Кормовые добавки

УДК 636.4:636.084:591.1 doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1156rus

ДЕЙСТВИЕ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРМОВ И РОСТ СВИНЕЙ (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777) ПРИ УМЕРЕННО ВЫРАЖЕННОМ ТЕПЛОВОМ СТРЕССЕ*

Р.В. НЕКРАСОВ[1] ✉, М.Г. ЧАБАЕВ[1], Е.Ю. ЦИС[1], Н.В. БОГОЛЮБОВА[1], А.А. СЕМЕНОВА[1, 2]

У сельскохозяйственных животных климатические стрессы вызывают поведенческие, физиологические, функциональные, продуктивные и другие изменения. Помесные свиньи характеризуются нервной неустойчивостью, ограниченной терморегуляцией и подверженностью стрессам. Для компенсации изменений при стрессах все шире применяются биоактивные вещества природного происхождения. В представленной работе мы показали, что скармливание природного биофалвонида дигидрокверцетина как дополнительного профилактирующего кормового фактора в системе свиноводства может благоприятно влиять на сохранность и продуктивность интенсивно растущих свиней при их лучшей адаптации к условиям кормления и содержания. Цель исследований состояла в оценке влияния умеренного теплового стресса на продуктивность, расход корма и переваримость питательных веществ у интенсивно растущего молодняка свиней при скармливании им дигидрокверцетина (ДКВ) в разные периоды выращивания и откорма. Исследования проведены на четырех группах свиней F_2 [(КБ × Л) × Д] (помеси пород крупная белая, ландрас и дюрок; *n* = 36; физиологический двор ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им Л.К. Эрнста, 2020 год). На фоне умеренно выраженного теплового стресса (превышение температурного оптимума в среднем на 4-6 °С) животным скармливали адаптоген — ДКВ (препарат Экостимул-2, АО «Аметис», Россия; дозировка 45 мг/кг корма, по действующему веществу — 32 мг ДКВ/кг корма): во 2-й опытной группе (*n* = 9) — только в период доращивания, в 3-й (*n* = 9) — при доращивании и откорме, в 4-й (*n* = 9) — во время технологических стрессов (периодами по 7 сут после транспортировки, при переводе на другие корма, перед убоем); 1-я группа (контроль, *n* = 9) дополнительных кормовых добавок не получала. Моделирование умеренного теплового стресса привело в период откорма к значительному повышению концентрации газов (12-15-я нед опыта) в помещении: аммиака — до 16,7 мг/м^3, сероводорода — до 1,67 мг/м^3, углекислого газа — до 0,14 мг/м^3. Это приводило к изменению физиологических процессов в организме интенсивно растущих животных. В конце периода доращивания концентрация кортизола в сыворотке крови животных из контрольной группы составляла 291,60 нмоль/л, превышая верхний предел референсных значений (41-237 нмоль/л) на 23,0 %. Превышение физиологической нормы (до значений в 1-й контрольной группе) по кортизолу наблюдалось у животных, получавших ДКВ в период технологических и кормовых стрессов (4-я группа, 299,89 нмоль/л). У свиней из 2-й и 3-й опытных групп кортизол оставался в норме (210 нмоль/л; $p > 0,05$). Перед убоем анализируемый показатель оказался максимальным у контрольных животных (284,77 нмоль/л), тогда как скармливание ДКВ в течение всего периода откорма и в период стрессов (3-я и 4-я группы) способствовало снижению концентрации кортизола до 234-253 нмоль/л. Воздействие неблагоприятных внешних раздражителей привело к снижению сохранности поголовья в контрольной группе до 89 %, в остальных группах она составила 100 %. Животных еженедельно взвешивали, оценивали среднесуточный прирост живой массы за каждый из периодов по сравнению с контролем с учетом факторов среды (параметры микроклимата) и элементов технологии (смена кормов, вакцинация и др.). В период доращивания приросты живой массы во всех группах, получавших ДКВ, были на 1,5-1,7 % больше (1-я нед, 3-я группа, $p < 0,05$), чем в контрольной группе, то есть в этих вариантах животные лучше адаптировались к новым условиям содержания после длительной транспортировки. Отмечено достоверное увеличение среднесуточных приростов в периоды, связанные с действием стресс-факторов на фоне умеренно выраженного теплового стресса, в том числе при вакцинации (8-я нед, иммунизация против классической чумы свиней, 2-я группа, $0,05 < p \leq 0,1$; 3-я и 4-я опытные группы, $p < 0,05$). В итоге за весь опыт (периоды выращивания и откорма) наибольший среднесуточный прирост живой массы был в 4-й опытной группе у животных, которые получали 32 мг/кг ДКВ целенаправленно в периоды технологических стрессов (разница с контрольной группой составила 13,6 %, $p > 0,05$). У животных, получавших 32 мг/кг ДКВ в течение всего срока заключительного откорма (3-я группа), проявилась тенденция к увеличению валового прироста в этот период на 6,2 % ($0,05 < p \leq 0,1$) по сравнению с контролем. По результатам балансового опыта, проведенного в период заключительного откорма, у животных 3-й и 4-й опытных групп прослеживалась тенденция к повышению переваримости сухого вещества соответственно на 1,31 и 0,93 % ($0,05 < p \leq 0,1$). В опытных группах

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-16-00068).

у животных с мочой выделялось меньше азота (во 2-й — на 21,20 г, в 3-й — на 14,47 г, в 4-й — на 21,91 г) по сравнению с животными из контрольной группы (р = 0,18-0,37). Таким образом, скармливание ДКВ в составе полнорационного комбикорма способствовало удержанию и более эффективному использованию азота в организме растущего молодняка свиней. Включение в состав рациона ДКВ на фоне моделируемого стресса способствовало меньшему выделению кальция с фекалиями (во 2-й, 3-й и 4-й группах — на 3,48 г, р < 0,05; 1,68 г, р > 0,05; 2,87 г, р = 0,06) и увеличению его отложения в организме (соответственно на 3,52 г, р < 0,05; 1,62 г, р > 0,05; 2,85 г, р = 0,06). При этом доля использованного кальция от поступившего в организм была достоверно выше (на 9,82 %, р < 0,05) у животных из опытных групп. Таким образом, отмечена бóльшая подверженность тепловому стрессу у животных контрольной группы, что выразилось в снижении ростовых показателей, сохранности поголовья, ухудшении использования питательных веществ корма. При этом скармливание ДКВ с использованием различных схем в периоды доращивания и откорма повысило адаптационные способности животных, что улучшало их рост в наиболее важные технологические периоды.

Ключевые слова: адаптоген, дигидрокверцетин, стресс, молодняк свиней, продуктивность, прирост живой массы, переваримость кормов.

Важнейшее условие повышения эффективности свиноводства заключается в обеспечении оптимального микроклимата в помещениях (в первую очередь это температурный и влажностный режимы, концентрация вредных газов, воздухообмен). Правильно моделируемый микроклимат благоприятно отражается на физиологических реакциях организма. И наоборот, неконтролируемый микроклимат либо недооценка действия разнообразных по силе и степени воздействия стрессоров на организм животных ослабляет их резистентность, что приводит к появлению и развитию заболеваний различной этиологии, ухудшает продуктивность (1), воспроизводительную способность, вызывает ряд других нежелательных последствий (2), в том числе снижение качества свинины (3).

Физическое состояние и химический состав воздушной среды — факторы непостоянные и подвержены большим колебаниям. Организм животного может приспосабливаться к этим изменениям, но лишь до определенных пределов. В частности, для поддержания нормальной жизнедеятельности животные должны затрачивать определенное количество питательных веществ на образование тепла, которое необходимо для обмена веществ (4). Чем больше организм расходует энергетических материалов на адаптацию к условиям окружающей среды, тем меньше питательных веществ будет использовано на обеспечение продуктивности (5).

Воздушная среда, определяющая состояние микроклимата закрытых животноводческих помещений, воздействует на теплообмен, газообмен, физико-химические свойства крови, температуру тела и кожи и другие показатели (6). Организм реагирует на любое воздействие среды многоуровневой физиолого-биохимической реакцией, которая вызывает развитие стресса и затем, как следствие, адаптацию. Повреждающее действие последствий стресса обусловлено чрезмерным усилением адаптационного липотропного эффекта, повышающего активность фосфолипаз и интенсивность свободнорадикального окисления липидов через катехоламины и протеинкиназы. Стрессовые воздействия приводят к перестройке обмена веществ и некоторых физиологических функций, что вначале повышает устойчивость организма животных (7). Но длительное воздействие стресса истощает внутренние системы защиты, что в конечном итоге сказывается на состоянии здоровья животных, их устойчивости к заболеваниям, продуктивности и сохранности (8). Температура окружающей среды оказывает значительное влияние на физиологические изменения в организме и продуктивность свиней, в то время как воздействие влажности воздуха на эти показатели менее выраженное. В исследованиях на животных, содержащихся

в условиях комплексного воздействия факторов среды, были выявлены значительные нарушения иммунной реактивности. Установлено (9), что у 60-килограммовых свиней верхние критические температуры для таких важных физиологических реакций, как частота дыхания, теплопродукция, ректальная температуры, находились в пределах соответственно 21,3-22,4 °С; 22,9-25,5 °С и 24,6-27,1 °С в зависимости от изменения относительной влажности воздуха от 50 до 80 %.

Физиологическое равновесие при микроклиматических стрессорах сохраняется до тех пор, пока действие внешних раздражителей не превышает адаптационных возможностей организма (10, 11). Последствия проявления климатического стресса и его длительность зависят во многом от состава рациона, системы содержания и поения, плотности размещения животных на свиноводческом комплексе, условий микроклимата — относительной влажности, скорости движения воздуха и его состава (12).

Тенденция к интенсификации животноводства, по всей видимости, сохранится. При этом проблема теплового стресса, вероятно, будет усугубляться глобальным потеплением и изменением климата. Разработка приемов профилактики и устранения негативных последствий стрессов, в частности теплового стресса, — несомненно, важный инструмент повышения продуктивности животноводства (1, 13). При строительстве крупных свиноводческих комплексов возникнет потребность в более точном контроле всех факторов, влияющих на эффективность производства. Необходимо выявлять и изучать возможности нивелировать последствия абиотических стрессов, в том числе посредством использования кормовых адаптогенов. В этой связи перспективным решением может быть применение природных и синтетических биоактивных веществ с антиоксидантными свойствами, снижающих влияние стрессоров на гомеостаз посредством стабилизации свободнорадикального окисления и повышения адаптационных свойств организма (14, 15). Сообщалось, что использование дигидрокверцетина (ДКВ) способствует снижению перекисного окисления липидов, сокращая отрицательные воздействия на организм свиней последствий транспортного и кормового стрессов (16, 17).

В представленной работе мы показали, что скармливание природного биофлавонида дигидрокверцетина как дополнительного профилактирующего компонента корма может благоприятно влиять на сохранность и продуктивность интенсивно растущих свиней, способствуя их лучшей адаптации к условиям кормления и содержания.

Цель настоящего исследования состояла в оценке влияния адаптогена дигидрокверцетина, скармливаемого свиньям в разные периоды выращивания и откорма, на продуктивность и использование питательных веществ в условиях умеренно выраженного теплового стресса при сопутствующих технологических стрессах (транспортировка, переход на другой рецепт комбикорма, вакцинации и убой).

Методика. Физиологические исследования провели на 36 помесных боровках (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] с живой массой в начале опыта 17,20-17,43 кг в возрасте 58 сут (физиологический двор ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им Л.К. Эрнста, 2020 год). Продолжительность опыта составила 120 сут.

Боровков, закупленных в СГЦ «Верхняя Хава» (Воронежская обл.), доставили специальным автомобильным транспортом для перевозки животных (дальность транспортировки — 500 км) с соблюдением норм транспортировки и необходимого ветеринарно-санитарного контроля. После доставки из животных сформировали четыре группы, которых содержали в

одинаковых условиях.

Для сравнительного опыта в качестве контрольной использовали 1-ю группу свиней (n = 9). Животные 2-й, 3-й и 4-й опытных групп (каждая по n = 9) дополнительно к рациону получали ДКВ (препарат Экостимул-2, АО «Аметис», Россия; дозировка 45 мг/кг корма, по действующему веществу — 32 мг ДКВ/кг корма): во 2-й опытной группе (n = 9) — только в период доращивания (ДКВд), в 3-й (n = 9) — при доращивании и откорме (ДКВд+о), в 4-й (n = 9) — во время кормовых и технологических стрессов (ДКВтех) (периоды по 7 сут после транспортировки, за 7 сут до и через 7 сут после перевода на другой вид комбикорма, а также не менее чем за 7 сут до убоя).

Свинарник-откормочник на 48 мест соответствовал нормативам содержания животных (ГОСТ 12.1.005 и МР по технологическому проектированию) в период доращивания и откорма: кормление происходило в станках из групповых кормушек с разделителями для индивидуального кормления; размер каждого станка 1,5×2 м (резиновый коврик 1×1,5 м) при содержании 3 гол. с периода доращивания до убоя (норма 0,8 м^2/гол. при фактической площади 3 м^2); сосковые автопоилки располагались в углу станка непосредственно перед каналом навозоудаления, животные имели постоянный доступ к воде; использовали сухие комбикорма, которые увлажняли непосредственно при раздаче. Корма раздавали 2 раза в день. Основу рациона составляли комбикорма СК-4 (в период доращивания свиней), СК-5 (в 1-й период откорма) и СК-6 (в период заключительного откорма) (производитель комбикормов — ООО «Агровитекс», Россия), сбалансированные по питательных веществах и энергии согласно современным нормам и рекомендованному режиму кормления (18).

В помещениях в соответствии с ветеринарно-санитарными требованиями, была организована уборка (2 раза в день) с удалением навоза. Для контроля режима моделируемой среды при помощи стационарной электронной метеостанции измеряли (в 16.00) температуру и относительную влажность воздуха в свинарнике. В теплый период года при температуре наружного воздуха выше 10 °С при искусственном моделировании условий среды с помощью инфракрасных ламп, размещенных в каждом станке, повышали температуру внутри помещения на 5 °С относительно расчетной летней температуры наружного воздуха, но не более чем до 26-28 °С.

Температурно-влажностный индекс рассчитывали за весь период опыта по данным, полученным от электронной метеостанции, в дневное время, используя следующую формулу (19):

$$ТВИ = (0,8 \times t) + [(\varphi/100) \times (t - 14,4)] + 46,4,$$

где ТВИ — температурно-влажностный индекс, ед.; t — температура по сухому термометру, °С; φ — относительная влажность воздуха, %.

Объемную долю метана (%об.д.), массовую концентрацию (мг/м^3) диоксида углерода, аммиака, сероводорода и метана в воздухе рабочей зоны измеряли с использованием многокомпонентного газоанализатора МАГ-6 (МАГ-6 П-К, АО «ЭКСИС», Россия).

Интенсивность роста подопытных животных контролировали индивидуальным взвешиванием на электронных весах РЕУС-300 (ООО «Тензосила», Россия) перед началом опыты и далее каждые 7 сут до его окончания. По результатам взвешиваний и учета расхода кормов рассчитаны валовой, среднесуточный приросты, а также затраты кормов на единицу прироста.

В конце доращивания, в середине откорма и перед окончанием опыта у животных из всех групп (N = 20, n = 5) из яремной вены брали кровь и в сыворотке определяли концентрацию кортизола иммуноферментным методом на автоматическом микропланшетном фотометре Immunochem-2100

(«High Technology, Inc.», США; наборы реагентов X-3964 Кортизол-ИФА-БЕСТ, фирма «Вектор-Бест», Россия; чувствительность 5 нмоль/л, диапазон измерений 0-1200 нмоль/л).

Для определения переваримости питательных веществ кормов рациона, а также для изучения обмена азота, минеральных веществ в организме интенсивно растущего молодняка свиней в конце заключительного периода откорма проводили балансовый опыт ($N = 12$, по группам $n = 3$) по стандартным общепринятым методикам (20, 21). Всех животных ($N = 12$) на период балансового опыта помещали в специальные индивидуальные клетки для содержания и учета потребления кормов и количества выделенных экскрементов. Учет вели 5 сут, после чего отбирали средние пробы для химического анализа стандартными методами.

Статистический анализ данных проводили с использованием пакета STATISTICA, version 10.0 («StatSoft, Inc.», США). Количественные данные представлены в виде среднего арифметического (M) и стандартной ошибки среднего (±SEM). Выявление взаимосвязи изучаемого фактора с показателями усвояемости питательных веществ, удержания азота, параметров крови проведено на выборке животных методами однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием критерия Даннетта. Статистические различия по сравнению с контролем считали значимыми при $p < 0,05$ и рассматривали как тенденцию для значений между $p \geq 0,05$ и $p \leq 0,1$.

Результаты. Схема эксперимента описана в таблице 1.

1. Схема опыта по оценке влияния дигидрокверцетина на адаптацию свиней (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] к моделируемому тепловому стрессу (физиологический двор ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)

Группа	*n*	Рацион	Режим скармливания ДКВ
1-я (контроль)	9	ОР	
2-я	9	ОР + ДКВ	В период доращивания (ДКВд)
3-я	9	ОР + ДКВ	В период доращивания и откорма (ДКВд+о)
4-я	9	ОР + ДКВ	В периоды кормовых и технологических стрессов (ДКВтех)

Примечание. ОР — основной рацион (табл. 2), ДКВ — дигидрокверцетин (Экостимул-2, АО «Аметис», Россия; 45 мг/кг корма, или по действующему веществу 32 мг/кг корма). Доза применения ДКВ установлена в проведенных ранее исследованиях (2, 5, 12, 30).

Состав рационов в период эксперимента представлен в таблице 2.

2. Питательность комбикормов (при натуральной влажности) **в опыте по оценке влияния дигидрокверцетина на адаптацию свиней (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] к моделируемому тепловому стрессу** (физиологический двор ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)

Показатель	Единица измерения	Комбикорм (ООО «Агровитекс», Россия)		
		СК-4	СК-5	СК-6
Обменная энергия	МДж/кг корма	11,85	11,65	11,47
Влага	%	12,0	13,5	14,0
Сырой протеин	%	18,50	17,20	12,20
Сырой жир	%	1,86	2,35	2,60
Сырая клетчатка	%	4,24	5,72	5,04
Лизин	%	1,13	1,00	0,75
Метионин + цистин	%	0,65	0,62	0,46
Треонин	%	0,70	0,64	0,50
Триптофан	%	0,22	0,20	0,16
Кальций	%	0,85	0,75	0,60
Фосфор	%	0,56	0,55	0,48
Соль поваренная	%	0,54	0,53	0,50

Внешняя среда прямо влияет на жизнедеятельность и обмен веществ и энергии у животных, при этом температура относится к основным

воздействующим факторам. Оптимум температуры для свиней разных половозрастных групп неодинаков: для поросят-молочников — 27 °С, для поросят с живой массой от 15 до 25 кг — 25 °С, от 25 до 45 кг — 22 °С, от 45 до 85 кг — 20 °С и от 85 до 120 кг — 17 °С. Любое отклонение от оптимальных значений активирует в организме систему терморегуляции, причем чем больше отклонение, тем больше животное подвергается стрессу, что связано с большими энергетическими затратами для поддержания постоянной температуры тела (18).

При проведении исследований температурный режим варьировал в пределах от 22,1 до 29,6 °С (или от 71,8 до 85,3 °F). Таким образом, наблюдалось превышение температурного оптимума (18-20 °С) в среднем на 4-6 °С в течение большей части эксперимента. Относительная влажность воздуха варьировала в среднем от 65 до 85 % и в целом соответствовала зоогигиеническим нормативам (60-85 %) (22) (рис. 1).

Рис. 1. Температура (°F, 1)**, относительная влажность воздуха** (%, 3) **и температурно-влажностный индекс** (ТВИ, 2) **в период проведения опыта по оценке влияния дигидрокверцетина на адаптацию свиней (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] к моделируемому тепловому стрессу** (экспериментальный двор ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года).

3. Параметры микроклимата в период проведения опыта по оценке влияния дигидрокверцетина на адаптацию свиней (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] к моделируемому тепловому стрессу (n = 6, M±SEM, экспериментальный двор ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)

Неделя опыта	Параметр							
	φ, %	t, °C	t, °F	ТВИ	NH_3, мг/м^3	H_2S, мг/м^3	CH_4, %	CO_2, %
1-я	73,2±1,37	21,8±0,28	78,8±0,51	75,8±0,50	4,3±1,1	0	0	0,06±0,01
2-я	71,6±1,37	22,2±0,45	76,5±0,82	73,7±0,77	3,8±0,8	0	0	0,06±0,01
3-я	68,1±0,81	25,2±0,88	81,2±1,59	77,3±1,36	5,8±1,1	0,05±0,01	0	0,07±0,01
4-я	66,7±1,49	24,1±0,84	78,1±1,51	74,7±1,32	5,5±1,0	0,06±0,01	0	0,06±0,01
5-я	67,5±0,88	24,3±0,40	77,4±0,72	74,5±0,63	6,8±1,2	0,08±0,01	0	0,11±0,02
6-я	66,0±1,85	25,2±0,51	78,3±0,91	75,1±0,67	6,5±1,2	0	0	0,09±0,02
7-я	73,5±0,97	25,9±0,73	79,6±1,32	76,7±1,12	5,8±1,1	0,05±0,01	0	0,06±0,01
8-я	70,5±1,22	24,2±0,08	76,5±0,14	73,8±0,12	6,6±1,2	0,08±0,01	0	0,07±0,01
9-я	77,3±1,18	22,7±0,51	74,1±0,92	72,2±0,80	5,5±1,1	0	0	0,08±0,01
10-я	72,7±1,18	23,3±0,58	75,4±1,04	72,9±0,93	4,9±1,3	0	0	0,08±0,01
11-я	69,8±2,09	23,6±0,07	75,6±0,12	72,8±0,25	7,0±1,3	0	0	0,07±0,01
12-я	70,9±0,76	24,2±0,49	76,4±0,88	73,5±0,77	16,7±2,0	0	0	0,13±0,04
13-я	74,4±2,09	22,5±0,07	74,5±0,12	72,3±0,25	12,8±1,8	0,38±0,05	0,01±0,005	0,09±0,02
14-я	77,6±2,57	22,9±0,28	74,3±0,50	72,5±0,57	15,8±2,2	1,67±0,21	0,02±0,005	0,11±0,02
15-я	77,4±2,73	22,6±0,38	74,0±0,68	72,0±0,49	13,3±1,8	1,42±0,15	0,02±0,005	0,14±0,03
16-я	73,1±2,56	22,3±0,28	74,1±0, 50	72,0±0,56	9,6±1,5	0	0	0,11±0,02
17-я	76,2±0,70	21,5±0,21	76,1±0,37	73,8±0,37	5,5±1,0	0	0	0,11±0,02

На основании замеров относительной влажности и температуры помещения, где содержались животные, был рассчитан температурно-влажностный индекс (ТВИ), который подтверждает, что животные находились под действием умеренно выраженного стресса. Значения ТВИ составили 72,0-77,3 ед. (табл. 3). Вместе с умеренным повышением температуры происходило насыщение воздуха помещения CO_2 до 0,14 мг/м^3, но в пределах

допустимой концентрации (< 0,2 мг/м^3). В период проведения опыта содержание аммиака и сероводорода также оставалось в пределах нормы (соответственно до 20 и 10 мг/м^3).

Динамика содержания кортизола в сыворотке крови в период эксперимента показала (табл. 4), что животные были подвержены действию стрессирующих факторам на протяжении проведения эксперимента. При этом в некоторые периоды уровень кортизола зачастую превышал значения физиологической нормы для свиней (41-237 нмоль/л) (23).

4. Концентрация кортизола в сыворотке крови свиней (*Sus scrofa domesticus*) F2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] в опыте по оценке влияния дигидрокверцетина (ДКВ) **на адаптацию к моделируемому тепловому стрессу** (n = 5, M±SEM, ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)

Период опыта	Группа			
	1-я (контроль)	2-я (ДКВд)	3-я (ДКВд+о)	4-я (ДКВтех)
В конце доращивания	291,60±42,68	210,81±18,46	210,26±33,65	299,89±52,35
При переходе на заключительный откорм	147,58±27,50	140,83±13,16	93,53±16,19*	133,74±16,64
Перед убоем	284,77±86,81	275,59±86,41	234,36±61,23	253,20±46,39

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». ДКВд — скармливание ДКВ в период доращивания, ДКВд+о — при доращивании и откорме, ДКВтех — в периоды кормовых и технологических стрессов.
* Различия с контролем статистически значимы при p < 0,05.

5. Динамика живой массы свиней (*Sus scrofa domesticus*) F2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] и затраты кормов в опыте по оценке влияния дигидрокверцетина (ДКВ) **на адаптацию к моделируемому тепловому стрессу** (n = 9, M±SEM, ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)

Показатель	Группа			
	1-я (контроль)	2-я (ДКВд)	3-я (ДКВд+о)	4-я (ДКВтех)
За период доращивания				
Число животных	9	9	9	9
Длительность периода, сут	34	34	34	34
Живая масса в начале опыта, кг	17,20±0,63	17,40±0,51	17,31±0,52	17,43±0,65
Живая масса в конце периода, кг	38,83±0,89	39,34±1,09	39,31±0,81	39,39±1,26
Валовой прирост, кг	21,63±0,46	21,94±0,82	22,00±0,63	21,96±0,80
Среднесуточный прирост, г	636,18±13,39	645,42±24,01	647,06±18,57	645,75±23,39
За 1-й период откорма				
Число животных	8	9	9	9
Длительность периода, сут	49	49	49	49
Живая масса в конце 1-го периода откорма, кг	84,32±1,67[a]	84,47±1,93	84,56±1,26	84,38±2,75
Валовой прирост, кг	45,09±0,99[a]	45,12±1,30	45,24±1,18	44,99±1,85
Среднесуточный прирост, г	920,18±20,11[a]	920,86±26,54	923,36±24,08	918,14±37,73
За 2-й период откорма				
Число животных	8	9	9	9
Длительность периода (в среднем), сут	37	37	37	37
Живая масса в конце откорма всего, кг	121,33±1,59	122,50±1,90	123,86±1,48	123,22±2,28
к контролю, %	100,0	101,0	102,1	101,6
Валовой прирост, кг	37,01±0,92	38,03±0,69	39,30±0,93[+]	38,84±0,74
Среднесуточный прирост, г	1000,30±24,93	1027,93±18,58	1062,16±25,01[+]	1049,85±19,94
За весь период исследований				
Число животных	8	9	9	9
Длительность периода, сут.	120	120	120	120
Валовой прирост, кг	103,82±1,44	105,10±1,76	106,54±1,59	105,79±1,90
Среднесуточный прирост, г	865,19±12,02	875,83±14,63	887,87±13,23	881,57±15,81
Затраты кормов за весь период исследований				
Комбикорма всего, кг	320,8	312,1	312,1	312,1
Комбикорма на 1 кг прироста всего, кг	3,09	2,97	2,93	2,95
к контролю, %	100	96,1	94,8	95,5

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». ДКВд — скармливание ДКВ в период доращивания, ДКВд+о — при доращивании и откорме, ДКВтех — в периоды кормовых и технологических стрессов; [a] — показатель рассчитан без учета выбывшего подсвинка (выбытие произошло в середине периода, 28.07.2020 года); [+] — тенденция различий с контролем при 0,05 < p ≤ 0,1.

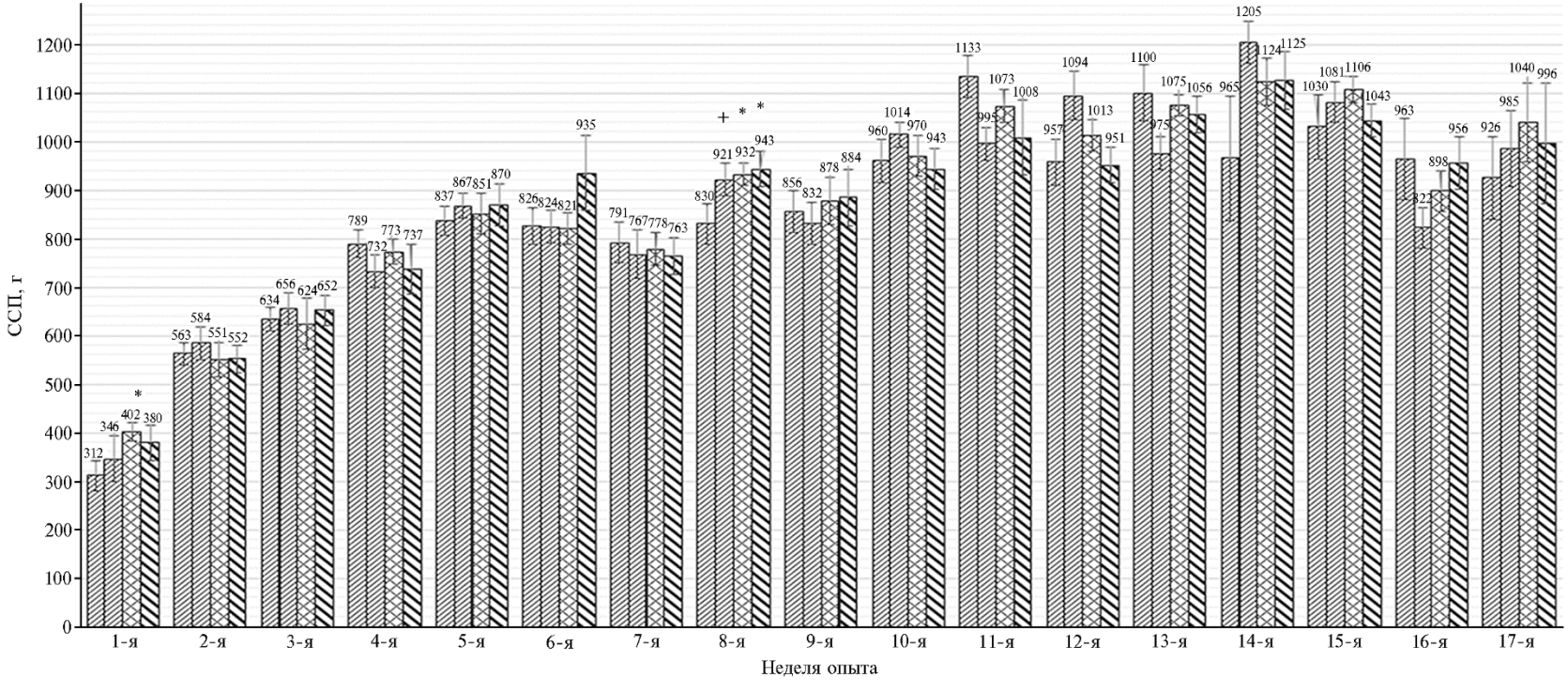

Рис. 2. Динамика среднесуточных приростов массы (ССП) **у свиней (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] в опыте по оценке влияния дигидрокверцетина** (ДКВ) **на адаптацию к моделируемому тепловому стрессу** (по неделям слева направо: 1-я — контроль, 2-я, 3-я и 4-я группы). Описание групп см. в разделе «Методика» (n = 9, M±SEM, ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)**.**
* Различия с контролем статистически значимы при $p < 0,05$; $^{+}$ — тенденция при $0,05 < p \leq 0,1$.

Мы выявили различия в динамике живой массы у животных в течение эксперимента (табл. 5, рис. 2).

Так, в период доращивания животных опытных групп, которым дополнительно скармливали ДКВ, среднесуточные приросты живой массы различались с контролем на 1,5-1,7 % ($p > 0,05$). По результатам 1-го периода откорма, животные показали идентичные параметры прироста живой массы тела, но при этом из контрольной группы выбыло одно животное (причина — паралич сердечной мышцы как следствие умеренно выраженного теплового стресса в условиях моделируемой среды), по остальным ($n = 8$) параметры роста были одинаковы с таковыми у животных опытных групп. Во 2-й период откорма животные показали схожие параметры роста ($p < 0,05$), но из контрольной группы за несколько суток до убоя выбыло еще одно животное (последствия стресса, произошло растяжение задних конечностей, проведен вынужденный убой). При этом в 3-й группе на этом фоне была отмечена тенденция ($p = 0,01$) к лучшим приростам (1062,2 против 1000,3 г в контрольной группе), что свидетельствовало о положительном влиянии скармливания ДКВ в период заключительного откорма. Нами был установлен факт большей подверженности стрессу среди животных контрольной группы в сравнении с получавшими ДКВ. Потери за счет выбытия животных в контрольной группе отразились на затратах корма за 1-й период откорма (в опытных группах на 2,9-3,5 % меньше) и 2-й период откорма (в опытных группах на 2,7-5,8 % меньше), а также в целом за опыт (во 2-4-й группах на 3,9-5,2 % меньше).

6. Переваримость питательных веществ в опыте по оценке влияния дигидрокверцетина (ДКВ) **на адаптацию свиней (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] к моделируемому тепловому стрессу** ($n = 3$, M±SEM, ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)

Показатель	Группа			
	1-я (контроль)	2-я (ДКВд)	3-я (ДКВд+о)	4-я (ДКВтех)
Сухое вещество	73,89±0,36	75,66±0,89	75,20±0,42$^+$	74,82±0,20$^+$
Органическое вещество	76,71±0,59	77,51±0,77	77,13±0,39	76,71±0,24
Сырой протеин	76,45±1,08	77,36±1,83	76,53±1,03	75,61±0,54
Сырой жир	59,32±6,63	65,25±0,26	66,81±3,94	60,88±7,42
Сырая клетчатка	40,26±2,47	40,44±1,47	43,49±2,88	40,89±2,10
БЭВ (безазотистые экстрактивные вещества)	81,63±0,13	82,24±0,49	81,53±0,37	81,76±0,30

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». ДКВд — скармливание ДКВ в период доращивания, ДКВд+о — при доращивании и откорме, ДКВтех — в периоды кормовых и технологических стрессов; $^+$ — тенденция при $0,05 < p \leq 0,1$.

7. Усвоение азота, кальция и фосфора у свиней (*Sus scrofa domesticus*) F_2 [(крупная белая × ландрас) × дюрок] в опыте по оценке влияния дигидрокверцетина (ДКВ) **на адаптацию к моделируемому тепловому стрессу** ($n = 3$, M±SEM, ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, май-сентябрь 2020 года)

Показатель	Группа			
	1-я (контроль)	2-я (ДКВд)	3-я (ДКВд+о)	4-я (ДКВтех)
Баланс азота				
Поступило с кормом, г	112,82	112,82	112,82	112,82
Выделено с калом, г	27,79±0,38	25,54±2,06	26,48±1,17	27,52±0,61
Переварено, г	85,03±0,31	87,28±1,68	86,35±0,95	85,30±0,50
Выделено с мочой, г	60,37±11,48	39,17±8,78	45,90±8,51	38,46±7,32
Отложено в теле:				
всего, г	24,66±11,77	48,11±7,23	40,45±9,64	46,84±7,28
от потупившего, %	21,86±10,44	42,64±6,41	35,85±8,54	41,51±6,45
от переваренного, %	28,91±13,69	55,46±9,20	46,57±10,60	54,92±8,61

Баланс кальция				
Поступило с кормом, г	35,83	35,83	35,83	35,83
Выделено с калом, г	20,31±0,77	16,83±0,45*	18,63±1,33	17,44±0,77+
Выделено с мочой, г	0,31±0,04	0,27±0,06	0,38±0,04	0,34±0,04
Отложено в теле, г	15,20±0,78	18,72±0,45*	16,82±1,34	18,05±0,77+
Использовано от поступившего, %	42,43±2,19	52,25±1,26*	46,95±3,73	50,37±2,16+
Баланс фосфора				
Поступило с кормом, г	22,53	22,53	22,53	22,53
Выделено с калом, г	10,23±0,09	9,48±0,57	9,85±0,18	10,10±0,15
Выделено с мочой, г	3,12±0,39	2,89±0,65	4,40±0,37+	4,01±0,70
Отложено в теле, г	9,17±0,40	10,16±0,54	8,28±0,54	8,42±0,73
Использовано от поступившего, %	40,70±1,79	45,09±2,38	36,74±2,39	37,38±3,25

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». ДКВд — скармливание ДКВ в период доращивания, ДКВд+о — при доращивании и откорме, ДКВтех — в периоды кормовых и технологических стрессов;

* Различия с контролем статистически значимы при $p < 0,05$; + — тенденция при $0,05 < p \leq 0,1$.

При сравнении проявилась тенденция ($0,05 < p \leq 0,1$) к повышению переваримости сухого вещества на 1,31 % у животных, получавших ДКВ в период откорма, на 0,93 % — у получавших ДКВ в периоды технологического стресса (табл. 6). Переваримость сырой клетчатки повышалась у животных из 3-й группы (ДКВд+о) на 3,23 %. В 3-й и 4-й группах наблюдали тенденцию ($0,05 < p \leq 0,1$) к увеличению переваримости сухого вещества кормов. Изменения в переваримости кормов сопровождалось сниженным выделением азота с мочой (во 2-й группе на 21,20 г, в 3-й — на 14,47 г, в 4-й — на 21,91 г) по сравнению с животными из 1-й контрольной группы ($p > 0,05$) (табл. 7).

Включение в состав рациона свиней ДКВ во 2-й, 3-й и 4-й группах способствовало меньшему выделению с фекалиями кальция (на 3,48 при $p < 0,05$; 1,68 при $p > 0,05$; 2,87 г при $p = 0,06$) и увеличению его отложения в организме растущих свиней (на 3,52 при $p < 0,05$; 1,62 при $p > 0,05$; 2,85 г при $p = 0,06$) в сравнении с контролем. При этом доля использованного Са от поступившего с кормом по группам, получавшим ДКВ, была выше соответственно на 9,82 % ($p < 0,05$), на 4 52 и 7,94 % ($0,05 < p \leq 0,1$). У животных из 3-й и 4-й групп отложение фосфора оказалось несколько ниже, чем в контроле, но снижение не было статистически значимым.

Таким образом, у свиней организм нормально функционирует, когда находится в нейтральной тепловой зоне. Она зависит от возраста и живой массы животных, а также от эффективной ощущаемой температуры, на которую влияют движение воздуха, наличие подстилки, влажность и температура стен и пола. Свиньи не потеют и имеют относительно малый объем легких. Из-за таких физиологических ограничений и относительно толстого слоя подкожного жира животные этого вида более подвержены тепловому стрессу. Свиньи с живой массой 25, 50 и 75 кг по-разному реагируют на повышение температуры окружающей среды с 14 до 35 °С. У 75-килограммовых особей среднесуточный прирост живой массы начинает снижаться при температуре выше 23 °С, у 25-килограммовых подсвинков — когда температура превышает 27 °С (1).

Концентрация аммиака, сероводорода и углекислого газа в условиях физиологического двора в течение опыта варьировала в зависимости от температурно-влажностного режима помещения. При моделировании умеренно выраженного теплового стресса в период откорма (12-15-я нед опыта) с увеличением живой массы поголовья в воздухе помещения повышалась концентрация аммиака до 16,7 мг/м^3, сероводорода — до 1,67 мг/м^3, углекислого газа — до 0,14 мг/м^3 (см. табл. 3). Мы полагаем, что эти показатели

отражают комплексное негативное влияние моделируемого фактора на животных. Изменение микроклимата помещения в сочетании с текущими технологическими операциями в определенной степени повлияли на физиологические процессы, снизив адаптационные возможности у некоторых особей, в результате одно животное из контрольной группы не смогло акклиматизироваться к условиям среды и выбыло. Сохранность поголовья в контрольной группе, таким образом, составила 89 %, в остальных — 100 %.

На этапе доращивания у особей, которым скармливали ДКВ, отмечались бóльшие среднесуточные приросты живой массы по сравнению с контрольными особями, особенно в 1-ю нед ($p < 0,05$, 3-я группа), что, по нашему мнению, указывает на лучшую адаптацию животных после длительной (500 км) транспортировки в сочетании с моделируемым умеренно выраженным тепловым стрессом (см. табл. 5, рис. 2). На это указывает концентрация кортизола в сыворотке крови, которая в контрольной группе после доращивания превышала верхний предел нормы. У животных, получавших ДКВ только в период технологических и кормовых стрессов (4-я группа) концентрация кортизола была сравнима с контрольными значениями, тогда как во 2-й и 3-й группах соответствовала норме, что свидетельствует о положительной роли скармливания ДКВ в период доращивания (постоянно с кормом). Отмечено сходное с периодом доращивания действие ДКВ в 3-й группе в 1-й период откорма (снижения уровня кортизола — до 93,5 против 147,6 нмоль/л в контроле, $p < 0,05$). Эффект от скармливания ДКВ в составе комбикормов проявлялся в повышении среднесуточных приростов живой массы животных 2-й, 3-й и 4-й групп в периоды технологических стрессов на фоне умеренно выраженного моделируемого теплового, стресса, а именно в период доращивания (1-я нед, 3-я группа, $p < 0,05$) и в начале откорма в период вакцинации (8-я нед, вакцинация против классической чумы свиней, 2-я группа, $0,05 < p \leq 0,1$; 3-я и 4-я группы, $p < 0,05$) (см. рис. 2). Следует отметить, что при постоянном поступлении ДКВ в составе комбикормов (3-я группа) прирост живой массы не снижался (по сравнению с контрольной группой) в течение всего опыта, тогда как при прекращении скармливания этой добавки (2-я группа) или периодическом скармливание (4-я группа) в некоторые сроки (11-я и 16-я нед опыта) приросты были ниже, чем в контроле.

Уровень кортизола перед убоем был максимальным у животных контрольной группы (выше физиологической нормы на 20,2 %). У животных, получавших ДКВ только в период доращивания, он также превышал норму. Скармливание ДКВ в течение всего доращивания и в некоторые сроки в последующие периоды стабилизировало этот показатель (234-253 нмоль/л), указывая на положительное влияние ДКВ на повышение стрессоустойчивости животных. Лучший результат обеспечивало постоянное скармливание ДКВ в течение доращивания и откорма животных.

Как известно, в ответ на тепловой стресс организм животного пытается снизить температуру своего тела повышением потоотделения, увеличением частоты дыхания и слюноотделения (18). Эти процессы энергозатратны и, соответственно, часть энергии корма, используемая в оптимальных условиях на обеспечение прироста живой массы, перенаправляется на терморегуляцию. Процессы пищеварения тоже сопровождаются тепловыделением, и животные изменяют пищевое поведение (24). Некоторые исследователи считают (25), что первичная реакция на тепловой стресс у разных видов животных заключается в сокращении потребления корма (стратегия снижения

метаболического тепла).

В последние годы негативные последствия температурных стрессов у свиней проявляются все очевиднее, вероятно, из-за того, что генетический отбор по теплопродуцирующим признакам приводит к повышенной чувствительности этих животных к теплу (24). Негативное влияние теплового стресса на продуктивность в первую очередь объясняют снижением потребления корма, хотя экспериментальные результаты последних лет противоречат такому выводу. В нашем опыте также не было установлено угнетения потребления корма при повышении температуры окружающей среды. Пока животное потребляет достаточно кормов (в том числе по сухому веществу и количеству обменной энергии) для обеспечения физиологической реакции на тепловой стресс, рост и развитие, стресс не приводит к негативным последствиям, но в определенные периоды, как показывают наши исследования, организму нужна дополнительная поддержка (повышение энергии корма, применение адаптогенов и т.д.). Предполагается, что тепловой стресс прямо и косвенно воздействует на физиологические процессы, определяющие здоровье и продуктивность животных. В своем эксперименте мы отмечали тенденцию к повышению переваримости сухого вещества (на 1,31 % у животных, получавших ДКВ в период откорма, и на 0,93 % — у получавших адаптоген в периоды технологического стресса; $p < 0,1$), что, по нашему мнению, объясняется дополнительным усилением обменных процессов благодаря антиоксидантным свойствам ДКВ, а также оптимизацией энергозатрат организма при умеренном повышении температуры окружающей среды.

Количественно оценить последствия климатического стресса в отношении продуктивности животных по снижению потребления кормов сложно, а потеря живой массы у животных при угнетающем воздействии температуры отличается от таковой у аналогов, пребывающих в условиях с нормальным температурным режимом (1, 26, 27). Вызванное стрессом уменьшение потребления корма создает предпосылки для снижения продуктивности растущих животных. Вероятно, тепловой стресс также изменяет метаболические приоритеты посредством прямых или косвенных механизмов. При изучении микроклимата на крупных свиноводческих комплексах установлено (28), что около 5 % азота, используемого в качестве корма, выделяется в виде NH_3 и еще 1 % — со сточными водами. Наши данные, в том числе полученные ранее (5, 12), позволяют предположить, что у растущих свиней скармливание ДКВ в составе полнорационных комбикормов может способствовать лучшему усвоению и отложению азота за счет меньшего выделения с мочой. Для подтверждения или опровержения такого предположения нужны дополнительные исследования перераспределения азотсодержащих веществ под воздействием ДКВ в условиях теплового стресса. При интенсивном свиноводстве использование ДКВ в стрессирующих условиях (постоянно и курсами) может повысить адаптационную способность свиней и профилактировать нежелательные последствия технологических, кормовых, транспортных и тепловых стрессов. Улучшение общего состояния здоровья животных повышает сохранность поголовья и позволяет стабилизировать среднесуточные приросты живой массы в условиях стресса.

Исследования П. Сурая и В.И. Фисинина (13) показали, что сразу после температурного воздействия на цыплят их рост замедляется, однако затем следует компенсаторный рост, способствующий формированию у бройлеров большей живой массы в конце выращивания по сравнению с птицей, не подвергнутой тепловому тренингу. То есть кратковременные

стрессовые ситуации тренируют животных, вызывая у них физиологическую реакцию на стресс. Длительный хронический стресс даже при умеренной силе стрессора ухудшает ростовые показатели животных и приводит к преждевременному выбытию поголовья, что подтвердили и наши исследования. Скармливание адаптогенов позволяет нивелировать отрицательные последствия стрессов на животных и улучшает их приспособительную реактивность (29, 30). Ранее мы показали, что скармливание дигидрокверцетина в условиях моделируемого технологического стресса профилактировало его отрицательное действие на метаболические процессы, включая перекисное окисление липидов, стимулировало анаболические процессы, положительно повлияло на клиническое здоровье и неспецифическую резистентность животных. Наименьшее количество кортизола — гормона, участвующего в развитии стрессовых реакций (134 нмоль/л в период интенсивного роста и 215 нмоль/л при заключительном откорме), отмечали у свиней в группе с использованием ДКВ в составе кормов (30), что дополнительно подтверждает полученные нами в 2020 году данные. Существует несколько направлений изучения нивелирующего эффекта кормовых адаптогенов при стрессах разной этиологии. По утверждению I. Jycsák с соавт. (31), у свиней скармливание фитогенных кормовых добавок с высоким содержанием антиоксидантов может быть полезно для снижения окислительного стресса, вызванного в том числе тепловым воздействием. А.С. Кузнецов (32) полагает, что повышению продуктивности свиней способствует скармливание гамма-аминомасляной кислоты, которая позволяет нормализовать работу нервной системы и повысить стрессоустойчивость поросят. Исследования показывают, что биологически активные вещества направленного действия снижают выработку адреналина и увеличивают выработку гормона роста (32), в результате поросята больше потребляют кормов и меньше тратят времени и энергии на агрессивное поведение и связанные с ним стрессы. Иммунопрофилактика стрессов различной этиологии с использованием иммунотропных препаратов позволяет снизить возраст первого осеменения ремонтных свинок и повысить его плодотворность (33, 34). Рассматриваются возможности применения нормотимиков и адаптогенов не только для ускорения роста животных, но и для улучшения качества мясной продукции (35, 36).

Итак, у свиней для смягчения последствий стрессов различной этиологии необходимо снизить теплогенез и поддерживать необходимое потребление питательных веществ рациона. Для профилактики последствий теплового стресса рекомендуем использовать комплексный подход, включающий селекцию животных на термотолерантность; применение специальных антистрессовых кормовых добавок (в периоды теплового воздействия, смены режима кормления, транспортировки и действия прочих факторов стресса); улучшение систем вентиляции и охлаждения воздуха в помещениях. Своевременное прогнозирование теплового и других стрессов и адекватные меры их профилактики помогут избежать негативных последствий для интенсивно растущего молодняка и экономических убытков в системе интенсивного свиноводства.

[1]ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60,
e-mail: nek_roman@mail.ru, chabaev.m.g-1@mail.ru, tsis-elen@yandex.ru, 652202@mail.ru;

Поступила в редакцию 15 июля 2021 года

[2]*ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН,*
109316 Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26,
e-mail: semmm@mail.ru

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2021, V. 56, № 6, pp. 1156-1171

THE EFFECT OF DIHYDROQUERCETIN ON THE GROWTH AND USE OF FEED BY PIGS (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777) UNDER MODERATE HEAT STRESS

R.V. Nekrasov[1] ✉, *M.G. Chabaev*[1], *E.Yu. Tsis*[1], *N.V. Bogolyubova*[1], *A.A. Semenova*[1, 2]

[1]*Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,* 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail nek_roman@mail.ru (✉ corresponding author), chabaev.m.g-1@mail.ru, tsis-elen@yandex.ru, 652202@mail.ru;
[2]*Gorbatov Federal Center for Food Systems RAS,* 26, ul. Talalikhina, Moscow, 109316 Russia, e-mail semmm@mail.ru
ORCID:
Nekrasov R.V. orcid.org/0000-0003-4242-2239
Chabaev M.G. orcid.org/0000-0003-1889-6063
Tsis E.Yu. orcid.org/0000-0003-1988-1189
Bogolyubova N.V. orcid.org/0000-0002-0520-7022
Semenova A.A. orcid.org/0000-0002-4372-6448
The authors declare no conflict of interests
Acknowledgements:
Supported financially by Russian Science Foundation, project No. 19-16-00068
Received July 15, 2021
doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1156eng

Abstract

Crossbred pigs are characterized by nervous instability, limited thermoregulation, and susceptibility to stress. Climate stress causes behavioral, physiological, functional, productive changes in farm animals. The aim of the research was to assess the influence of a moderate climatic stress factor (an increase in ambient temperature) on feeding, the digestibility of nutrients and productivity of intensively growing young pigs fed with dihydroquercetin (DHQ) during different periods of rearing and fattening (the physiological yard of the Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 2020). For groups of crossbred boars F_2 (Large White × Landrace) × Duroc, $N = 36$) were subjected to moderate heat stress (4-6 °C above the optimum). Control animals (group 1, $n = 9$) fed a basal diet (BD), group 2 ($n = 9$) received BD + adaptogen dihydroquercetin (DHQ) during the rearing period, group 3 ($n = 9$) during the rearing and fattening, and group 4 ($n = 9$) during periods of technological stress (7 days after transportation, after transferring to other feeds, and before slaughter). The adaptogen we used as dietary supplement was Ecostimul-2 (LLC Ametis, Russia; 45 mg/kg of feed, or 32 mg DHQ/kg of feed). Moderate heat stress during feeding period (weeks 12-15 of the experiment) led to a significant increase in air concentration of ammonia up to 16.7 mg/m^3, hydrogen sulfide up to 1.67 mg/m^3, and carbon dioxide up to 0.14 mg/m^3. The blood cortisol level was 291.60 nmol/l in control group 1 (or 23.0 % above the upper value of reference limits of 41-237 nmol/l), 299.89 nmol/l in group 4, and 210 nmol/l ($p > 0.05$) in groups 2 and 3. At slaughter, the cortisol level was the highest in the control animals (284.77 nmol/l) while feeding DHQ in groups 3 and 4 decrease it to 234-253 nmol/l. Adverse external stimuli increased the mortality in the control to 11 % vs. 0 % in other groups. The animals were weighed weekly, and the average daily weight gain was assessed for each of the periods as compared to control with regard to environmental factors (microclimate parameters) and technology elements (change of feed, vaccination, etc.). During the growing period, the weight gain in all groups with DHQ were 1.5-1.7 % greater than in control group 1 (week 1, group 3, $p < 0.05$) that indicates better adaptation after transportation. Our study showed a significant increase in the average daily weight gain in certain periods of co-action of moderate heat stress and other stress factors, e.g., during vaccination (week 8, vaccination against classic swine fever, group 2 at $0.05 < p \leq 0.1$; groups 3 and 4 at $p < 0.05$). Over the experiment (growing and fattening periods), the largest average daily weight gain was in group 4 which received 32 mg/kg DHQ during technological stress, the difference with the control was 13.6 % ($p > 0.05$). In group 3 (32 mg/kg DHQ during the final fattening), there was a trend towards an increase in gross growth (by 6.2 %, $0.05 < p \leq 0.1$) compared to control. The balance test during the final fattening revealed a tendency to higher digestibility of dry matter in groups 3 and 4 (by 1.31 and 0.93 %, respectively; $0.05 < p \leq 0.1$). In the groups received DHQ, the nitrogen excretion with urine was lower (by 21.20, 14.47, and 21.91 g in groups 2, 3, and 4, respectively) compared to control group 1 ($p = 0.18$-0.37). Thus, dietary DHQ contributed to the retention and more efficient use of nitrogen by growing young pigs. With DHQ, excretion of calcium in the feces was also lower (by 3.48 g, $p < 0.05$; 1.68 g, $p > 0.05$; 2.87 g, $p = 0.06$) while its deposition in the body of growing young pigs was higher (by 3.52 g, $p < 0.05$; 1.62 g, $p > 0.05$; 2.85 g, $p = 0.06$) in groups 2, 3, and 4, respectively. Calcium utilization was 9.82 % higher ($p < 0.05$) in the animals of groups 2, 3, and 4. Thus, the control animals were more susceptible to the heat stress and had worse growth parameters, nutrient utilization, and higher mortality. Dietary DHQ applied during pig growing and fattening improves adaptive abilities of animals resulting in their better growth and

productive performance.

Keywords: adaptogen, dihydroquercetin, stress, young pigs, productivity, average daily live weight gain, digestibility.

REFERENCES

1. Pearce S.C., Gabler N.K., Ross J.W., Escobar J., Patience J.F., Rhoads R.P., Baumgard L.H. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 2013, 91: 2108-2118 (doi: 10.2527/jas.2012-5738).
2. Semenova A.A., Kuznetsova T.G., Nasonova V.V., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Tsis E.Yu. Use of antioxidants as adaptogens fed to pigs (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777) (meta-analysis). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [*Agricultural Biology*], 2020, 55(6): 1107-1125 (doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1107eng).
3. Zhang M., Dunshea F.R., Warner R.D., DiGiacomo K., Osei-Amponsah R., Chauhan S.S. Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration: a review. *International Journal of Biometeorology*, 2020, 64(9): 1613-1628 (doi: 10.1007/s00484-020-01929-6).
4. Yahav S., Mcmurthy J.P. Thermotolerance acquisition in broiler chickens by temperature conditioning early in life — The effect of timing and ambient temperature. *Poultry Science*, 2001, 80: 1662-1666 (doi: 10.1093/ps/80.12.1662).
5. Nekrasov R.V., Chabaev M.G., Bogolyubova N.V., Tsis E.Yu., Rykov R.A., Semenova A.A. *Agrarnaya nauka*, 2019, 10: 49-54 (doi: 10.32634/0869-8155-2019-332-9-49-54) (in Russ.).
6. Niyas P.A.A., Chaidanya K., Shaji S., Sejian V., Bhatta R., Bagath M., Rao G.S.L.H.V.P., Kurien E.K., Girish V. Adaptation of Livestock to Environmental Challenges. *J. Vet. Sci. Med. Diagn.*, 2015, 4: 3 (doi: 10.4172/2325-9590.1000162).
7. Kolesnikova L.R. *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii*, 2018, 17(4): 30-36 (in Russ.).
8. Bogolyubova N.V., Chabaev M.G., Fomichev Yu.P., Tsis E.Yu., Semenova A.A., Nekrasov R.V. Ways to reduce adverse effects of stress in pigs using nutritional factors. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2019, 9(2): 239-245 (doi: 10.15421/2019_70).
9. Huynh T.T., Aarnink A.J., Verstegen M.W., Gerrits W.J., Heetkamp M.J., Kemp B., Canh T.T. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(6): 1385-1396 (doi: 10.2527/2005.8361385x).
10. Kavtarashvili A.Sh. *RatsVetInform*, 2011, 7(119): 9-11 (in Russ.).
11. Baumgard L.H., Rhoads R.P. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2013, 1: 311-337 (doi: 10.1146/annurev-animal-031412-103644).
12. Chabaev M.G., Tsis E.Yu., Mishurov A.V., Alyaudinov Yu.A., Semenova A.A. *Svinovodstvo*, 2020, 5: 19-23 (doi: 10.37925/0039-713X-2020-5-19-23) (in Russ.).
13. Surai P., Fisinin V.I. The modern anti-stress technologies in poultry: from antioxidants to vitagenes. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [*Agricultural Biology*], 2012, 4: 3-13 (doi: 10.15389/agrobiology.2012.4.3eng).
14. Carpenter R., O'Grady M.N., O'Callaghan Y.C., O'Brien N.M., Kerry J.P. Evaluation of the antioxidant potential of grape seed and bearberry extracts in raw and cooked pork. *Meat Science*, 2007, 76(4): 604-610 (doi: 10.1016/j.meatsci.2007.01.02).
15. Sekretar S., Schmidt S., Vajdak M., Zahradnikova L., Annus J. Antioxidative and antimicrobial effects of some natural extracts in lard. *Czech Journal of Food Sciences*, 2018, 22: 215-218 (doi: 10.17221/10664-CJFS).
16. Costa L.G., Garrick J.M., Roqui P.J., Pellacani C. Mechanisms of neuroprotection by quercetin: counteracting oxidative stress and more. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 2016: ID 2986796 (doi: 10.1155/2016/2986796).
17. Zou Y., Wei H. K., 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).
18. 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. *Normy potrebnostei molochnogo skota i svinei v pitatel'nykh veshchestvakh* /Pod redaktsiei R.V. Nekrasova, A.V. Golovina, E.A. Makhaeva [Nutrient requirements for dairy cattle and pigs. R.V. Nekrasov, A.V. Golovin, E.A. Makhaev (eds.)]. Moscow, 2018 (in Russ.).
19. Mader T.L., Kreikemeier W.M. Effects of growth promoting agent and seasons on blood metabolites and body temperature in heifers. *Journal of Animal Science*, 2006, 84(4): 1030-1037 (doi: 10.2527/2006.8441030x).

20. Tomme M.F. *Metodika opredeleniya perevarimosti kormov i ratsionov* [Method for determining the digestibility of feed and rations]. Moscow, 1969 (in Russ.).
21. Ovsyannikov A.I. *Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve* [Experienced livestock fundamentals]. Moscow, 1976 (in Russ.).
22. Khramtsov V.V., Tabakov G.P. *Zoogigiena s osnovami veterinarii i sanitarii* [Zoo hygiene with the basics of veterinary medicine and sanitation]. Moscow, 2004 (in Russ.).
23. Kondrakhin I.P., Arkhipov A.V., Levchenko V.I., Talanov G.A., Frolova L.A., Novikov V.E. *Metody veterinarnoi klinicheskoi laboratornoi diagnostiki: spravochnik* /Pod redaktsiei V.N. Saitanidi [Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics: reference book. V.N. Saitanidi (ed.)]. Moscow, 2004 (in Russ.).
24. Renaudeau D., Anais C., Tel L., Gourdine J.L., Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(11): 3715-3724 (doi: 10.2527/jas.2009-2169).
25. Mayorga J., Renaudeau D., Ramirez B., Ross J., Baumgard L. Heat stress adaptations in pigs. *Animal Frontiers*, 2018, 9(1): 54-61 (doi: 10.1093/af/vfy035).
26. Baumgard L.H., Rhoads R.P. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2013, 1: 311-337 (doi: 10.1146/annurev-animal-031412-103644).
27. Ross J.W., Hale B.J., Gabler N.K., Rhoads R.P., Keating A.F., Baumgard L.H. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 2015, 55: 1381-1390 (doi: 10.1071/AN15267).
28. Ross J.W., Hale B.J., Seibert J.T., Romoser M.R., Adur M.K., Keating A.F., Baumgard L.H. Physiological mechanisms through which heat stress compromises reproduction in pigs. *Molecular Reproduction Development*, 2017, 84(9): 934-945 (doi: 10.1002/mrd.22859).
29. Harper L.A., Sharpe R.R., Simmons J.D. Ammonia emissions from swine houses in the Southeastern United States. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(2): 449-457 (doi: 10.2134/jeq2004.4490).
30. Nekrasov R.V., Chabaev M.G., Tsis E.Yu., Bogolybova N.V., Mishurov A.V., Rykov R.A. Effect of feed antioxidants on behavior and stress resistance of fattening pigs. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(Suppl_4): 364-365 (doi: 10.1093/jas/skaa278.640).
31. Fomichev Yu.P., Bogolyubova N.V., Nekrasov R.V., Chabaev M.G., Rykov R.A., Semenova A.A. Physiological and biochemical effects of two feed antioxidants in modeling technological stress in pigs (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [*Agricultural Biology*], 2020, 55(4): 750-769 (doi: 10.15389/agrobiology.2020.4.750eng).
32. Jycsák I., Tossenberger J., Végvári G., Sudár G., Varga-Visi E., Tyth T. How is the effect of phytogenic feed supplementation tested in heat stressed pigs? Methodological and sampling considerations. *Agriculture*, 2020, 10: 257 (doi: 10.3390/agriculture10070257).
33. Kuznetsov A.S. *Svinovodstvo*, 2019, 6: 24-26 (in Russ.).
34. Semenov V.G., Uspeshnyi A.V., Gladkikh L.P., Nikitin D.A., Tikhonov A.S., Mikhailova R.V. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Baumana*, 2020, 243(3): 233-236 (doi: 10.31588/2413-4201-1883-243-3-233-237) (in Russ.).
35. Uspeshnyi A.V., Gladkikh L.P., Semenov V.G., Nikitin D.A. *Vestnik CHuvashskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2020, 1(12): 77-81 (doi: 10.17022/hspc-fn13) (in Russ.).
36. Zou Y., Xiang Q., Wang J., Wei H., Peng J. Effects of oregano essential oil or quercetin supplementation on bodyweight loss, carcass characteristics, meat quality and antioxidant status in finishing pigs under transport stress. *Livestock Science*, 2016, 192: 33-38 (doi: 10.1016/j.livsci.2016.08.005).
37. 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).