PSE (pale, soft, exudative — бледное, мягкое, водянистое) и DFD (dark, firm, dry — темное, жесткое, сухое), тесно связаны с гликолизом и окислительной стабильностью в тканях, вызванными стрессом. Окислительный стресс, который сопровождается снижением внутриклеточной антиоксидантной способности и увеличением продукции активных форм кислорода (включая свободные радикалы), приводит к изменениям в метаболизме гликогена, глюкозы, к структурным модификациям клеточных мембран и к снижению качества мяса. Острый стресс может быть причиной PSE, при хроническом стрессе мясо приобретает признаки DFD, которые формируются до убоя, что в итоге обуславливает огромные экономические потери в свиноводстве (1).

Окислительный стресс — следствие дисбаланса прооксидантов и антиоксидантов, приводящего к повреждению клеток и тканей. Истощение антиоксидантных систем становится одной из причин возникновения окислительного стресса, который вызывает лавинообразную продукцию активных форм кислорода (АФК) или свободных радикалов (16). В последнее время повышен интерес к изучению роли свободных радикалов — активных форм кислорода и азота (АФК и АФА). С одной стороны, АФК и АФА образуются в результате естественных физиологических процессов и необходимы для поддержания функций иммунной системы, передачи клеточных сигналов и синтеза гормонов, с другой — окислительный стресс, вызванный высокими концентрациями свободных радикалов, может привести к повреждению ДНК, белков, мембранных липидов. Необходимое количество АФК в организме поддерживается антиоксидантной системой (17). Продукция АФК у млекопитающих обусловлена активностью эндогенных прооксидантных ферментов НАДФН-оксидазы, ксантинооксидазы, пероксином и цитохрома P-450. Их продукция уравнивается эндогенными антиоксидантными ферментами, включая супероксиддисмутазу, каталазу, глутатионпероксидазу, восстановленный глутатион и гемоксигеназу 1 (НО-1)

(18). Эти системы антиоксидантной защиты напрямую регулируются ядерным фактором, связанным с эритроидом 2, — фактором 2 (Nrf2). Избыточное окислительное повреждение можно контролировать с помощью экзогенных антиоксидантов, таких как витамины С и Е, полифенолы, каротины, флавоноиды, омега-3 жирные кислоты и N-ацетилцистеин (НАС) (19, 20).

Использование дигидрохверцетина, витаминов С и Е в качестве добавок может снижать негативный эффект стресса (21, 22). Однако их влияние на синтез гормонов и окислительную стабильность мяса у откармливаемого молодняка свиней, подвергнутого стрессу, практически не исследовалось. Также представляет интерес изучение взаимосвязей биохимических маркеров крови (включая гормоны), ростовых показателей животных в период откорма, убойных показателей и качества мяса при моделировании неблагоприятных условий среды.

В настоящей работе впервые установлено положительное влияние скармливания комплекса антиоксидантов (дигидрохверцетин и витамины Е, С) на адаптацию свиней к условиям стресса вследствие оптимизации метаболических процессов и гормонального статуса при усилении антиоксидантной защиты, что способствовало получению мяса более высокого качества.

Цель работы — оценка влияния скармливания комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрохверцетин и витамины Е, С) на биохимический статус и продуктивные качества свиней при моделировании стресса.

Методика. Опыты проводили в 2022-2023 годах в Федеральном исследовательском центре животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста. Для эксперимента отобрали 34 боровка (*Sus scrofa domestica*) F₂ [(крупная белая × ландрас) × дюрок] в период откорма. Живая масса поросят на начало эксперимента составляла 40,7-41,0 кг, возраст — 99 сут. Откорм длился 90 сут, включая 1-й и 2-й периоды (соответственно 40 и 50 сут).

Эксперименты проводили в соответствии с основами и принципами надлежащего содержания и ухода за лабораторными животными (23-26). Все поросята находились в одинаковых условиях, соответствующих зоогигиеническим требованиям (за исключением моделируемых факторов в периоды эксперимента). Кормление осуществлялось согласно современным нормам (27) с использованием групповых самокормушек.

В предварительный период дорастивания поросят распределили в четыре группы методом пар-аналогов по возрасту, живой массе и ее среднесуточному приросту: I контрольная (С-, без скармливания ДКВЕС) (9 гол.), II контрольная (С+, скармливание ДКВЕС) (9 гол.), III опытная (Е-, без скармливания ДКВЕС) (8 гол.), IV опытная (Е+, скармливание ДКВЕС) (8 гол.).

Размер каждого станка составлял 2,4×2,25 м (площадь 5,4 м²), фронт кормления — 1,05 м. То есть при размещении свиней в станках по 4 гол. (группы Е- и Е+) вместо 3 гол. (группы С- и С+) площадь станка в расчете на 1 гол. снижалась с 1,80 до 1,35 м², фронт кормления — с 0,35 м до 0,26 м (при норме не менее 0,3 м/гол. согласно ГОСТ 28839-2017). Это создавало условия дополнительной конкуренции за корм для молодняка свиней в период откорма, что служило технологическим и кормовым стресс-фактором.

Композиция ДКВЕС была создана на основании новой информации о действии и нормах скармливания дигидрохверцетина (22, 28), нормах использования витаминов в кормлении свиней (27) с учетом синергического действия антиоксидантов, активации антиоксидантной защиты, иммуностимуляции, а также результатов предшествующих работ по ДКВ (2019-2022 годы) (21, 29) и других источников (30, 31).

ДКВЕС содержала ДКВ (Экостимул-2, «АО Аметис», Россия, № ПВР-

2-9.9/02502; ДКВ 72-73 %) в дозе 32 мг/кг корма, витамин Е (ИННОВИТ Е60, ГК «МЕГАМИКС», Россия) — 10 мг/кг корма, витамин С (Тайгер С 35, ПВИ-2-2.15/04504, «Anhui Tiger Biotech Co., Ltd.», Китай) — 35 мг/кг корма (32).

ДКВЕС получали в лабораторных условиях. Ингредиенты смешивали с измельченным зерном пшеницы и вносили в корма (лопастный смеситель типа СВ-2,2; «АгроПоставка», Россия). Животные из групп С+ и Е+ дополнительно к рациону получали ДКВЕС в количестве 0,025 % по массе комбикорма на протяжении всего испытания в соответствии с принятой схемой кормления. Внесение ДКВЕС в комбикорма не меняло количества потребленной энергии и основных питательных веществ у животных (27).

Молодняк взвешивали индивидуально каждую декаду с использованием весов РЕУС-А-У (ООО «Тензосила», Россия). Рассчитывали абсолютный и среднесуточный прирост массы по каждой группе за периоды откорма и в целом за весь опыт.

Для оценки клинико-физиологического и метаболического статуса трижды брали кровь из яремной вены утром до кормления: перед началом опыта (случайная выборка, $n = 15$; животных отобрали из массива, из которого в дальнейшем формировали группы), при переводе на заключительный откорм (по 5 гол. из каждой группы, $n = 20$), перед убоем (у всех животных, $n = 34$). Каждый образец разделяли на четыре вакуумные пробирки (10 мл EDTA и 5 мл для сыворотки), предназначенные для анализа биохимических показателей, гематологических показателей, антиоксидантного статуса (АОС) и количества гормонов.

Число эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, гематокрит определяли на гематологическом анализаторе ABC VET analyzer («Höriba ABZ», Франция) с реагентами Юнигем («Реамед», Россия). Сыворотку и плазму крови отделяли центрифугированием (3000 об/мин в течение 15 мин, центрифуга лабораторная UC-1412A, «ULAB», Китай) и хранили при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. На автоматическом биохимическом анализаторе Erba Mannheim automatic XL-640 («Erba Lachema s.r.o.», Чехия) оценивали содержание в сыворотке аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), общего белка (ОБ), альбумина (АЛБ), креатинина (КРЕА), мочевины (МОЧ), общего билирубина (ОБИЛ), кальция (Са), фосфора (Р), магния (Mg), холестерина (ХОЛ), глюкозы (ГЛЮ), хлоридов (ХЛ) с использованием системных реагентов Erba («Erba Lachema s.r.o.», Чехия).

Использовали системные биохимические реагенты для анализатора. Для оценки антиоксидантного статуса (АОС) в пробах сыворотки крови определяли общее количество свободных водорастворимых антиоксидантов (СКВА) амперометрическим методом (хроматограф цвет-Яуза 01-АА, НПО «Химвавтоматика», Россия).

Для измерения концентрации гормонов у свиней брали кровь из яремной вены в утренние часы перед кормлением в начале, середине и конце опыта. Образцы центрифугировали на приборе Hettich ROTOFIX 32 («ANDREAS HETTICH GmbH», Германия) при 4500 об/мин в течение 10 мин. Сыворотку крови отбирали автоматической пипеткой Техно F1 («Ленпипет», Россия) и переносили в пробирки типа Eppendorf (1,5 мл). Пробирки с сывороткой помещали на мультиротатор Multi Bio RS-24 («BioSan», Латвия) на 10-15 мин. Концентрацию общего и свободного тироксина ($T_{4\text{общ}}$ и $T_{4\text{св}}$) и трийодтиронина ($T_{3\text{общ}}$ и $T_{3\text{св}}$), а также тиреотропного гормона (ТТГ), кортизола (CORT), адреналина (ADR), инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1), мелатонина (MT) определяли на

автоматическом микропланшетном фотометре Immunochem-2100 («High Technology, Inc.», США) методом твердофазного иммуноферментного анализа в соответствии с рекомендациями производителя.

Рассчитывали интегральный тиреоидный индекс (ИТИ, соотношение количества гормонов щитовидной железы и их гипофизарного регулятора) и индекс периферической конверсии (ИПК, характеризует тканевое превращение тироксина в его биологически более активный метаболит трийодтиронин): ИТИ = $(T_{3\text{своб.}} + T_{4\text{своб.}})/TTG$; ИПК = $T_{4\text{своб.}}/T_{3\text{своб.}}$.

Контрольный убой проводили в соответствии с «Правилами ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов» (утверждены Главным управлением ветеринарии Министерства сельского хозяйства СССР 27 декабря 1983 года). Непосредственно перед убоем определяли живую массу (ЖМ) свиней после голодной выдержки. После убоя определяли массу парной туши (без головы, ног, хвоста, внутренних органов и внутреннего жира согласно ГОСТ 31476-2012), а также убойный выход (отношение массы парной туши к живой массе перед убоем). Толщину шпика измеряли металлической линейкой над остистыми отростками между 6-м и 7-м грудными позвонками, не считая толщины шкуры. Площадь поперечного разреза длиннейшей мышцы спины в области 10-11-го ребер определяли, нанося отпечаток на бумагу с последующим измерением планиметром в соответствии с методическими рекомендациями (33). Измеряли pH (прибор Testo 205, «Testo SE & Co. KGaA», Германия) через 45 мин после убоя и через 24 ч хранения.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали биометрически методами одно- и двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием критериев Стьюдента, Даннетта и Тьюки в программе STATISTICA 13RU («StatSoft, Inc.», США). Вычисляли среднеарифметические значения (M), стандартные ошибки средних ($\pm SEM$) и уровень значимости (p). Различия считали статистически значимыми и признавали наличие связи между показателями на уровне значимости, не превышающем 0,05.

Результаты. По результатам взвешиваний и учета расхода кормов мы определили абсолютный и среднесуточный приросты ЖМ поросят (ССП), а также затраты кормов на единицу прироста (табл. 1, рис. 1).

1. Живая масса помесных поросят (*Sus scrofa domestica*) F2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] и затраты кормов при введении в рацион комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрокверцетин и витамины Е, С) и моделировании стресса ($M \pm SEM$, физиологический двор ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2022-2023 годы)

Показатель	Группа			
	С- (n = 9)	С+ (n = 9)	Е- (n = 8)	Е+ (n = 8)
Период дорашивания (предварительный период)				
Длительность периода, сут	30	30	30	30
Среднесуточный прирост, г	735,56±20,67	735,93±11,42	730,0±20,03	737,92±22,36
1-й период откорма				
Длительность периода, сут	40	40	40	40
Живая масса в начале откорма, кг	40,97±0,77	40,74±0,39	40,80±0,64	40,91±0,72
Живая масса в конце 1-го периода откорма, кг	78,99±1,64	78,83±0,45	78,16±1,06	79,03±1,78
Валовой прирост, кг	38,02±1,16	38,09±0,26	37,36±0,72	38,11±1,40
Среднесуточный прирост:				
всего, г	950,56±29,05	952,22±6,49	934,06±18,06	952,81±34,93
к контролю (С-), %	100,0	100,2	98,3	100,2
к контролю (С+), %	99,8	100,0	98,1	100,0
2-й период откорма				
Длительность периода, сут	50	50	50	50
Живая масса в конце откорма, кг	126,83±1,98	128,13±1,14	125,99±1,29	128,41±2,83
Валовой прирост, кг	47,84±1,15	49,30±1,19	47,83±1,15	49,39±1,58

Среднесуточный прирост:				
всего, г	984,38±20,33	1014,54±22,30	958,19±17,41*	991,71±38,97
к контролю (С-), %	100,0	103,1	97,3	100,7
к контролю (С+), %	97,0	100,0	94,4	97,7
За весь период				
Длительность периода, сут	90	90	90	90
Валовой прирост, кг	85,87±1,72	87,39±1,26	85,19±1,26	87,50±2,59
Среднесуточный прирост:				
всего, г	968,84±18,58	986,08±13,40	946,99±10,10	973,36±30,95
к контролю (С-), %	100,0	101,8	97,7	100,5
к контролю (С+), %				
Затраты кормов за весь период				
Всего, кг	283,0	283,0	283,0	283,0
Комбикорма:				
всего, кг/кг прироста	3,31±0,07	3,24±0,05	3,33±0,05	3,26±0,10
к контролю (С-), %	100,0	97,9	100,6	98,5
к контролю (С+), %	102,2	100,0	102,8	100,6

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика».

* Различия с контролем (группа С+) статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента при $p < 0,05$.

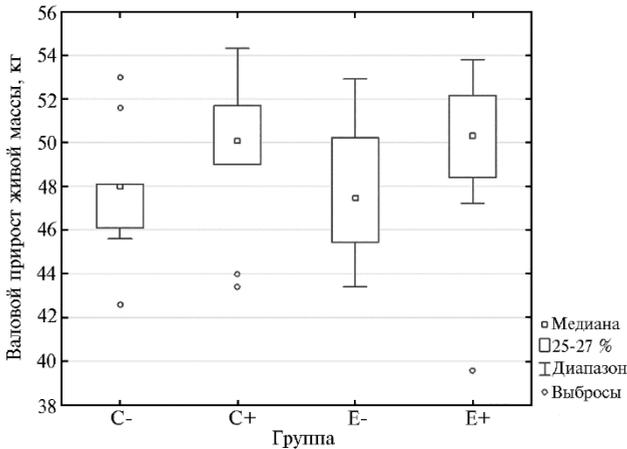


Рис. 1. Абсолютный прирост живой массы у помесных поросят (*Sus scrofa domestica*) F2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] во 2-й период откорма при введении в рацион комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрохверцетин и витамины Е, С) и моделировании стресса (физиологический двор ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2022-2023 годы). Описание групп см. в разделе «Методика».

В период дорастивания ССП составлял 730,0-737,9 г. По результатам 1-го периода откорма животные из опытной группы Е- на фоне моделируемых внешних условий и при уменьшении фронта кормления показали тенденцию к снижению ССП — 934,1 г против 950,6-952,8 г в контрольных и опытной группе Е+, или на 1,7-1,9 %. Следует отметить, что действие ДКВЕС не проявилось при стандартном содержании животных в группе С+, но в группе Е+ ССП был сопоставим с контролем, что указывает на положительное действие ДКВЕС при ограничении фронта кормления (см. табл. 1).

Во 2-й период откорма ССП незначительно отличался от показателя в 1-й период и составил 958,2-1014,5 г, что может свидетельствовать как о большем влиянии средовых факторов, так и об усилении конкуренции. Стандартное содержание животных из группы С- обеспечивало ССП 984,4 г ($p = 0,37$ в сравнении с 1-м периодом откорма), а дополнительное скармливание ДКВЕС (группа С+) — лучшую адаптацию животных ($p = 0,02$ в сравнении с 1-м периодом) и повышение ССП на 3,1 % по сравнению с группой С-.

С увеличением ЖМ (70 кг и более) сильнее проявлялось влияние

ограничения площади станка и фронта кормления ($p = 0,87$ в сравнении с 1-м периодом), вызывающие конкуренцию за корм в группах E- и E+ (см. рис. 1). ССП в группе E- составил 958,2 г, что было на 2,7 % ниже по сравнению с группой C- и на 5,6 % ($p < 0,05$) — по сравнению с группой C+. В то же время скармливание ДКВЕС при ограниченно фронте кормления (группа E+) способствовало сохранению ССП ($p = 0,82$ в сравнении с 1-м периодом).

Таким образом, основной эффект от скармливания ДКВЕС в составе комбикормов проявлялся в стабильном ССП ЖМ при затратах кормов 3,31-3,33 кг/кг прироста в группах без ДКВЕС и 3,24-3,26 кг/кг прироста в группах с ДКВЕС.

Биохимический анализ крови показал (табл. 2), что в 1-й период откорма при большем содержании ОБ в сыворотке крови животных из группы E- (72,1 ммоль/л против 68,1-68,5 ммоль/л, $p > 0,05$) наблюдалось меньшее содержание мочевины (4,5 ммоль/л против 4,6-5,3 ммоль/л, $p > 0,05$), а соотношение А/Г было самым низким (1,13 против 1,16-1,25, $p < 0,05$) среди остальных групп, что может косвенно указывать на худшее усвоение азота под влиянием стресс-фактора. Скармливание ДКВЕС в группе E+ способствовало улучшению показателей. Аналогичная ситуация складывалась и в заключительный период откорма.

Показатель ОБИЛ в группах с дополнительно моделируемым кормовым стрессом (E-, E+) составлял соответственно 1,15 и 1,20 мкмоль/л, или на 33,7 и 39,5 % выше ($p < 0,05$), чем в группе C-, что могло быть следствием усиления окислительного стресса.

Концентрация хлоридов в сыворотке крови подопытных животных из групп E- и E+ по сравнению с группами C- и C+ составила 108,8 и 109,6 ммоль/л против 107,2 и 108,3 ммоль/л, или на 1,5 и 1,2 % больше ($p > 0,05$). В группе E- наблюдалась тенденция к повышению содержания холестерина и ТГ по сравнению с контролем ($p < 0,10$). В этой группе у животных была самая высокая концентрация АЛТ (69,4 МЕ/л) по сравнению с остальными (58,80-59,5 МЕ/л, $p > 0,05$).

При скармливании ДКВЕС в сыворотке крови свиней концентрация железа составила 24,3 и 26,7 мкмоль/л против 29,1 мкмоль/л в контроле, или на 16,5 и 8,2 % меньше ($p > 0,05$), гемоглобина — 122,9 и 120,7 г/л против 124,4 и 129,2 г/л, или на 1,2 и 6,6 % меньше ($p > 0,05$), что, очевидно, связано с усилением окислительно-восстановительных процессов в организме. Воздействие фактора стресса в 1-й период откорма приводило к большему расходованию водорастворимых форм антиоксидантов (СКВА), а скармливание ДКВЕС животным из группы C+, вероятно, обеспечивало их накопление.

Во 2-й период откорма (перед убоем) у животных из групп E- и E+ отмечали меньшее содержание в сыворотке крови мочевины (на 7,6 и 7,8 %) на фоне более высокого количества ОБ (на 3,0 и 1,3 %) и пониженных значений А/Г (на 3,8 и 8,7 %). Показатели по ЩФ и АЛТ у животных группы E- составили 220,5 Е/л против 233,1-272,3 Е/л и 75,2 МЕ/л против 80,3-85,6 МЕ/л ($p > 0,05$). При том, что в группах C- и E- концентрация железа была меньше, в группах C+ и E+ статистически значимо снижалось количество гемоглобина (соответственно 141,3 и 139,8 г/л против 151,5 и 145,5 г/л, или на 6,7 и 3,9 %, $p < 0,01$) и гематокрит (68,9 и 69,0 % против 74,3 и 72,5 %, или на 7,2 и 4,8 %, $p < 0,01$). Достоверно ($p < 0,01$) на 2,3 % увеличилась концентрация хлоридов и прослеживалась тенденция к увеличению (на 42,5 %) ТГ ($p = 0,08$) в сыворотке крови животных из группы E-, что свидетельствовало об их более высокой стрессированности по сравнению

с животными из остальных групп. В группе E+ под действием скормливания ДКВЕС эти показатели улучшались и были на 0,3 и 17,5 % ниже значений в группе E- ($p > 0,05$).

Расчет суммарных величин по периодам роста указал на динамику к повышению содержания кортизола в группе C- по сравнению с предыдущими периодами — 98,1 нмоль/л против 66,6 и 56,8 нмоль/л, или на 47,3 и 72,7 % ($p < 0,01$). В конце откорма наблюдалось повышение количества кортизола у животных из группы E- по сравнению с контролем C- (149,81 против 98,49 нмоль/л, или на 52,1 %, $p < 0,05$) (табл. 3, в графической форме данные представлены на рис. 2, см. <http://www.agrobiology.ru>).

При оценке функционального состояния щитовидной железы интерес представляют интегральный тиреоидный индекс и индекс периферической конверсии, характеризующие количественное соотношение гормонов щитовидной железы и их гипофизарного регулятора и превращение тироксина в трийодтиронин. В 1-й период откорма в сыворотке крови животных из групп C+, E-, E+ не было установлено существенных изменений в концентрации тиреоидных гормонов в сравнении с группой C- (табл. 4, см. рис. 2, <http://www.agrobiology.ru>). Некоторую тенденцию к снижению ($p = 0,11$) у животных, получавших ДКВЕС (группы C+ и E+), продемонстрировал показатель $T_{4\text{общ}}$, что может свидетельствовать о сохранении в организме энергии, необходимой для интенсивного роста. Поддержание более низкого содержания гормонов щитовидной железы может быть одним из механизмов снижения метаболических потребностей. Под действием усугубляющегося стресса в группах E- и E+ в конце откорма относительно групп C- и C+ снижалась концентрация в сыворотке крови $T_{4\text{общ}}$ ($p = 0,02$), $T_{3\text{общ}}$ ($p = 0,05$), $T_{3\text{своб}}$ ($p = 0,004$) при усилении выработки ТТГ ($p = 0,05$) и повышении ИПК ($p = 0,007$).

Взвешивание животных перед убоем (после голодной выдержки) показало, что у свиней в группах C+ и E+ ЖМ составляла 125,1 и 126,1 кг против 124,1 и 125,0 кг в группах C- и E- (снижение соответственно на 0,8 и 0,9 %, $p > 0,05$) (табл. 5). Масса парной туши при этом не имела межгрупповых различий ($p = 0,80$). Убойный выход был выше в группах C-, E-, E+ по сравнению с C+ соответственно на 1,0; 1,1 и 1,1 % ($p = 0,12$). В группе C+ удельный выход субпродуктов составил 14,2 % против 13,5-13,9 % ($p = 0,21$).

Влияние стресс-факторов в группах E отразилось на увеличении массы печени по сравнению с C- и C+ (1,70 кг против 1,59 и 1,66 кг, или на 6,9 и 2,4 % больше, $p < 0,05$) и тенденции к снижению массы селезенки (0,21 и 0,19 кг в группах E- и E+ против 0,22 и 0,24 кг в группах C- и C+, или на 4,5 и 20,8 % меньше, $p = 0,06$). В группе E- фактор стресса приводил к увеличению жирового депо: толщина шпика на пояснице достоверно увеличилась по отношению к C- на 17,8 % ($p < 0,05$). При скормливания ДКВЕС отмечали тенденцию к уменьшению толщины шпика как между 6-м и 7-м грудными позвонками, так и на пояснице. Следует отметить, что скормливание ДКВЕС несущественно отражалось на увеличении pH₄₅ (6,11 и 6,05 в группах C+ и E+ против 5,88 и 5,92 в группах C- и E-, или на 3,9 и 2,2 % больше, $p = 0,37$). Достоверное увеличение pH длиннейшей мышцы спины наблюдалось через 24 ч у животных из группы C+ по сравнению с C- — на 0,9 % ($p < 0,05$). Повышение pH происходило при большей водоудерживающей способности мяса от животных из групп C- и E- по сравнению с C+ и E+ ($p = 0,18$), при этом величина pH была самой высокой у животных группы C-. Качество туш характеризует площадь мышечного глазка, который составил в группах C+ и E+ 67,07 и 64,80 см² и был больше, чем в C- и E-, соответственно на 10,1 и 10,4 %.

2. Морфологические и биохимические показатели крови у помесных поросят (*Sus scrofa domestica*) F₂ [(крупная белая × ландрас) × дюрок] при введении в рацион комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрокверцетин и витамины Е, С) и моделировании стресса ($M \pm SEM$, физиологический двор ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2022-2023 годы)

Показатель	Начало опыта (n = 15)	1-й период откорма				2-й период откорма			
		группа							
		C- (n = 5)	C+ (n = 5)	E- (n = 5)	E+ (n = 5)	C- (n = 9)	C+ (n = 9)	E- (n = 8)	E+ (n = 8)
Общий белок, г/л	65,20±0,77	68,14±2,63	68,52±1,17	71,24±2,20	68,40±2,00	79,60±1,87	78,57±1,20	81,99±1,57	79,56±1,47
Альбумин (А), г/л	35,10±0,50	37,78±1,44	37,28±0,71	37,64±0,95	36,74±2,05	45,02±0,92	45,47±0,52	45,50±0,83	44,28±1,04
Глобулин (Г), г/л	30,20±0,51	30,36±1,25	31,24±0,91	33,60±1,49	31,66±0,75	34,58±1,36	33,10±1,02	36,49±1,31	35,29±0,92
Креатинин, мкмоль/л	114,80±1,74	134,38±1,82	134,18±3,94	139,16±12,94	133,14±5,88	168,08±5,46	168,20±5,83	169,98±7,80	164,73±4,25
Мочевина, ммоль/л	5,08±0,29	5,27±0,64	4,64±0,31	4,54±0,29	4,83±0,12	7,26±0,38	6,95±0,25	6,71±0,58	6,41±0,53
АСТ, МЕ/л	37,10±1,98	40,24±7,09	36,18±3,12	37,74±4,08	33,84±3,71	75,76±9,03	60,71±5,26	78,30±16,69	76,51±11,77
АЛТ, МЕ/л	57,10±2,33	58,80±4,95	58,92±2,56	69,36±7,01	59,54±5,80	82,30±4,76	80,34±4,48	75,23±5,14	85,64±5,24
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	259,50±18,71	249,80±29,06	221,40±11,17	248,60±18,95	250,60±22,11	241,44±10,94	233,11±11,59	220,50±8,68	272,25±22,56
Билирубин общий, мкмоль/л	1,05±0,04	0,86±0,07	0,90±0,06	1,15±0,07**	1,20±0,10	3,79±0,40	4,15±1,00	3,43±0,90	4,35±1,00
Холестерин общий, ммоль/л	2,50±0,11	2,67±0,14	2,52±0,10	2,97±0,13†	2,67±0,12	2,97±0,11	2,80±0,11	3,06±0,12	3,11±0,12
Триглицериды, ммоль/л	0,37±0,02	0,39±0,04	0,39±0,06	0,44±0,03†	0,34±0,05	0,40±0,03	0,41±0,03	0,57±0,09	0,47±0,04
Глюкоза, ммоль/л	5,80±0,13	6,18±0,30	6,53±0,49	6,38±0,66	6,06±0,56	5,59±0,39	5,56±0,28	5,57±0,18	5,72±0,25
Кальций, ммоль/л	3,04±0,02	3,05±0,03	3,15±0,04†	3,05±0,06	3,05±0,09	3,10±0,04	3,10±0,05	3,14±0,03	3,13±0,08
Фосфор, ммоль/л	3,41±0,07	3,09±0,03	3,03±0,11	3,15±0,08	3,30±0,15	3,09±0,07	2,97±0,13	3,12±0,06	2,99±0,09
Магний, ммоль/л	0,96±0,07	1,27±0,08	1,17±0,06	1,20±0,07	1,29±0,06	1,05±0,03	1,00±0,06	1,02±0,05	1,04±0,02
Железо, мкмоль/л	35,80±1,75	29,11±3,22	24,34±2,59	29,13±1,67	26,69±0,98	21,70±1,90	23,50±2,21	21,87±1,78	24,15±3,30
Хлориды, ммоль/л	108,30±0,40	107,16±0,91	108,34±0,47	108,84±0,58	109,58±1,19	109,74±0,48	109,31±1,35	112,21±0,76**	111,86±1,11†
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	24,20±0,89	32,21±1,73	29,17±1,99	31,54±1,71	29,71±2,59	23,67±1,71	23,45±1,07	23,61±1,46	23,63±2,04
Эритроциты, ×10 ¹² /л	11,00±0,27	5,62±0,26	5,55±0,11	5,60±0,20	5,36±0,15	12,03±0,12	11,40±0,36	12,16±0,38	11,59±0,32
Гемоглобин, г/л	106,20±2,48	124,42±2,22	122,92±2,15	129,20±2,35	120,74±6,23	151,53±0,89	141,34±3,64**	145,54±4,76	139,76±2,84***
Гематокрит, %	59,4±1,48	29,91±0,71	29,60±0,44	31,28±0,81	29,79±1,47	74,34±1,01	68,93±1,60**	72,49±1,78	69,00±1,35**
A/G	1,17±0,02	1,25±0,02	1,20±0,04	1,13±0,04*	1,16±0,08	1,31±0,05	1,38±0,04	1,26±0,05	1,26±0,04
Ca/P	1,16±0,03	1,27±0,01	1,35±0,06	1,25±0,02	1,20±0,07	1,30±0,03	1,37±0,07	1,30±0,03	1,36±0,03
СКВА, мг/л	10,76±0,26	13,79±1,34	17,0±1,63	12,04±0,80*	9,60±0,54**	10,93±1,21	9,54±1,61	11,23±1,30	10,98±1,17

Примечание. АСТ — аспартатаминотрансфераза, АЛТ — аланинаминотрансфераза, СКВА — суммарное количество водорастворимых антиоксидантов. Описание групп см. в разделе «Методика».

*, **, *** Различия к контролю (C-) статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента соответственно при $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$; † — тенденция к достоверности ($p < 0,1$).

3. Содержание различных гормонов в сыворотке крови помесных поросят (*Sus scrofa domestica*) F₂ [(крупная белая × ландрас) × дюрок] при введении в рацион комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрокверцетин и витамины Е, С) и моделировании стресса ($M \pm SEM$, физиологический двор ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2022-2023 годы)

Группа	Показатель			
	CORT, нмоль/л	ADR, нг/мл	IGF-1, нг/мл	MT, пг/мл
Общая выборка ($n = 8$)	66,62±16,24	2,59±0,56	178,20±3,74	201,42±34,46
	В начале опыта			
	1 - й период откорма			
C- ($n = 5$)	69,02±24,72	2,98±0,39	161,84±14,41	209,88±83,26
C+ ($n = 5$)	66,33±12,86	1,84±0,50	156,53±5,99	221,18±69,98
E- ($n = 5$)	47,73±5,11	3,05±0,80	174,52±4,96	326,73±75,46
E+ ($n = 5$)	44,14±11,40	3,48±0,75	165,56±11,52	246,88±60,82
В среднем по группам ($n = 20$)	56,80±8,92	2,85±0,30	164,61±4,83†	251,17±35,02
p-value, фактор группы 1 (C, E)	0,085	0,197	0,294	0,342
p-value, фактор группы 2 («-», «+»)	0,794	0,580	0,486	0,644
p-value, фактор группы 1 × фактор группы 2	0,970	0,236	0,858	0,540
	2 - й период откорма			
C- ($n = 5$)	98,49±23,70	34,21±27,36	140,99±12,54	457,62±102,96
C+ ($n = 5$)	75,23±22,44	13,80±9,97	163,68±7,46	458,67±100,00
E- ($n = 5$)	149,81±20,79	66,44±0,59	142,05±11,48	292,15±72,75
E+ ($n = 5$)	68,88±29,16	2,10±0,68	162,81±20,77	179,78±17,21
В среднем по группам ($n = 20$)	98,10±16,83*	25,29±10,23†	152,38±6,86	347,06±45,95†
p-value, фактор группы 1 (C, E)	0,248	0,655	0,995	0,014
p-value, фактор группы 2 («-», «+»)	0,014	0,085	0,138	0,501
p-value, фактор группы 1 × фактор группы 2	0,144	0,375	0,946	0,493

П р и м е ч а н и е . Описание групп и вариантов см. в разделе «Методика». CORT — кортизол, ADR — адреналин, IGF-1 — инсулиноподобный фактор роста 1, MT — мелатонин.

* Различия по сравнению с предыдущим периодом статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента при $p < 0,01$; † — тенденция к достоверности ($p < 0,1$).

4. Содержание тиреоидных гормонов и ТТГ в сыворотке крови помесных поросят (*Sus scrofa domestica*) F2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] при введении в рацион комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрокверцетин и витамины Е, С) и моделировании стресса ($M \pm SEM$, физиологический двор ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2022–2023 годы)

Группа	Показатель				Индекс		
	T ₄ общ., нМоль/л	T ₄ своб., пМоль/л	T ₃ общ., нМоль/л	T ₃ своб., пМоль/л	ТТГ, мМЕ/л	ИТИ	ИПК
Общая выборка ($n = 8$)	51,44±4,19	19,86±1,64	2,30±0,10	5,25±0,49	0,32±0,12	127,70±48,15	3,92±0,55
	В начале опыта						
	1 - й период откорма						
C- ($n = 5$)	55,06±4,48	20,89±1,13	2,38±0,13	5,48±0,48	0,23±0,06	139,76±36,24	3,86±0,29
C+ ($n = 5$)	52,45±5,58	21,79±1,51	2,36±0,19	5,26±0,72	0,23±0,11	296,23±197,73	4,32±0,60
E- ($n = 5$)	59,10±4,32	20,91±1,32	2,11±0,18	5,49±0,79	0,25±0,10	168,62±69,17	3,93±0,38
E+ ($n = 5$)	51,16±2,02	20,03±1,17	2,36±0,16	5,49±0,65	0,21±0,08	199,05±87,53	3,74±0,38
В среднем по группам ($n = 20$)	54,44±1,72	20,91±0,49	2,30±0,07	5,43±0,24	0,23±0,03	200,91±44,15	3,96±0,16
p-value, фактор группы 1 (C, E)	0,69	0,38	0,32	0,80	0,94	0,70	0,44
p-value, фактор группы 2 («-», «+»)	0,11	0,99	0,40	0,82	0,77	0,29	0,67
p-value, фактор группы 1 × фактор группы 2	0,38	0,68	0,44	0,99	0,98	0,63	0,64
	2 - й период откорма						
C- ($n = 5$)	41,90±3,00**	19,07±1,52	2,23±0,10	4,91±0,09	0,21±0,12	206,61±80,00	3,88±0,27
C+ ($n = 5$)	38,64±4,02**	17,64±1,89†	2,13±0,24	3,66±0,93	0,22±0,07	144,69±70,27	6,09±2,13
E- ($n = 5$)	36,84±4,57***	18,34±1,57	2,08±0,26	3,10±0,99**	0,51±0,26	263,78±257,37	7,42±2,10††
E+ ($n = 5$)	27,97±3,37***	16,15±2,05†	1,43±0,28**	1,38±0,32***	0,46±0,19*	69,68±39,09†	12,85±2,30***
В среднем по группам ($n = 20$)	36,34±1,84	17,80±0,69	1,97±0,11	3,26±0,39	0,35±0,07	171,19±54,02	7,56±1,04
p-value, фактор группы 1 (C, E)	0,02	0,42	0,05	0,004	0,05	0,93	0,007
p-value, фактор группы 2 («-», «+»)	0,09	0,19	0,09	0,050	0,90	0,23	0,060
p-value, фактор группы 1 × фактор группы 2	0,02	0,50	0,03	0,003	0,30	0,63	0,004

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». T₄общ. — общий тироксин, T₄своб. — свободный тироксин, T₃общ. — общий трийодтиронин, T₃св. — свободный трийодтиронин, ТТГ — тиреотропный гормон, ИТИ — интегральный тиреоидный индекс, ИПК — показатель превращения тироксина в трийодтиронин.
*, **, *** Различия по сравнению с предыдущим периодом статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента соответственно при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$; † — тенденция к достоверности $p < 0,1$.

В современном интенсивном животноводстве все более актуально применение биологически активных веществ как природного, так и синтетического происхождения для снижения воздействия факторов стресса (31, 34-36). Так, исследование, выполненное на новорожденных буйволах, получавших и не получавших витамин Е (ацетат DL- α -токоферола), подтвердило, что добавка витамина Е приводит к улучшению роста, метаболического и эндокринного профиля животных (37).

Кортизол — стероидный гормон, основной представитель глюкокортикоидов, который вырабатывается в пучковой зоне коры надпочечников под контролем аденокортикотропного гормона (АКТГ) гипофиза. Его выработка зависит от совокупности поступающих нейрональных и гуморальных стимулов, а также содержания кортизола в крови (по принципу отрицательной обратной связи) (9). Кортизол регулирует обмен белков, жиров углеводов, воды и электролитов, участвует в регуляции воспалительных реакций и ответе на действие стресс-факторов, участвует в развитии адаптационного синдрома (38, 39). Воздействуя на белковый обмен, кортизол повышает синтез белков в печени и угнетает его в мышечной, костной и лимфоидной тканях. В результате катаболического и антианаболического действия высвобождаются аминокислоты, которые захватываются печенью, дезаминируются и превращаются в углеводы (40, 41). При стрессе глюкокортикоиды способствуют повышению количества глюкозы в крови. В наших исследованиях содержание глюкозы у животных подопытных групп оставалось в пределах нормативных значений и не имело межгрупповых различий (см. табл. 2). Также в норме было содержание креатинина (характеризует скорость креатинфосфокиназной реакции и скорость набора мышечной массы тела) у всех животных, которое соответствовало высоким приростам ЖМ поголовья.

У животных из группы Е- наблюдалась тенденция к повышению количества ТГ в 1-й период откорма (0,44 ммоль/л против 0,34-0,39 ммоль/л, $p < 0,10$), что указывает на их стрессированность. Значения АСТ (маркер повреждения печени и органов сердечно-сосудистой системы) были в норме у всех поросят на протяжении эксперимента, но наиболее высокие значения наблюдались в группе Е- (78,3 МЕ/л против 60,7-76,5 МЕ/л в конце откорма, $p > 0,05$). Скармливания ДКВЕС оказывало явное влияние на количество АСТ (в группах Е+ против Е- и С+ против С- соответственно на 10,0 и 10,3 %) (см. табл. 2).

Важно, что на 1-м этапе откорма кормовой стресс приводил к некоторому снижению содержания кортизола в сыворотке крови животных (47,7 и 44,1 нмоль/л в группах Е- и Е+ против 69,0 и 66,33 нмоль/л в группах С- и С+, или на 30,9 и 33,5 %) (см. табл. 3, рис. 2). Предполагается, что моделируемый стресс, вызванный конкуренцией за корм, мог спровоцировать дополнительную физическую активность, что было некоторой тренировкой для животных. В то же время при усилении пищевой конкуренции скармливание ДКВЕС приводило к существенному снижению уровня кортизола в сыворотке крови в заключительный период откорма ($p = 0,014$).

Адреналин синтезируется в мозговом веществе надпочечников, является производным аминокислоты тирозина и относится к группе катехоламинов. Адреналин усиливает реакцию нервной системы и гормонов. В то же время АDR снижает реакции, связанные с пищеварением, которые напрямую не ассоциированы со стрессом (42). Если в начале опыта и в 1-й период откорма концентрация адреналина в сыворотке крови поросят была низкой (соответственно 2,59 и 2,85 нг/мл), то при убое она имела тенденцию к изменению ($p = 0,07$). При этом мы не выявили зависимость между

концентрацией адреналина в сыворотке крови и принадлежностью к определенной группе, но проявлялась отчетливая тенденция к снижению показателя у животных, которые получали ДКВЕС (группы С+ и Е+) относительно групп С- и Е- ($8,60 \pm 5,14$ против $50,32 \pm 20,91$, или в 5,9 раза, $p = 0,09$). Скармливание ДКВЕС в значительной степени способствовало устойчивости животных к стрессу, о чем свидетельствовали уровни адреналина и кортизола перед убоем (см. табл. 3, рис. 2).

Добавки в рационы биологически активных ингредиентов различного происхождения могут способствовать секреции инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1), что влияет на продуктивность животных и птицы (43). Скармливание растительных экстрактов может улучшить показатели роста и усвояемость питательных веществ у растущих свиней, уменьшить выделение газов с фекалиями и повысить содержание компонентов, связанных с иммунным ответом, таких как лейкоциты и лимфоциты, а также концентрацию IGF-1 в сыворотке крови (44).

G. Liu и соавт. (45) сообщили, что добавление в корм растительных экстрактов привело к увеличению среднесуточного прироста массы тела, содержания IGF-1 в сыворотке крови и мРНК рецептора IGF-1 в тканях (желудок, 12-перстная кишка, мышцы) у свиней. В нашем исследовании количество IGF-1 в сыворотке крови свиней в начале опыта составляло $178,2$ нг/мл (см. табл. 3, рис. 2). В возрасте 140 сут мы не отмечаем межгрупповых различий, но прослеживалась общая тенденция к снижению содержания IGF-1 ($p = 0,10$). На 180-е сут она сохранялась ($p = 0,03$). Тем не менее под влиянием ДКВЕС в период заключительного откорма содержание IGF-1 имело небольшую тенденцию к увеличению в группах С+ и Е+ по сравнению с группами С- и Е- ($163,7$ и $162,8$ против $141,0$ и $142,1$ нг/мл, или на $16,1$ и $14,6$ %, $p = 0,14$), что коррелировало с более интенсивными приростами массы тела у животных. Полученные результаты свидетельствовали о том, что добавка ДКВЕС, обладая антиоксидантными свойствами, улучшала показатели роста и, по-видимому, тканеспецифически регулировала количество мРНК IGF-1R. Кроме того, полученные данные могут иметь значение для определения физиологической роли системы IGF-1 в маркерном контроле роста свиней.

Мелатонин рассматривают как наиболее эффективный антиоксидант в организме. Он обладает как прямой антиоксидантной активностью, так и непрямой, стимулируя другие антиоксидантные системы. МТ напрямую связывает гидроксил, супероксид-анион, пероксид водорода, синглетный кислород, периксинитрит и оксид азота. МТ также стимулирует активность каскада ферментов, в частности внутриклеточной супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы и каталазы (46). Эндогенный МТ способен модулировать количество NO в митохондриях и, как следствие, циркадианный ритм окислительного фосфорилирования и гликолиза *in vivo*. Мы не обнаружили статистически значимых различий в содержании мелатонина в сыворотке крови между первым и вторым отбором проб (см. табл. 3), то есть стресс и обращение с животными при взятии крови не влияли на изменение концентрации МТ. Тем не менее в группе Е- показатель МТ был наибольшим в 1-й период откорма ($326,7$ пг/мл) по сравнению с контрольными группами ($209,9$ и $221,2$ пг/мл, $p > 0,05$). Скармливание ДКВЕС в группе Е+ приводило к снижению МТ до $246,9$ пг/мл, или на $24,4$ % по сравнению с Е-. Интересно, что в конце опыта концентрация МТ в сыворотке крови животных из групп С- и С+ увеличилась по сравнению с 1-м периодом откорма на $218,2$ и $207,4$ % ($p < 0,05$), но скармли-

вание ДКВЕС не повлияло на этот показатель. В то же время следует отметить статистически значимое снижение МТ в группах Е- и Е+ по сравнению с контрольными соответственно на 36,2 и 60,8 % ($p = 0,01$), то есть усиление пищевой конкуренции приводило не к увеличению, а к снижению содержания МТ. Более того, скармливание ДКВЕС в группе Е+ нормализовало показатель до значений, установленных при 1-м и 2-м взятии крови.

Потребительские предпочтения в отношении мяса, как правило, определяются его физическими характеристиками, тогда как пищевая ценность связана с химическим составом. Экзогенный мелатонин негативно влияет на рН мышц и скорость потери воды у откормочных свиней, но это может в некоторой степени зависеть от дозы мелатонина (47). Инъекции мелатонина также влияют на качество свинины (48).

В работе Y. Zhou и соавт. (30) использование ДКВ (15 мг/кг ЖМ) увеличивало концентрацию в крови производных тестостерона, антиоксидантов (мелатонина и бетаина), ненасыщенных жирных кислот (докозагексаеновой кислоты, ДНА) и полезных аминокислот (пролина). Таким образом, повышение уровня мелатонина у поросят в нашем эксперименте, очевидно, было необходимой реакцией на стресс и предубойную выдержку, при этом у свиней из группы Е+ концентрация мелатонина не изменилась, что свидетельствует о значительной роли комплекса ДКВЕС в предубойный период.

Функция щитовидной железы и активность тиреоидных гормонов считаются решающими для поддержания продуктивных показателей у домашних животных (49). Повышенная секреция гормона щитовидной железы активизирует метаболизм и, следовательно, выработку тепла. S. Zhang с соавт. (50) показали, что концентрация гормонов кортизола, Т₃, Т₄ в сыворотке крови растущих свиней с ЖМ 25 кг снижалась по мере увеличения температуры окружающей среды с 18 до 32 °С, при этом количество Т₄ при 18 °С превышало показатели при 27, 29 и 32 °С ($p < 0,05$).

Знание механизмов, лежащих в основе колебаний содержания ТТГ и гормонов щитовидной железы, важно для понимания процессов адаптации животных (51). На генетические факторы приходится до 65 % межиндивидуальных вариаций уровня ТТГ и гормонов щитовидной железы (52, 53), но другие факторы также могут влиять на ее функцию. К таким факторам относят возраст и пол (54, 55), внутренние факторы (микробиота) (56), стресс (57), применение лекарственных средств (20) и факторы окружающей среды (58, 59).

В нашем эксперименте в заключительный период откорма произошли существенные сдвиги в гормональном статусе животных (табл. 4). Под действием стресса (группы С против групп Е) снижались концентрации Т₄общ. ($p = 0,02$), Т₃общ. ($p = 0,05$), Т₃своб. ($p = 0,004$), что сопровождалось усилением продукции ТТГ ($p = 0,05$). Функции щитовидной железы, гипофиза и гипоталамуса согласованы, и это обеспечивает контроль содержания тиреоидных гормонов. Если в крови недостаточно тиреоидных гормонов, гипофиз увеличивает выработку тиреотропного гормона (ТТГ), который стимулирует продукцию гормонов железой. Как только уровень гормонов щитовидной железы восстанавливается, синтез ТТГ замедляется и его количество приближается к норме. На этом фоне ИПК (показатель тканевого превращения тироксина) увеличивался в несколько раз ($p = 0,007$), что дополнительно свидетельствует о достаточно сильном влиянии стресса на организм животного. Скармливание ДКВЕС при пищевом стрессе не-

сколько сглаживало отрицательное влияние моделируемого фактора, приводя к дополнительной регуляции и уменьшению метаболических потерь организма. Самые низкие значения $T_{4\text{общ.}}$, $T_{4\text{своб.}}$, $T_{3\text{общ.}}$, $T_{3\text{своб.}}$ были выявлены в группе E+. Следует отметить, что в группе E+ показатели ТТГ и ИТИ снижались до 0,46 мМЕ/л и 69,7 ед. против 0,51 мМЕ/л и 263,8 ед., или на 9,8 и 73,6 %, в группе E– при снижении конверсии $T_{4\text{своб.}}$ в $T_{3\text{своб.}}$ — в 1,73 раза (см. табл. 4, рис. 2).

При моделируемом стрессе добавка ДКВЕС обеспечила лучшую физиологическую реакцию в период испытаний (см. табл. 2). Сочетание ДКВ с витаминами С и Е усиливало механизм антиоксидантной защиты: в 1-й период откорма под влиянием стресса расходовались водорастворимые формы антиоксидантов (СКВА): по данным двухфакторного анализа группы E против групп С — $p < 0,001$; группы «–» против групп «+» — $p = 0,74$; под влиянием двух факторов одновременно — $p = 0,03$ (см. табл. 2). Отчетливо прослеживался эффект стресса в группах E (снижение количества водорастворимых форм антиоксидантов по сравнению с группой С+). В заключительный период откорма оба фактора (стресс и скармливание ДКВЕС) не влияли на показатель СКВА в крови ($p > 0,05$).

Как уже отмечалось, от физиологических и поведенческих реакций животного перед убоем зависит качество мяса (39, 60), включая изменение содержания метаболитов и гликогена (61, 62). Мы оценивали качество свинины согласно ГОСТ 7269–2015 по показателям, имеющим наиболее важное значение при розничной торговле мясом, — ВУС, цвет, рН. В образцах мышечной ткани от туш из групп С+, E–, E+ отмечалось незначительное снижение ВУС ($p = 0,18$) по сравнению с группой С– (см. табл. 5). Значение рН образцов мышечной ткани свиней из группы С+ ($5,72 \pm 0,02$) было существенно лучше ($p < 0,05$) показателей группы С– ($5,67 \pm 0,02$). Полученный результат можно связать с применением ДКВЕС, что препятствовало снижению рН после убоя за счет улучшения стрессоустойчивости животных и антиоксидантного эффекта ДКВЕС *ex vivo*. На фоне моделируемого стресса значение рН образцов мышечной ткани свиней группы E– также имело тенденцию к улучшению по сравнению с контрольной группой С– ($p < 0,10$). Ранее мы показали (29, 32), что модуляция стрессов (социальных, технологических) в группах сопровождается тренировкой организма в конкурентной среде, что, по-видимому, проявилось и в этом случае.

5. Предубойные, убойные показатели и качество мяса у помесных поросят (*Sus scrofa domestica*) F2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] при введении в рацион комплекса адаптогенов ДКВЕС (дигидрокверцетин и витамины Е, С) и моделировании стресса ($M \pm \text{SEM}$, физиологический двор ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2022–2023 годы)

Показатель	Группа				P-value
	C–	C+	E–	E+	
	n = 9	n = 9	n = 8	n = 8	
Живая масса после голодной выдержки, кг	124,06±1,95	125,13±1,14	124,99±1,48	126,16±2,31	0,87
Длина туши, см	117,22±1,59	114,78±1,95	115,00±1,65	114,63±2,18	0,72
Масса парной туши, кг	83,01±0,44	82,45±0,26	82,93±0,42	83,22±0,28	0,80
Убойный выход, %	74,97±0,46	73,95±0,29†	75,01±0,36	75,01±0,32	0,12
Масса головы (с языком), кг	8,06±0,21	8,77±0,38	8,03±0,20	8,40±0,30	0,22
Масса ног, кг	1,92±0,06	1,86±0,04	1,88±0,03	1,96±0,08	0,56
Масса печени, кг	1,59±0,03	1,66±0,03	1,70±0,03*	1,70±0,05†	0,15
Масса почек, кг	0,40±0,01	0,41±0,02	0,41±0,02	0,41±0,02	0,97
Масса сердца, кг	0,46±0,02	0,50±0,02	0,49±0,02	0,49±0,01	0,25
Масса селезенки, кг	0,22±0,01	0,24±0,02	0,21±0,01	0,19±0,01*	0,06
Масса легких, кг	0,81±0,04	0,81±0,08	0,88±0,08	0,77±0,04	0,65

Итого масса субпродуктов, кг	13,46±0,23	14,24±0,34	13,60±0,17	13,91±0,33	0,21
Выход субпродуктов, % к массе парной туши	14,48±0,22	15,41±0,44†	14,51±0,17	14,71±0,26	0,11
Толщина хребтового шпика между 6-м и 7-м грудными позвонками (без толщины шкуры), мм	28,67±1,67	27,56±1,91	28,38±1,99	24,50±1,46†	0,36
Толщина хребтового шпика на пояснице (без толщины шкуры), мм	16,56±0,80	16,89±2,31	19,50±1,10*	15,50±2,00	0,42
pH длиннейшей мышцы спины через 45 мин после убоя, ед.	5,88±0,11	6,11±0,10	5,92±0,12	6,05±0,11	0,37
pH длиннейшей мышцы спины после 24 ч хранения, ед.	5,67±0,02	5,72±0,02*	5,73±0,03†	5,70±0,03	0,21
Категория туш по ГОСТ Р 31476-2012	2-я	2-я	2-я	2-я	
Площадь мышечного глазка, см ²	58,75±3,02	64,70±2,69	58,68±2,62	64,80±4,23	0,32
ВУС, %	70,96±1,81	67,07±0,89†	68,48±1,20	67,42±1,32	0,18
СКВА, мг/г	0,11±0,01	0,12±0,01	0,11±0,01	0,10±0,00	0,45

Пр и м е ч а н и е. Описание групп см. в разделе «Методика». ВУС — влагоудерживающая способность, ВУС — водоудерживающая способность, СКВА — суммарное количество водорастворимых антиоксидантов.

* Различия с контролем (С-) по *t*-критерию Стьюдента статистически значимы при $p < 0,05$; † — тенденция к достоверности $p < 0,1$.

Через 24 ч после убоя значения pH образцов мышечной ткани поросят в группе E+ были сопоставимы с данными группы С+ — соответственно $5,70±0,03$ и $5,72±0,02$ ($p > 0,05$), что указывает на действие ДКВЕС. По показателю pH образцы мяса в группе E+ не уступали образцам группы С+.

В современном животноводстве применение биологически активных противострессовых препаратов природного происхождения признается более предпочтительным (63). Исследования по нескольким биохимическим параметрам у свиней разных генотипов свидетельствуют о том, что местные животные более адаптированы к меняющимся условиям среды (64). Использование кормовых средств, в частности антиоксидантных добавок, может значительно повысить сопротивляемость организма и снизить стрессовую нагрузку (65), что достигается благодаря гормональной регуляции функций и повышению антиоксидантного статуса организма.

Итак, моделируемый стресс (дополнительная пищевая конкуренция в период откорма) привел к выработке гормонов стресса. При этом значительно снижается антиоксидантная защита организма, о чем свидетельствовало уменьшение содержания мелатонина и свободных антиоксидантов в сыворотке крови боровков F2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок]. Стресс негативно сказался на метаболических процессах, индикаторами которых служили биохимические показатели крови (в частности, концентрация общего белка, триглицеридов, холестерина, хлоридов, общего билирубина, аспартатаминотрансферазы). Под действием стресса также снижалась концентрация тиреоидных гормонов и усиливалась выработка тиреотропного гормона, а также повышался индекс периферической конверсии (ИПК), характеризующий тканевое превращение тироксина в трийодтиронин. Стресс значительно повлиял на качество продукции. Комплекс антиоксидантов (дигидрохверцетин и витамины E, C), использованный в качестве кормовой добавки, улучшал метаболические процессы, включая белковый и минеральный обмен, повышал защитные функции организма, усвоение питательных веществ, способность животных адаптироваться к стрессу. Эффект антиоксидантной кормовой добавки проявлялся в течение всего периода откорма. В результате были улучшены характеристики получаемой продукции (убойные показатели, качество мяса).

ЛИТЕРАТУРА

1. Афиногенова С.А., Булатов А.А., Гончарова В.Н. *Биохимия гормонов и гормональной регуляции*. М., 1976.

2. Terlouw E.M.C., Arnould C., Auperin B., Berri C., Bihan-Duval E. Le, Deiss V., Lefèvre F., Lensink B.J., Mounier L. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal*, 2008, 2(10): 1501-1517 (doi: 10.1017/S1751731108002723).
3. Durosaro S.O., Iyasere O.S., Ilori B.M., Oyeniran V.J., Ozoje M.O. Molecular regulation, breed differences and genes involved in stress control in farm animals. *Domestic Animal Endocrinology*, 2023, 82: 106769 (doi: 10.1016/j.domaniend.2022.106769).
4. Lindblom S.C., Gabler N.K., Dilger R.N., Olson Z.F., Loving C.L., Kerr B.J. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil on oxidative status in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(2): 545-557 (doi: 10.1093/jas/sky005).
5. de Oliveira M.J.K., Melo A.D.B., Marzal D.A., Valini G.A. da C., Silva C.A., Veira A.M., Fraga A.Z., Arnaut P.R., Campos P.H.R.F., dos Santos L.S., Htoo J.K.K., Brand H.G., Hauschild L. Effects of lowering dietary protein content without or with increased protein-bound and feed-grade amino acids supply on growth performance, body composition, metabolism, and acute-phase protein of finishing pigs under daily cyclic heat stress. *Journal of Animal Science*, 2023, 101: skac387 (doi: 10.1093/jas/skac387).
6. Ijiri M., Odo K., Sato M., Kawaguchi M., Fujimoto Y., Miura N., Matsuo T., Hou D.X., Yamato O., Tanabe T., Kawaguchi H. Potential biomarkers for chronic seasonal heat stress in kagoshima berkshire pigs reared in the subtropical region. *Journal of Veterinary Research*, 2022, 66(2): 209-214 (doi: 10.2478/jvetres-2022-0024).
7. Rey A.I., Almudena de-Cara, Calvo L., Puig P., Hechavarría T. Changes in plasma fatty acids, free amino acids, antioxidant defense, and physiological stress by oleuropein supplementation in pigs prior to slaughter. *Antioxidants*, 2020, 9(1): 56 (doi: 10.3390/antiox9010056).
8. Miller D.B., O'Callaghan J.P. Neuroendocrine aspects of the response to stress. *Metabolism*, 2002, 51(6): 5-10 (doi: 10.1053/meta.2002.33184).
9. Petrosus E., Silva E.B., Lay D. Jr., Eicher S. D. Effects of orally administered cortisol and norepinephrine on weanling piglet gut microbial populations and Salmonella passage. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(11): 4543-4551 (doi: 10.1093/jas/sky312).
10. Yu C.-H., Chen C.-Y., Chang C.-C. The immediate effects of weaning stress on the hypothalamus-pituitary-adrenal alteration of newly weaned piglets. *Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2019, 103(4): 1218-1223 (doi: 10.1111/jpn.13104).
11. Cassar-Malek I., Picard B., Kahl S., Hocquette J.F. Relationships between thyroid status, tissue oxidative metabolism, and muscle differentiation in bovine fetuses. *Domestic Animal Endocrinology*, 2007, 33(1): 91-106 (doi: 10.1016/j.domaniend.2006.04.011).
12. Bi C., Yin J., Yang W., Shi B., Shan A. Effects of dietary γ -aminobutyric acid supplementation on antioxidant status, blood hormones and meat quality in growing-finishing pigs undergoing transport stress. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 2020, 104(2): 590-596 (doi: 10.1111/jpn.13280).
13. Kota S.K., Gayatri K., Jammula S., Meher L.K., Kota S.K., Krishna S.V.S., Modi K.D. Fetal endocrinology. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2013, 17: 568-579 (doi: 10.4103/2230-8210.113722).
14. Gritsenko S., Belookov A., Belookova O., Derkho M., Sereida T., Vereshchaga O., Koruhov D., Fedoseeva N. Assessment of blood parameters of pigs of different breeds and its interrelation with lifetime animal performance indicators. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 2020, 29(5s): 1411-1417.
15. Wan X., Wang D., Xiong Q., Xiang H., Li H., Wang H., Liu Z., Niu H., Peng J., Jiang S., Chai J. Elucidating a molecular mechanism that the deterioration of porcine meat quality responds to increased cortisol based on transcriptome sequencing. *Sci. Rep.*, 2016, 6(36589): 14 (doi: 10.1038/srep36589).
16. Puppel K., Kapusta A., Kuczyńska B. The etiology of oxidative stress in the various species of animals, a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 95(11): 2179-2184 (doi: 10.1002/jsfa.7015).
17. Хайдаров Ш.Т., Туйчибоев Ж., Жамолдинов А., Джаббарова Г.М.-К., Зарипова М.Р., Юсупова У.Р. Сравнительный анализ антиоксидантной активности кверцетина и дигидро-кверцетина при экспериментальном гипотиреозе. *Universum: химия и биология*, 2021, 4(82).
18. Kalyanaraman B. Teaching the basics of redox biology to medical and graduate students: Oxidants, antioxidants and disease mechanisms. *Redox Biology*, 2013, 1(1): 244-257 (doi: 10.1016/j.redox.2013.01.014).
19. Prevatto J.P., Torres R.C., Diaz B.L., e Silva P M.R., Martins M.A., Carvalho V.F. Antioxidant treatment induces hyperactivation of the HPA axis by upregulating ACTH receptor in the adrenal and downregulating glucocorticoid receptors in the pituitary. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 2017: 4156361 (doi: 10.1155/2017/4156361).
20. Montanelli L., Benventa S., Hegedüs L., Vittì P., Latrofa F., Duntas L.H. Drugs and other substances interfering with thyroid function. In: *Thyroid diseases. Endocrinology* /P. Vittì, L. Hegedüs (eds.). Springer, Cham, Switzerland, 2018 (doi: 10.1007/978-3-319-29195-6_27-1).
21. Semenova A.A., Nasonova V.V., Kuznetsova T.G., Tunieva E.K., Bogolyubova N.V., Nekrasov R.V. PSIII-17 program chair poster pick: a study on the effect of dihydroquercetin added into a diet of growing pigs on meat quality. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(S4): 364 (doi: 10.1093/jas/skac387).

- 10.1093/jas/skaa278.639).
22. Семенова А.А., Кузнецова Т.Г., Насонова В.В., Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В., Цис Е.Ю. Использование антиоксидантов в качестве адаптогенов для свиней (*Sus scrofa domestica* Erxleben, 1777) (мета-анализ). *Сельскохозяйственная биология*, 2020, 55(6): 1107-1125 (doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1107rus).
 23. *Директива 2010/63/ЕС Европейского парламента и Совета европейского союза по охране животных, используемых в научных целях*. Режим доступа: https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf. Без даты.
 24. *European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS № 123) (Strasbourg, 18.03.1986)*. Режим доступа: <https://nogensopa.no/legislation/council-of-europe-convention-ets-123>. Без даты.
 25. Овсянников А.И. *Основы опытного дела в животноводстве*. Уч. пос. М., 1976.
 26. Антонова В.С., Топурия Г.М., Косилов В.И. *Методология научных исследований в животноводстве: уч. пос.* Оренбург, 2011.
 27. Некрасов Р.В., Головин А.В., Махаев Е.А., Аникин А.С., Первов Н.Г., Стрекозов Н.И., Мысик А.Т., Дуборезов В.М., Чабаяв М.Г., Фомичев Ю.П., Гусев И.В. *Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах* /Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. М., 2018.
 28. Pirgozliev V., Westbrook C., Woods S., Mansbridge S.C., Rose S.P., Whiting I.M., Yovchev D., Atanasov A.G., Kljak K., Staykova G.P., Ivanova S., Karagecili M.R., Karadas F., Stringhini J.H. Feeding dihydroquercetin and vitamin E to broiler chickens reared at standard and high ambient temperatures. *Archives of Animal Nutrition*, 2020, 74(6): 496-511 (doi: 10.1080/1745039x.2020.1820807).
 29. Fomichev Y., Bogolyubova N., Nekrasov R., Chabaev M., Semenova A. Physiological aspects of using dihydroquercetin in intensively growing young pigs diets. In: *Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the Far East (AFE-2021)*. AFE 2021. Lecture notes in networks and systems, vol 354 /A. Muratov, S. Ignateva (eds.). Springer, Cham, 2022, 354: 507-520 (doi: 10.1007/978-3-030-91405-9_56).
 30. Zhou Y., Chen L., Han H., Xiong B., Zhong R., Jiang Y., Liu L., Sun H., Tan J., Cheng X., Schroyen M., Gao Y., Zhao Y., Zhang H. Taxifolin increased semen quality of Duroc boars by improving gut microbes and blood metabolites. *Front Microbiol.*, 2022, 13: 1020628 (doi: 10.3389/fmicb.2022.1020628).
 31. Zou Y., Wei H., Xiang Q.-H., Wang J., Zhou Y.-F., Peng J. Protective effect of quercetin on pig intestinal integrity after transport stress is associated with regulation oxidative status and inflammation. *Journal of Veterinary Medical Science*, 2016, 78(9): 1487-1494 (doi: 10.1292/jvms.16-0090).
 32. Боголюбова Н.В., Насонова В.В., Некрасов Р.В., Рыков Р.А., Семенова А.А., Чабаяв М.Г. *Способ кормления молодняка свиней в период откорма. Ас. (РФ) МКИ А 23 К 20. А 23 К 50. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. Л.К.Эрнста», Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» (РФ). Заявка № 2022129798/10(065177) от 17.11.2022.*
 33. Коваленко В.А., Гилман З.Д., Орлова А.С. *Методические рекомендации по оценке мясной продуктивности, качества мяса и подкожного жира свиней*. М., 1987.
 34. Маннапова Р.Т., Рапиев Р.А. Коррекция уровня гормонов надпочечников при кратковременном и длительном стрессе свиней янтарем и маточным молочком пчел. *Фундаментальные исследования*, 2013, 1: 304-307.
 35. Peeters E., Neyt A., Beckers F., De Smet S., Aubert A.E., Geers R. Influence of supplemental magnesium, tryptophan, vitamin C, and vitamin E on stress responses of pigs to vibration. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(7): 1568-1580 (doi: 10.2527/2005.8371568x).
 36. Bai X., Yan X., Xie L., Hu X., Lin X., Wu C., Zhou N., Wang A., See M.T. Effects of pre-slaughter stressor and feeding preventative Chinese medicinal herbs on glycolysis and oxidative stability in pigs. *Animal Science Journal*, 2015, 87(8): 1028-1033 (doi: 10.1111/asj.12537).
 37. Singh A.K., Pandita S., Upadhyay R.C., Chandra G., Chaudhari B.K., Maurya P.K. Effect of pre-partum supplementation of vitamin e to murrah buffaloes on metabolic adaptation and growth performance of calves. *Indian Journal of Animal Research*, 2023, 47(3): 196-204.
 38. Clegg P.C., Clegg A.G. *Hormones, cells and Organisms the role of hormones in mammals*. Stanford University Press Stanford. California, 1969.
 39. Semenova A.A., Kuznetsova T.G., Nasonova V.V., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V. Myopathy as a destabilizing factor of meat quality formation. *Theory and Practice of Meat Processing*, 2019, 4(3): 24-31 (doi: 10.21323/2414-438X-2019-4-3-24-31).
 40. Мекин Р.С., Дерхо М.А. Особенности взаимосвязей между гормонами тиреотропин-тироидной системы в организме молодняка свиней разного пола и породы. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана*, 2021, 245(1): 101-107 (doi: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-101-108).
 41. Pathak P.K., Roychoudhury R., Saharia J., Borah M.C., Dutta D.J., Bhuyan R., Kalita D. Impact

- of seasonal thermal stress on physiological and blood biochemical parameters in pigs under different dietary energy levels. *Trop. Anim. Health Prod.*, 2018, 50: 1025-1032 (doi: 10.1007/s11250-018-1526-6).
42. Kim Y.-H., Kim K.-Y. Effect of air cleaner on stress hormones of pig and pork quality. *J. Anim. Sci. Technol.*, 2021, 63(4): 892-903 (doi: 10.5187/jast.2021.e68).
 43. Dang X., Chung Y.H., Kim I.H. Effects of dietary supplementation of herbal active ingredients promoting insulin-like growth factor-I secretion on production performance, egg quality, blood hematology, and excreta gas emission in laying hens. *Animal Bioscience*, 2021, 34(11): 1802-1810 (doi: 10.5713/ab.20.0762).
 44. Mohana Devi S., Park J., Kim I.H. Effect of plant extracts on growth performance and insulin-like growth factor 1 secretion in growing pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2015, 44(10): 355-360 (doi: 10.1590/S1806-92902015001000003).
 45. Liu G., Wei Y., Wang Z., Wu D., Zhou A., Liu G. Effects of herbal extract supplementation on growth performance and insulin-like growth factor (IGF)-I system in finishing pigs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2008, 17(4): 538-547 (doi: 10.22358/jafs/66681/2008).
 46. Губин Д.Г. Многообразие физиологических эффектов мелатонина. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2016, 11(6): 1048-1053.
 47. Duan T., Wu Z., Zhang, H., Liu Y., Li Y., Zhang W. Effects of melatonin implantation on carcass characteristics, meat quality and tissue levels of melatonin and prolactin in Inner Mongolian cashmere goats. *J. Animal Sci. Biotechnol.*, 2019, 10: 70 (doi: 10.1186/s40104-019-0377-y).
 48. Tang J., Faustman C., Mancini R.A., Seyfert M., Hunt M.C. The effects of freeze-thaw and sonication on mitochondrial oxygen consumption, electron transport chain-linked metmyoglobin reduction, lipid oxidation, and oxymyoglobin oxidation. *Meat Science*, 2006, 74(3): 510-515 (doi: 10.1016/j.meatsci.2006.04.021).
 49. Todini L. Thyroid hormones in small ruminants: effects of endogenous, environmental and nutritional factors. *Animal*, 2007, 1(7): 997-1008 (doi: 10.1017/S1751731107000262).
 50. Zhang S., Gao H., Yuan X., Wang J., Zang J. Integrative analysis of energy partition patterns and plasma metabolomics profiles of modern growing pigs raised at different ambient temperatures. *Animals*, 2020, 10(11): 1953 (doi: 10.3390/ani10111953).
 51. Brent G.A. Tissue-specific actions of thyroid hormone: insights from animal models. *Rev. Endocr. Metab. Disord.*, 2000, 1: 27-33 (doi: 10.1023/A:1010056202122).
 52. Hansen P.S., Brix T.H., Sørensen T.I.A., Kyvik K.O., Hegedüs L. Major genetic influence on the regulation of the pituitary-thyroid axis: A study of healthy danish twins. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2004, 89(3): 1181-1187 (doi: 10.1210/jc.2003-031641).
 53. Panicker V., Wilson S.G., Spector T.D., Brown S.J., Falchi M., Richards J.B., Surdulescu G.L., Lim E.M., Fletcher S.J., Walsh J.P. Heritability of serum TSH, free T4 and free T3 concentrations: a study of a large UK twin cohort. *Clinical Endocrinology*, 2008, 68(4): 652-659 (doi: 10.1111/j.1365-2265.2007.03079.x).
 54. Chaker L., Korevaar T.I.M., Medici M., Uitterlinden A.G., Hofman A., Dehghan A., Franco O.H., Peeters R.P. Thyroid function characteristics and determinants: The Rotterdam study. *Thyroid*, 2016, 26(9): 1195-1204 (doi: 10.1089/thy.2016.0133).
 55. Song Q., Chen X., Su Y., Xie Z., Wang S., Cui B. Age and gender specific thyroid hormones and their relationships with body mass index in a large Chinese population. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2019, 17(1): e66450 (doi: 10.5812/ijem.66450).
 56. Knezevic J., Starchl C., Berisha A.T., Amrein K. Thyroid-gut-axis: How does the microbiota influence thyroid function? *Nutrients*, 2020, 12(6): 1769 (doi: 10.3390/nu12061769).
 57. Helmreich D.L., Parfitt D.B., Lu X.-Y., Akil H., Watson S.J. Relation between the hypothalamic-pituitary-thyroid (HPT) axis and the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis during repeated stress. *Neuroendocrinology*, 2005, 81(3): 183-192 (doi: 10.1159/000087001).
 58. Gore A.C., Chappell V.A., Fenton S.E., Flaws J.A., Nadal A., Prins G.S., Toppari J., Zoeller R.T. EDC-2: The endocrine society's second scientific statement on endocrine-disrupting chemicals. *Endocrine Reviews*, 2015, 36(6): E1-E150 (doi: 10.1210/er.2015-1010).
 59. Otun J., Sahebkar A., Östlundh L., Atkin S.L., Sathyapalan T. Systematic review and meta-analysis on the effect of soy on thyroid function. *Sci. Rep.*, 2019, 9: 3964 (doi: 10.1038/s41598-019-40647-x).
 60. Śmiecińska K., Denaburski J., Sobotka W. Slaughter value, meat quality, creatine kinase activity and cortisol levels in the blood serum of growing-finishing pigs slaughtered immediately after transport and after a rest period. *Journal of Veterinary Sciences*, 2011, 14(1): 47-54 (doi: 10.2478/v10181-011-0007-x).
 61. Terlouw E.M., Picard B., Deiss V., Berri C., Hocquette J.-F., Lebret B., Lefèvre F., Hamill R., Gagaoua M. Understanding the determination of meat quality using biochemical characteristics of the muscle: stress at slaughter and other missing keys. *Foods*, 2021, 10(1): 84 (doi: 10.3390/foods10010084).
 62. Yoshioka G., Imaeda N., Ohtani T., Hayashia K. Effects of cortisol on muscle proteolysis and meat quality in piglets. *Meat Science*, 2005, 71(3): 590-593 (doi: 10.1016/j.meatsci.2005.05.015).
 63. Ostrenko K.S., Lemeshevsky V.O., Ovcharova A.N., Galochkina V.P., Sofronova O.V. Effect of

adaptogens on the quality of pig meat. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020, 10(1): 344-348 (doi: 10.15421/2020_54).

64. Govindasamy K., Gonmei C., Singh N.S., Singh N.M. Thermal stress-related physiological, behavioral, and serum biochemical responses in indigenous pigs adapted to Eastern Himalayan region. *Front. Vet. Sci.*, 2022, 9: 1034635 (doi: 10.3389/fvets.2022.1034635).
65. Rosochacki S. J., Piekarzewska A.B., Poloszynowicz J., Sakowski T. The influence of restraint immobilization stress on the concentration of bioamines and cortisol in plasma of Pietrain and Duroc pigs. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 2007, 47(4): 231-242 (doi: 10.1046/j.1439-0442.2000.00284.x).

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60,
e-mail: nek_roman@mail.ru ✉, 652202@mail.ru, ostrenkoks@gmail.com,
chabaev.m.g-1@mail.ru, kurookami@mail.ru, lakhonin.99@mail.ru,
a.semenova@fneps.ru, v.pchelkina@fneps.ru, v.nasonova@fneps.ru,
spbsl21@gmail.com, brukw@bk.ru, prytkov_y@mail.ru

Поступила в редакцию
14 июля 2023 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2023, V. 58, № 4, pp. 638-659

BIOCHEMICAL STATUS AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF PIGS (*Sus scrofa domestica*) IN MODELING STRESS AND ITS CORRECTION

R.V. Nekrasov✉, N.V. Bogolyubova, K.S. Ostrenko, M.G. Chabaev, I.V. Kutyyin,
P.D. Lakhonin, A.A. Semenova, V.A. Pchelkina, V.V. Nasonova, S.I. Loskutov, R.A. Rykov,
Yu.A. Prytkov

Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail nek_roman@mail.ru (✉ corresponding author), 652202@mail.ru, ostrenkoks@gmail.com, chabaev.m.g-1@mail.ru, kurookami@mail.ru, lakhonin.99@mail.ru, a.semenova@fneps.ru, v.pchelkina@fneps.ru, v.nasonova@fneps.ru, spbsl21@gmail.com, brukw@bk.ru, prytkov_y@mail.ru

ORCID:

Nekrasov R.V. orcid.org/0000-0003-4242-2239
Bogolyubova N.V. orcid.org/0000-0002-0520-7022
Ostrenko K.S. orcid.org/0000-0003-2235-1701
Chabaev M.G. orcid.org/0000-0003-1889-6063
Kutyyin I.V. orcid.org/0000-0001-9269-6700
Lakhonin P.D. orcid.org/0000-0002-7354-0337

Semenova A.A. orcid.org/0000-0002-4372-6448
Pchelkina V.A. orcid.org/0000-0001-8923-8661
Nasonova V.V. orcid.org/0000-0001-7625-3838
Loskutov S.I. orcid.org/0000-0002-8102-2900
Rykov R.A. orcid.org/0000-0003-0228-8901
Prytkov Yu.A. orcid.org/0000-0003-0843-1297

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Russian Science Foundation, project No. 19-16-00068-P

Final revision received July 14, 2023

doi: 10.15389/agrobiol.2023.4.638eng

Accepted August 7, 2023

Abstract

A peculiarity of living organisms is the internal constancy maintained by self-regulation mechanisms. In higher animals, the functions of control and regulation of biochemical reactions are performed by the neuro-endocrine system. With its help the organism perceives various influences of external and internal environment and reacts to them by means of hormones. In this regard, biomarkers of stress level are primarily the content of hormones, as well as blood concentrations of metabolites and their correlation. The use of dihydroquercetin, vitamins C and E in nutrition can help to reduce the negative effects of stress. In the present work we have established for the first time the positive influence of additional feeding of antioxidant complex on the adaptation of pigs under stress by hormonal regulation and strengthening of antioxidant status of the organism. The aim of the work was to evaluate the effect of feeding a complex of adaptogens DHQEC (dihydroquercetin and vitamins E, C) on the biochemical status and productive qualities of pigs under stress modelling. Fattening experiments were performed on 34 pigs (*Sus scrofa domestica*) F₂ [(Large White × Landrace) × Duroc] (Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 2022-2023). Body weight (BW) of piglets aged 99 days at the beginning of the experiment was 40.7-41.0 kg. The duration of the fattening period was 90 days. During the preliminary period, piglets were distributed into four groups by the paired-analogues method: I control (C-, without dietary DHQEC) (9 animals), II control (C+, with dietary DHQEC) (9 animals), III experimental (E-, without dietary DHQEC) (8 animals), IV experimental (E+, with dietary DHQEC) (8 animals). Each stall sized 2.4×2.25 m (5.4 m²) with 1.05 m feeding front. That is, with four pigs per stall (groups E- and E+) instead of 3 pigs per stall (groups C- and C+), there was a decrease in the stall area per pig from 1.8 to 1.35 m², and the feeding front from 0.35 to 0.26 m (according to GOST 28839-2017, the norm is at least 0.3 m per pig). DHQEC contained DHQ (Ecostimul-2, AO Ametis, Russia; DHQ 72-73 %, 32 mg/kg of feed), vitamin E (INNOVIT E60,

MEGAMIX, Russia, 10 mg/kg of feed), and vitamin C (Tiger C 35, Anhui Tiger Biotech Co., Ltd., China, 35 mg/kg of feed). Animals from groups C+ and E+ received dietary DHQEC (0.025 % by weight of mixed fodder) throughout the whole period of the tests. Young animals were weighed individually every decade. To assess the clinical, physiological and metabolic status of the organism at the end of the growing period, as well as during transfer to final fattening and before slaughter, blood samples were taken from the jugular vein in the morning before feeding. Calcium, phosphorus, magnesium, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase activity, alkaline phosphatase, total bilirubin, creatinine, cholesterol, glucose, total protein, albumin, chloride and urea were determined in blood serum. To assess antioxidant status, the total amount of free water-soluble antioxidants was determined amperometrically in serum samples. The serum concentrations of total and free thyroxine (T_{4t} and T_{4f}) and triiodothyronine (T_{3t} and T_{3f}), as well as thyroid hormone, cortisol, adrenaline, insulin-like growth factor-1, and melatonin were also determined by solid-phase enzyme-linked immunosorbent assay. BW of pigs after starvation was evaluated immediately before slaughter. After slaughter, the carcass was weighed, the slaughter yield, thickness of the skin, muscle eye area, and pH were determined 45 min after slaughter and after 24 h of storage. It was found that with increased competition for feed table, DHQEC provides a significant decrease in cortisol ($p = 0.014$) and adrenaline ($p = 0.09$) in piglets during the final fattening. Due to competition for feed, the melatonin concentration decreased ($p = 0.01$), while DHQEC in E+ group normalized the melatonin level to the values for the 1st and 2nd blood draws. Stress had a negative effect on some metabolic processes indicators of which are biochemical blood parameters (blood concentration of triglycerides, cholesterol, bilirubin, AsAT). At final fattening, there were significant shifts in the animal hormonal status. In piglets in groups C compared to E, the concentration of T_{4t} ($p = 0.02$), T_{3t} ($p = 0.05$), T_{3f} ($p = 0.004$) decreased together with an increase in the thyroid hormone (TTG) production ($p = 0.05$). Dietary DHQEC somewhat smoothed the negative influence of the modelled factor. The lowest values of T_{4t} , T_{4f} , T_{3t} , T_{3f} were revealed in the E+ group. It should be noted that the TTG content and integral thyroid index (ITI) in the E+ group decreased to 0.46 mME/l and 69.7 units vs. 0.51 mME/l and 263.8 units in the E- group, while the conversion of T_{4f} to T_{3f} decreased 1.73 times. With increasing BW of animals (70 kg and more), the effect of limitation of machine area and feeding front was stronger, which was manifested in the decrease of ADG in the E- group in the last fattening period ($p < 0.05$). Under the influence of DHQEC during the final fattening, there was a tendency to increase the amount of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in groups C+ and E+ compared to groups C- and E- (163.7 and 162.8 vs. 141.0 and 142.1 ng/ml, respectively, $p = 0.14$), which correlates with higher ADG. The obtained results indicate that DHQEC supplementation, having antioxidant activity, can improve growth parameters and, apparently, exhibit tissue-specific regulation of IGF-IR mRNA transcription. At the end of the experiment there was an increase in the blood melatonin (MT) concentration in animals from groups C- and C+ ($p < 0.05$), and dietary DHQEC did not affect the change of this index. A statistically significant decrease in MT content in E- and E+ groups compared to the control groups (292.2 and 179.8 pg/ml vs. 457.6 and 458.7 pg/ml, $p = 0.01$) should be noted. Therefore, competition for feed led to a decrease in this index, and feeding of DHQEC in E+ group normalised its values to those at the 1st and 2nd blood draws. Stress had a significant effect on the quality of production. The adaptogen-antioxidant complex DHQEC significantly improves the adaptive abilities of pigs and reduces the influence of stress factors on production performance.

Keywords: adaptogen, dihydroquercetin, vitamin, stress, young pigs, hormones, blood biochemistry, slaughter performance.