

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 3. С. 138-162.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no. 3. P. 138-162.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Обзорная статья

УДК 636.082

doi:10.33284/2658-3135-107-3-138

Стресс как лимитирующий фактор в животноводстве

Даниил Евгеньевич Шошин¹, Никита Германович Ерофеев², Елена Анатольевна Сизова³,
Марина Юрьевна Павлова⁴

^{1,2,3,4}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

²nick060302@gmail.com

³Sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

⁴marqo5677@mail.ru

Аннотация. В статье представлены данные о стресс-реакциях, распространённых в животноводческом секторе, как деструктивных процессах, снижающих общую продуктивность крупного рогатого скота, птицы и прочих животных, и как следствие, общую рентабельность производства. Очерчена история исследований, описаны морфофизиологические и биохимические реакции, возникающие в организме, при неблагоприятных условиях, некоторые типы стресса, включая наиболее распространённые тепловой, транспортный и отъёмочный, а также основные принципы борьбы и предотвращения негативных следствий стресс-реакции.

Ключевые слова: сельскохозяйственные животные, стресс, тепловой стресс, транспортный стресс, отъёмочный стресс, физиология стресса

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2023-2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2024-0001).

Для цитирования: Стресс как лимитирующий фактор в животноводстве (обзор) / Д.Е. Шошин, Н.Г. Ерофеев, Е.А. Сизова, М.Ю. Павлова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 3. С. 138-162. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Review article

Stress as a limiting factor in animal husbandry

Daniil E Shoshin¹, Nikita G Erofeev², Elena A Sizova³, Marina Yu Pavlova⁴

^{1,2,3,4}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

²nick060302@gmail.com

³Sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

⁴marqo5677@mail.ru

Abstract. The article presents data on stress reactions common in the livestock sector as destructive processes that reduce the overall productivity of cattle, poultry and other animals, and as a result, the

overall profitability of production. The history of research is outlined, morphophysiological and biochemical reactions that occur in the body under adverse conditions, some types of stress, including the most common thermal, transport and withdrawal, as well as the basic principles of combating and preventing the negative effects of stress reactions are described.

Keywords: farm animals, stress, heat stress, transport stress, weaning stress, stress physiology

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2023-2024 FSBRI FRC BST RAS (FNWZ-2024-0001).

For citation: Shoshin DE, Erofeev NG, Sizova EA, Pavlova MYu. Stress as a limiting factor in animal husbandry (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):138-162. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>

Введение.

Производство животноводческой продукции, будь то молоко, мясо, шерсть, яйца или иное, подразумевает включение живого организма в строго контролируемый и направленный технологический процесс, или, условно говоря, его фактически полное изъятие из естественной физиологически-конвергентной среды. Такой переход, эволюционно сопровождающийся адаптацией морфологических и функциональных особенностей сельскохозяйственных животных к потребностям человека, определяет абсолютную необходимость присутствия второго для нормального существования первого (Fisher M, 2018; Mignon-Grasteau S et al., 2005). Однако расширенная механизация подобного взаимоотношения, обусловленная растущим спросом на продукцию и сокращением числа индивидуальных подворий и фермерских хозяйств, ведёт к тому, что животное начинает рассматриваться лишь как «шестерёнка» в общем механизме производства (Bhoj S et al., 2024). При этом из ряда факторов, определяющих продуктивные качества, среди которых генетический потенциал, нормы кормления, условия содержания и ветеринарный надзор, часто исключается психоэмоциональное состояние, определяемое вкуче общим комплексом внешней и внутренней среды (Lamy E et al., 2012; Zulkifli I, 2013). В свою очередь, такие элементы производственного процесса, как малая подвижность, высокая скученность, транспортировка, процедуры отъёма молодняка, наличие широкого спектра шумов, зачастую сопряжены с формированием стресс-реакций, так или иначе сказывающихся на продуктивных качествах (Kumar B et al., 2012). Иными словами, глубокий анализ и контроль подобных индукторов негативных связей может иметь весьма позитивный результат.

Цель исследования.

Обзор существующих на сегодняшний день данных о природе, источниках и механизме стресс-реакции у животных, включая возможные отрицательные эффекты.

Материалы и методы исследования. Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ – <https://www.elibrary.ru>, ScienceDirect – <https://www.sciencedirect.com>, PubMed – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, Google Scholar (Google Академия) - <https://scholar.google.ru/> за период 1975-2024 гг.

Результаты исследования и их обсуждение.

Стресс как ответная реакция на раздражение: краткая история исследований. Возникновение концепции стресса, изначально – исключительно в лоне медицины, связано, в первую очередь, с именами Клода Бернара и Уолтера Кэннона, разработавшими теорию постоянства (гомеостаза) внутренней среды организма. Согласно последней, все биохимические и физиологические процессы как внутри, так и вне клеток осуществляются в строго контролируемых допустимых диапазонах pH, температуры, давления и прочих физических факторов, выход за пределы которых сопряжён с феноменом «общего адаптационного синдрома», более известного как «стресс-реакция» (Goldstein DS and Kopin IJ, 2007). Иными словами, животные, в частности высокоразви-

тые, по теории Бернара и Кэннона, должны иметь «механизм поддержания постоянной и свободной жизни, независимой от изменений в окружающей среде», сущность которого заключается в регулировании энергетического баланса, определяемого режимом питания. Данное понимание рассматриваемого явления достаточно примитивно, но, безусловно, содержит в себе рациональное зерно, что позволило в дальнейшем понятию «стресс» прочно укрепиться в науке (Геворкян В.С. и Геворкян И.С., 2017). При этом, однако, представленная выше концепция за всё время своего существования множество раз подвергалась пересмотру и впоследствии приняла более развёрнутую форму. Под словом «стрессор» стали понимать не только физические, но и более сложные психологические воздействия, способные вызвать негативные эмоции у субъекта (Yumatov EA, 2020), что, вопреки расхожему мнению, присуще не только приматам, но и всей совокупности млекопитающих и даже птиц (de Waal FBM and Andrews K, 2022). Было изучено влияние стресса на двигательную активность (Городецкая И.В. и Гусакова Е.А., 2013), пищеварительную (Винникова С.В., 2014), иммунную (Ибишов Д.Ф. и Поносов С.В., 2022; Шахов А.Г. и др., 2020), кровеносную (Мифтахутдинов А.В., 2014) и нервную системы (Morley JE et al., 1982), определён спектр стресс-индуцирующих факторов (Шевченко Д.О. и др., 2022) и разработаны методы борьбы, включая идентификацию и устранение причин стресса или же снижение интенсивности их действия, а также поиск и аттестацию или разработку препаратов с выраженным антистрессовым потенциалом (Sneddon LU et al., 2016), в качестве которых в животноводческом секторе, как правило, выступают различные фитохимические соединения, экстракты трав и корней, пробиотики и некоторые фармацевтические препараты (Kikusato M, 2021; Surai PF and Fisinin VI, 2012).

Следует отметить также, что особый вклад в становление концепции стресса внёс канадский патолог и эндокринолог австро-венгерского происхождения Ганс Селье, выделивший три стадии развития у описываемого процесса на модели лабораторных мышей:

1) Стадия тревоги, выражающаяся в мобилизации всех резервных запасов энергии в организме. Возникает сразу после воздействия стрессора, активируя работу тех органов, которые будут способствовать выживанию в конкретных неблагоприятных условиях, и подавляя функцию «лишних» в данный момент систем. Так, например, замедляется рост, процессы регенерации, работа ЖКТ, подавляются репродуктивные функции. Напротив, усиливается работа надпочечников, ускоряется работа сердечной мышцы, активируются процессы катаболизма.

2) Стадия резистентности, в течение которой субъект за счёт предшествующей мобилизации нивелирует последствия внешних воздействий. В этот момент возможно отслеживание увеличенной стрессоустойчивости. На биохимическом уровне усиливается синтез гормонов стресса (адреналин, катехоламин). Организм приспосабливается к воздействию стрессора. Затем, если действие стресс-фактора прекращается, организм возвращается в нормальный режим работы, в противном случае – переходит на последнюю стадию.

3) Стадия истощения характеризуется необратимыми изменениями морфологии и физиологии органов и тканей – организм больше не способен сопротивляться негативным факторам среды (Jackson M, 2014). Происходит срыв адаптивных регуляторных механизмов, и организм гибнет вследствие невозможности адекватного энергообеспечения адаптационных процессов.

Более того, Ганс Селье в своих трудах предложил подразделять стресс на две разновидности: дистресс (от английского слова *distress* – истощение) и эустресс. И если второй, «острый стресс», действующий на коротком временном промежутке, в определённой степени можно считать позитивным фактором, способствующим закаливанию организма, то первый, представленный в хронической форме, крайне негативно сказывается на процессах жизнедеятельности (Broom DM et al., 2019).

Таким образом, под стресс-реакцией сегодня следует понимать мобилизацию физиологических резервов организма в ответ на внешнее раздражение, превышающее допустимое пороговое значение, адаптацию к новому физическому, химическому, материальному или человеческому окружению (особо актуально для сельскохозяйственных животных, разводимых и используемых по схеме закрепления отдельных лиц за особью, например: «дойрка-корова», «стадо-пастух» и т.

д.). Такой процесс сопровождается перестройкой метаболизма и требует больших энергетических затрат, что негативно сказывается не только на продуктивности, но и на общем состоянии здоровья поголовья. Однако, прежде чем непосредственно перейти к причинам и следствиям стресс-реакций в животноводстве, следует отметить основные биохимические и физиологические механизмы, лежащие в их основе.

Биохимия и физиология стресса. Стресс как состояние, индуцированное внешними или внутренними негативными факторами и угрожающее гомеостатическим параметрам организма, сопровождается сложным каскадом физиологических и поведенческих реакций, направленных на возвращение к обще-нормальному равновесию – эустазу (рис. 1). В реализации последних участвуют нейроэндокринная и иммунноклеточная системы, вкупе формирующие так называемый стресс-комплекс животного, основу которого составляют гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось и симпатический отдел вегетативной части ЦНС, тесно взаимодействующий с другими нервными центрами, а также тканями и органами на периферии (Tsigos C et al., 2020). Ключевыми метаболитами и эффекторами в этом случае выступают кортикотропин-рилизинг-гормон (КРГ), тиреотропин-рилизинг-гормон (ТРГ), аденокортикотропин (АКТГ), окситоцин, вазопрессин, тироксин, глюкокортикоиды (кортизол), минералокортикоиды (альдостерон) и катехоламины (норадреналин и адреналин). Последние, в частности, влияют на основные иммунные функции, такие как презентация антигена, пролиферация и трафик лейкоцитов, секреция цитокинов и антител, а также функциональную активность Т-хелперов и Т-киллеров (Elenkov IJ and Chrousos GP, 2007).

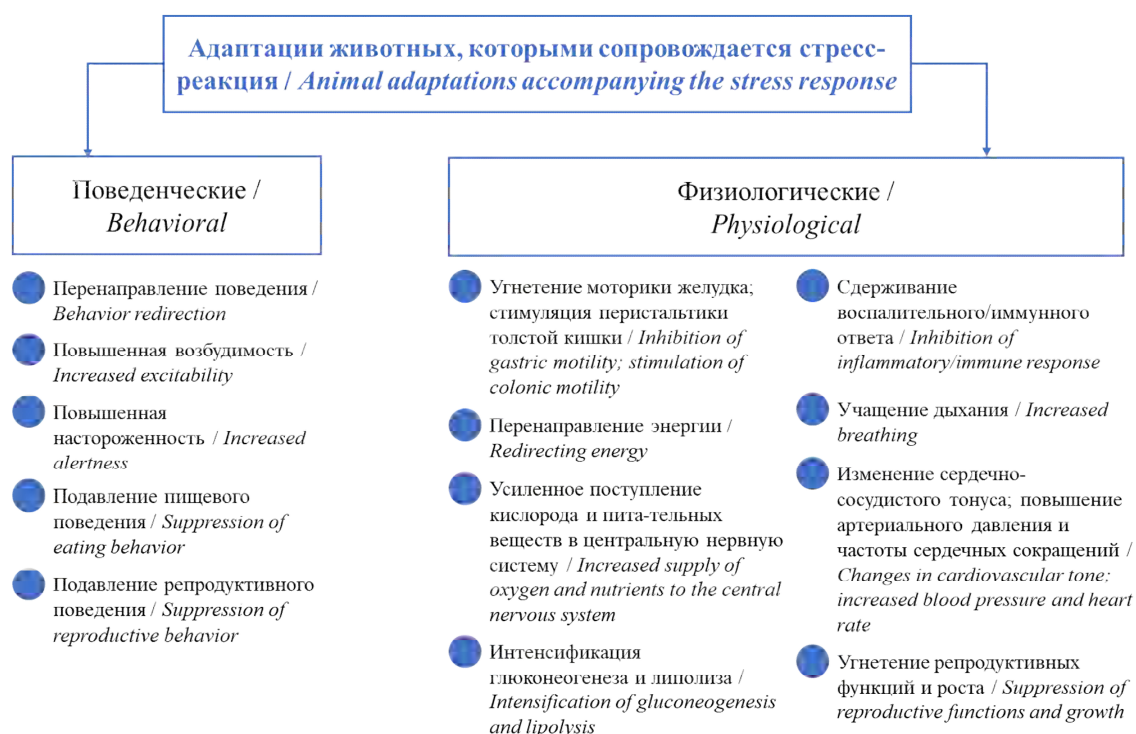


Рисунок 1. Поведенческие и физиологические адаптации животных, которыми сопровождается стресс-реакция

Figure 1. Behavioral and physiological adaptations of animals, which are accompanied by a stress reaction

Иными словами, в организме существует несколько вертикальных уровней, задействованных в стресс-реакции (рис. 2):

1) Гипоталамус и симпатoadреналовая система или центральная нейрoхимическая цепь. Отвечает за активацию стресс-системы и включает как стимулирующие, так и тормозящие пути с несколькими участками взаимодействия, которые модулируют и тонко настраивают адаптивную реакцию. Ключевыми компонентами этих путей являются гипоталамические парвоцеллюлярные кортикотропин-рилизинг-гормон и адреналин-вазопрессин-секретирующие, а также центральные катехоламинергические нейроны. Участвуя в стресс-реакции, вырабатываемые ими вещества, стимулируют секрецию АКТГ, окситоцина и вазопрессина на нижеследующем уровне (Majzoub JA, 2006). Вазопрессин обладает антидиуретическим действием и играет важную роль в солевом и водном балансах, некоторых метаболических путях, включая глюконеогенез (Bankir L et al., 2017). Окситоцин, в свою очередь, имеет плейотропный эффект и связан с регуляцией процессов пищеварения, дыхания, сердечно-сосудистой деятельности, энергетического баланса, натрийуреза, работы эндокринной и иммунной систем, процессов лактации и родов, он же определяет восприятие боли (Yang HP et al., 2013) и стимулирует молокоотдачу. В частности, ранее было показано, что инъекция 1 мл окситоцина коровам голштинской породы перед доением за 305 дней лактации позволяет получить на 849 кг больше молока, чем в контрольной группе (Nostrand SD et al., 1991).

Более того, задняя доля гипоталамуса напрямую через симпатический отдел вегетативной нервной системы активирует мозговое вещество надпочечников и синтез адреналина и норадреналина, поступающих в кровь. Последние объединяются в группу метаболических гормонов, так как непосредственно активируют клеточный метаболизм (Зенкин А.С. и др., 2019). Симпатическая иннервация периферических органов также происходит от эфферентных преганглионарных волокон, клеточные тела которых лежат в интермедиолатеральном столбе спинного мозга. Эти нервы объединяются в двустороннюю цепь симпатических ганглиев с постганглионарными симпатическими нейронами, которые иннервируют гладкомышечные клетки сосудистой сети, скелетной мускулатуры, сердца, почек, кишечника, жировой ткани и многих других органов (Tsigos C et al., 2020).



Рисунок 2. Компоненты стресс-системы и их взаимодействие
Figure 2. Components of the stress system and their interaction

Помимо прочего, гипоталамус принимает участие в регуляции общего обмена веществ, деятельности сердечно-сосудистой системы и терморегуляции, опосредует чувство жажды и голода,

сексуальное поведение и размножение, управляет циркадными ритмами, так называемой системой CLOCK (Biran J et al., 2015; Nader N et al., 2010).

2) Гипофиз. Секретируемый передней долей гипофиза АКТГ является ключевым регулятором выработки глюкокортикоидов (кортизол) и андрогенов (тестостерон) пучковой и сетчатой зонами коры надпочечников соответственно, а также участвует в регуляции секреции альдостерона клубочковой зоной (Aguilera G, 1993). ТТГ же отвечает за работу щитовидной железы.

3) Надпочечники. Глюкокортикоиды и минералокортикоиды являются конечными гормональными эффекторами гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, проявляя свои плеiotропные эффекты через повсеместно распределённые внутриклеточные рецепторы (Munck A et al., 1984). Кортизол способствует повышению уровня сахара в крови, подготавливая организм к борьбе со стрессом, а альдостерон поднимает артериальное давление, обеспечивая быстрее поступление кислорода и питательных веществ к активным структурам организма (Funder JW, 2010).

В контексте адаптивной реакции на стресс глюкокортикоиды оказывают в первую очередь катаболические эффекты в рамках обобщенных усилий по использованию всех доступных энергетических ресурсов против стрессора. Таким образом, глюкокортикоиды увеличивают печеночный глюконеогенез и уровень глюкозы в плазме крови, индуцируют липолиз (хотя они способствуют накоплению жира в брюшной и дорсоцервикальной областях) и вызывают деградацию белка во многих тканях (например, в скелетных мышцах, костях и коже), чтобы обеспечить аминокислоты, которые могут быть использованы в качестве дополнительного субстрата для окислительных путей. Параллельно со своим прямым катаболическим действием, глюкокортикоиды также противодействуют анаболическому эффекту соматотропина, инсулина и половых стероидов на свои органы/ткани-мишени. Этот сдвиг метаболизма в катаболическое состояние активированной гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой осью обычно обращается вспять при втягивании наложенного стрессора (стрессоров). Однако хроническая активация может иметь ряд пагубных эффектов, включая увеличение висцерального ожирения, подавление остеобластической активности, снижение сухой массы тела (снижение мышечной и костной массы, вызывающее саркопению и остеопению) и резистентность к инсулину (Chrousos GP, 2000; Kyrou I and Tsigos C, 2007).

Катехоламины же, как известно, являются важнейшими регуляторами адаптивных реакций организма, обеспечивая его переход из состояния покоя в состояние возбуждения, нередко достаточно большой продолжительности. Именно катехоламиновая реакция является важнейшим элементом в формировании состояния стресса (Ковальчикова М. и Ковальчик К., 1978). На стадии тревоги адреналин обеспечивает быструю активацию обменных процессов, увеличение сократительной способности миокарда и мобилизацию гликогена печени. В это же время активизируется островковый аппарат поджелудочной железы, что проявляется в резком повышении инкреции инсулина в результате гипергликемии (Галочкин В.А. и др., 2009). При этом стресс-система подавляет синтез гонадотропин-рилизинг-гормона, соматотропина и тироксина, угнетая тем самым репродуктивную функцию и рост организма (Chand D and Lovejoy DA, 2011; Asres A and Amha N, 2014). Она же ингибирует иммунный ответ благодаря противовоспалительному действию глюкокортикоидов, выражающемуся в изменениях трафика и функциональной активности лейкоцитов, снижении продукции цитокинов и других медиаторов воспаления, а также ингибировании провоспалительных сигнальных путей в органах и тканях-мишенях (Reed RG and Raison CL, 2016; Pruett SB, 2003).

Стоит также отметить, что стресс-система не только задаёт уровень возбуждения и регулирует жизненные показатели, но и дополнительно взаимодействует с другими важнейшими компонентами ЦНС, включая мезокортиколимбическую дофаминергическую зону, комплекс миндалевидного тела/гиппокампа, дугообразное ядро нейронной системы проопиомеланокортина, центры терморегуляции и аппетита, формируя таким образом сложноорганизованный реципрокный механизм, который тонко настраивает адаптивную реакцию.

При этом собственные индивидуальные реакции на стресс определяются множеством онтогенетических, экологических и морфологических факторов, к примеру, известно, что быки-

кастраты по своей природе более флегматичны и менее раздражимы, чем быки-производители (Rust RL et al., 2007). В зависимости от источника стресса животные испытывают страх, обезвоживание или голод. Повышенная утомляемость и физические травмы дополнительно потенцируют нарушения в энергетическом и ионном внутриклеточном балансе, в протеазной системе, а также изменения белков скелетных мышц, что сказывается на качестве получаемой мясной продукции (Ouali A et al., 2006; Xing T et al., 2017).

Особое значение имеют также степень адаптации животного к условиям содержания и стадия производственного цикла. Так, акклиматизированные породы менее подвержены климатическому стрессу, нежели инвазивные, приобретённые в других регионах (Чирихина В.А., 2021; Корякина Л.П. и др., 2023). Коровы, находящиеся в середине лактации, наиболее чувствительны к тепловому стрессу по сравнению с ранними и поздними стадиями. Так, снижение молокопродукции при повышенных температурах окружающей среды составило 14 % в начале лактации и 35 % – в середине лактации (Basirico L et al., 2009; Bernabucci U et al., 2010). Средняя молочная продуктивность голштино-фризской породы в ранний период лактации (первые 60 дней лактации) была достоверно ($p < 0,05$) выше весной ($42,74 \pm 4,98$ л), чем летом ($39,60 \pm 5,09$ л) (Joksimovic-Todorovic VM et al., 2011).

Таким образом, стресс следует рассматривать как состояние дисгармонии, реостаза и аллостаза, затрагивающее широкий спектр физиологических процессов и систем, что сказывается на смене направления общего обмена веществ с процессов роста и развития на реакции противодействия неблагоприятным факторам, которые в случае с животноводческим сектором можно объединить в ряд групп, определяющих разновидность стресс-воздействия.

Типология стресса в животноводстве: причины и следствия. Стресс у сельскохозяйственных животных в виду многообразия их взаимодействий с человеком и окружающей средой следует подразделять на три созависимые категории: средовой, технологический и эмоциональный. Первый обусловлен физическими и химическими параметрами микроклимата помещений, где содержится поголовье: температурой и составом воздуха, его влажностью, интенсивностью освещения, шумовой нагрузкой, плотностью посадки; второй связан с различными производственными операциями – ветеринарным осмотром, транспортировкой, отъёмом молодняка, а также структурой кормления и составом рационов, третий, как правило, определяется взаимоотношениями животных внутри группы и с человеком, часто он вытекает из двух предыдущих категорий ввиду невозможности реализации какой-либо физиологической потребности. Так, наиболее распространёнными в животноводческом секторе являются тепловой, кормовой, отъёмочный, и транспортировочный виды стресса (Ажмулдинов Е.А. и др., 2018; Боголюбова Н.В. и др., 2022; Bogolyubova NV et al., 2019).

1. Тепловой стресс. Опасными для сельскохозяйственных животных являются как низкие, так и высокие температуры окружающей среды, так, например, термонеутральная зона у молочного скота, в пределах которой поддерживается физиологическая температура тела $+38,4...+39,1$ °C колеблется от $+16$ °C до $+25$ °C (Renaudeau D et al., 2012). Переохлаждение же наступает, когда температура тела падает значительно ниже нормы. В целом, у крупного рогатого скота лёгкая гипотермия возникает при температуре тела $+30...+32$ °C, умеренная – при $+22...+29$ °C и тяжёлая – ниже $+20$ °C. Когда ректальная температура опускается ниже $+28$ °C, адаптационные механизмы организма уже не могут самостоятельно вернуть показатели к норме без дополнительного согревания и приёма тёплых жидкостей. По мере прогрессирования гипотермии метаболические и физиологические процессы замедляются, и кровь отводится от конечностей для защиты жизненно важных органов. В экстремальных ситуациях у животных замедляется дыхание и сердцебиение, они теряют сознание и умирают. Доказано, что холодовой стресс снижает скорость усвоения молозива новорождёнными телятами (Stull CL, 1997). При охлаждении возрастают энергетические затраты животных, в связи с чем им необходимо значительно большее количество кормов для поддержания тех же темпов роста, что снижает рентабельность производства. Однако стресс, обусловленный низкими температурами, легко нивелируется при соблюдении условий содержания и норм по-

стройки животноводческих помещений, гораздо опаснее – перегрев (Aggarwal A and Upadhyay R, 2013; Joy A et al., 2020). В частности, в США ежегодные убытки, обусловленные тепловым стрессом, только в молочном скотоводстве составляют порядка 900 млн долларов, и более 300 млн долларов – в мясном скотоводстве и свиноводстве (St-Pierre N et al., 2003). Ежегодные производственные потери, связанные с повышенными температурами, в индустрии австралийских откормочных площадок оцениваются в 16,5 млн долларов (MLA, 2010). Связано это в первую очередь с тем, что несмотря на хорошо развитые механизмы терморегуляции, жвачные и моногастричные животные не способны поддерживать строгую гомеотермию, при этом гипертермия вредна в любой форме, независимо от породы и степени адаптации. Так, наиболее известным эффектом повышенной температуры тела является адаптивное снижение скорости обмена веществ и аппетита. Потребление корма лактирующими коровами незначительно снижается уже при температуре воздуха +25...+26 °C, а начиная с +30 °C и выше +40 °C, падает на 40 % (Rhoads RP et al., 2013). Аналогичная динамика в диапазоне 22-35 % и 8-10 % наблюдается у молочных коз (Hamzaoui S et al., 2012) и у бойволиц (Hooda OK and Singh S, 2010) соответственно. Под действием теплового стресса меняется и общая направленность пищеварительных процессов (Nardone A et al., 2006; Soriani N et al., 2013). Так, Nonaka I с соавторами (2008) сообщали, что у жвачных при повышении температуры воздуха снижается выработка ацетата в рубце, в то время как количество пропионата и бутирата увеличивается. В ответ животное потребляет меньше грубых кормов и изменяет микробную популяцию рубца и pH с 5,82 до 6,03 (Hall M, 2009), снижая интенсивность жвачки и перистальтических процессов (Nardone A et al., 2006; Soriani N et al., 2013).

При тепловом стрессе у животных, помимо прочего, возникают общие метаболические изменения (Rhoads M et al., 2009), что в конечном итоге может привести к смерти (Lacetera N, 2019). Так, к примеру, адаптивная иммунная функция животного смещается от нормального клеточного опосредованного к гуморальному иммунитету (Sophia I et al., 2016), что ослабляет иммунный статус, повышая восприимчивость животных к ряду патогенов и трансмиссивных заболеваний (Vandana G et al., 2019; Sophia I et al., 2016). Кроме того, под влиянием теплового фактора усиливается окислительный стресс (снижение антиоксидантного статуса/повышенная выработка свободных радикалов) (Sordillo LM and Aitken SL, 2009) у молочного скота (Bernabucci U et al., 2002), овец (Chauhan SS et al., 2014; Chauhan SS et al., 2016), свиней (Liu F et al., 2016) и домашней птицы (Mujahid A et al., 2005; Shakeri M et al., 2019; Shakeri M et al. 2020). Наиболее подробно иммунные реакции на тепловой стресс рассмотрены в работе Chauhan SS с коллегами (2021).

Тепловой стресс отрицательно влияет и на молочную продуктивность, включая качественный состав молока, особенно у животных с высоким генетическим потенциалом (Bougaoui R et al., 2002; Upadhyay RC et al., 2009; Wheelock JB et al., 2010). К примеру, по данным Bougaoui R с соавторами (2002), индекс THI (показатель температуры и влажности) отрицательно коррелирует с удоєм. Так, увеличение значения THI с 68 до 78 снижает потребление корма на 9,6 % и производство молока – на 21 %. Spiers DE с коллегами (2004) сообщили, что удои снижаются на 0,41 кг/корова/сут на каждую единицу THI свыше 69. Gaafar HMA соавторами (2011) продемонстрировали, что с увеличением THI с 59,82 в зимний сезон до 78,53 в летний сезон общий удои за лактацию и суточный надой молока снижается на 39,00 % и 29,84 % соответственно.

Kadzere CT с коллегами (2002) также показали, что процент молочного жира, сухого вещества без учёта жира и молочного белка уменьшался при росте индекса THI. Bougaoui R с соавторами (2002) наблюдали снижение молочного жира и молочного белка в летний сезон, когда значение THI превышало 72. Кроме того, анализ белковых фракций также показал снижение процентного содержания казеина, лактальбумина, IgG и IgA (Nardone A et al., 2006).

2. Транспортировочный стресс. Установлено, что перевозка животных на большие расстояния вызывает потери живой или убойной массы (Ritter MJ et al., 2008; Knowles TG et al., 1999; Minka NS et al., 2009; Hartung J, 2003). При исследовании влияния длительной перевозки телят (в течение 19 ч с перерывом в 1 ч на отдых) летом и зимой обнаружены более выраженные изменения в зимний период, когда потери в живой массе были выше (в среднем до 2 кг). Адаптационный пе-

риод составил 8 ч летом и 16 ч зимой у животных после транспортировки. На восстановление потерь живой массы животным опытных групп потребовалось 48 часов летом и 72 часа зимой (Tarrant P, 1989). При транспортировке свиней в течение 8, 16 и 24 ч потери составили 2,2, 2,0 и 4,3 % живой массы соответственно. Аналогичным образом в течение 15 ч овцы потеряли 5,5 % от их первоначальной живой массы, в то время как в стационарной контрольной группе потеря была всего 3,6 %. При перевозке в жаркий сезон потери живой массы у коз составили 11,9 % от первоначальной. При транспортировке их в течение 12 часов на расстояние 600 км потери составили 5,6 % (Hartung J, 2003). Транспортировка лошадей на 800 миль привела к снижению массы на 2,37 % (Stull CL, 1999).

3. Кормовой стресс. Кормовой стресс у животных возникает при смене кормов, использовании некачественных ингредиентов, загрязнённости кормов ксенобиотиками и под воздействием прочих причин. Так, жир в рационе значительно влияет на показатели роста и состояние здоровья стада. Некачественные масла в кормах снижают продуктивность цыплят-бройлеров (Mazur-Kusnierek M et al., 2019). Диеты, богатые полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), усиливают перекисное окисление липидов и снижают антиоксидантную способность. Прогорклые жиры, подвергающиеся процессам автоокисления, содержат вещества, образующие свободные радикалы. В результате реакций окисления образуются вредные перекиси, которые превращаются в углеводороды, кетоны, спирты, органические кислоты и альдегиды, включая малоновый диальдегид. Повышенная продукция АФК нарушает окислительно-восстановительный баланс и приводит к окислительному стрессу с вредными последствиями для здоровья (Koch RE and Hill GE, 2016).

Причиной окислительного стресса могут быть микотоксины в кормах. Охратоксин А (ОТА, вторичный метаболит, продуцируемый некоторыми видами *Aspergillus* и *Penicillium*) оказывает иммунодепрессивное действие на человека и животных. Охратоксин А вызывает окислительный стресс, ПОЛ и патологические поражения в тканях фабрициевой сумки, селезёнки и тимуса кур, о чём свидетельствует снижение количества каталазы и увеличение содержания продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП). Кроме того, введение ОТА в рацион приводит к апоптозу, что проявлялось в повышении экспрессии генов PTEN, Bax и каспазы-3 и снижении экспрессии генов PI3K, AKT и Bcl-2 (Abdelrahman RE et al., 2022). В обзоре Sorrenti V с соавторами (2013) увеличение продукции АФК и, как следствие, окислительный стресс и ПОЛ обсуждаются как причины токсичности ОТА. Повторное воздействие ОТА на цыплят в течение определённого периода времени снижает активность СОД, содержание глутатиона (GSH) и общую антиоксидантную способность при одновременном увеличении количества МДА (Hameed MR et al., 2017; Tong C et al., 2020).

Кадмий (Cd) – тяжёлый металл и один из наиболее токсичных загрязнителей окружающей среды. Его присутствие в кормах представляет серьёзную проблему в животноводстве и в сельском хозяйстве в целом. В некоторых случаях количества Cd превышают максимально допустимые. Cd может попадать в организм животных с кормовыми минеральными премиксами и поступать в растения при использовании навоза с высоким содержанием кадмия в качестве органического удобрения (Al-Waeli A et al., 2013). Кадмий обладает комплексной токсичностью для млекопитающих, вызывает различные формы окислительного повреждения и поражение тканей животных (Xu F et al., 2015). Cd индуцирует образование свободных радикалов, снижает активность антиоксидантных ферментов и приводит к окислительному разрушению липидов (Shaikh ZA et al., 1999), белков и ДНК у людей и животных (Zhao W et al., 2014). Описана гепатотоксичность кадмия, в куриной печени он индуцировал окислительный стресс и апоптоз (Li J-L et al., 2013).

4. Отъёмочный стресс. Отъём является одним из самых сильных стрессов, потому что отлучённые животные должны быстро адаптироваться к большим изменениям в кормлении, окружающей среде. Совокупные эффекты этих стрессоров изменили состояние желудочно-кишечного тракта и отрицательно сказались на состоянии молодняка в послеотъёмный период.

Отъём включает в себя несколько стрессоров (например, отъём от матери, перегруппировку, транспортировку, изменение кормления и т. д.), которые в совокупности способствуют ухуд-

шению функционирования кишечника. Влияние отъёма на состояние желудочно-кишечного тракта давно известно, однако основные механизмы остаются недостаточно понятными. Эти механизмы, по утверждению Lynch E с коллегами (2010), являются ключевым фактором для улучшения неблагоприятных последствий отъёма на функции кишечника.

В природе отъём у животных является постепенным процессом, который приближается к завершению при полным созревании эпителиальной, иммунной и нервной систем, желудочно-кишечного тракта. Во время технологического отъёма животного от матери кроме основного стрессора возникают дополнительные психосоциальные и иммунологические стрессоры, которые усиливают нагрузку на организм в течение этого времени, включая транспортировку, перегруппировку, борьбу и создание новой социальной иерархии, вакцинацию и т. д. Время отъёма также совпадает с периодом снижения пассивного иммунитета от потребленного молока, что является дополнительным фактором.

McLamb BL совместно с коллегами (2013) установил, что отъём у поросят вызывает нарушение функции кишечного барьера, характеризующееся значительным снижением трансэпителиальной резистентности кишечника и повышенной его проницаемостью. В то же время, когда при нарушении функции эпителиального барьера происходит повышение активности противовоспалительных цитокинов, указывающих на надёжную активацию иммунной системы желудочно-кишечного тракта после отъёма. Специфическая иммунная реакция, по утверждению Moeser AJ и Pohl CS (2017), происходит за счёт активации тучных клеток кишечника.

В промышленном производстве свиней возраст отъёма может варьироваться от 14 до 30 дней в зависимости от нескольких факторов управления (например, время лактации, период стресса и график отъёма). По сравнению с поросятами, отнятыми от матери в возрасте 28 дней, отнятые в 21 день демонстрируют повышенную проницаемость кишечника. В эксперименте (Smith F et al., 2010) увеличение возраста отъёма с 15 до 28 дней привело к снижению уровня проницаемости кишечника.

Исследования Medland JE с коллегами (2016) показывают, что нарушения барьерной функции желудочно-кишечного тракта, иммунной и нервной систем у ранних отлучённых животных сохраняются и во взрослой жизни.

Пути нивелирования негативных последствий стресс-реакции в животноводстве. Исходя из вышепредставленной системы стресса, путей его возникновения и физиологии для нивелирования негативных эффектов в животноводческом секторе следует придерживаться следующих рекомендаций:

1) Необходимо обустроить помещение для содержания животных таким образом, чтобы вероятность проявления травмирующих стресс-факторов (тепловой и акустический стресс) была минимальна. Так, в частности, у молочного скота, получившего доступ к дождевателям в условиях теплового стресса, увеличивается производство молока, улучшается воспроизводство и конверсия корма (Wolfenson D, 2009). К этой же группе требований необходимо отнести соблюдение общих рекомендаций касательно ухода и кормления. Модификации питания могут помочь животным поддерживать гомеостаз или предотвратить дефицит питательных веществ, возникающий при стрессе. Так, повышение доли нерасщепляемого в рубце белка в рационах жвачных улучшает надой молока в жарком климате (West JW, 1999). Потребление сухого вещества корма и удой молока увеличиваются у коров, которых кормили рационами, содержащими 14 % по сравнению с 17 или 21 % кислотнo-детергентной клетчатки (West JW, 2003). Повышение содержания жира в рационе способствовало повышению эффективности производства молока и выхода молока в тёплое время года (Linn J et al., 2004). Корма, содержащие низкое содержание клетчатки в жаркую погоду, логичны, так как теплопродукция в значительной степени связана с метаболизмом ацетата по сравнению с пропионатом (Atrian P and Shahryar HA, 2012).

2) Подготовка к перегруппировкам и иным схожим мероприятиям должна проводиться заранее – примерно за неделю;

3) Необходимо ежедневно проводить клинический осмотр поголовья с сопутствующим удалением отличных (в этологическом и ином плане) от большинства экземпляров особей;

4) Следует соблюдать нормы площади и фронты кормления с учётом роста и развития животного;

5) При перевозке скота необходимо использовать приспособленный для этих целей транспорт. Помимо этого, весь путь должен занимать не больше часа, а в противном случае нужно будет совершать остановки для кормления, поения, и отдыха животных; не лишним будет использование адаптогенов.

7) Процесс отъёма молодняка должен происходить при поддержке стресс-протекторов. Так, возникающие при стрессе окислительные повреждения могут быть сведены к минимуму путём введения в рацион дополнительного количества витаминов С, Е и А, а также минералов, таких как цинк (McDowell LR, 1989). Витамин Е действует как ингибитор – «блокатор цепей» – перекисного окисления липидов, а аскорбиновая кислота предотвращает перекисное окисление липидов за счёт пероксильных радикалов. Кроме того, витамин С способствует усвоению фолиевой кислоты, восстанавливая ее до тетрагидрофолата, также выступающего в качестве антиоксиданта.

8) Весьма перспективным методом может являться селекция, направленная не только на повышение продуктивности в том или ином виде, но и нацеленная на повышение устойчивости к стрессовым факторам (примером может являться толерантность к высоким температурам).

Заключение.

Таким образом, исследования последних трёх-четырёх десятилетий указывают на то, что стресс является гораздо более сложным и многофакторным явлением, чем считалось ранее. Помимо существования достаточно большого числа разновидностей, стресс-факторы способны действовать в совокупности, и чем их больше, тем, соответственно, и большую нагрузку испытывает организм.

Также стоит отметить, что опытным путём был установлен факт того, что стресс оказывает влияние не только на нервную систему, но и, в сущности, на большинство жизненно важных систем, в числе которых иммунная, кровеносная и ЖКТ. Обеспечивая низкую активность иммунного ответа, стресс определяет повышенную заболеваемость организма, нарушения в поведении, а также повышенную летальность.

Именно в силу сложившейся картины исследования по нивелированию стресса являются достаточно актуальной темой, так как в данном случае стресс – это не только проблема ветеринарии, но и экономики аграрного сектора, так как стресс в отношении сельскохозяйственных животных выступает причиной потерь качества продукции и снижения рентабельности. Поэтому пути минимизации влияния стресс-факторов должны включать в себя весь комплекс мер по повышению функциональных резервов организма от адекватного обустройства местообитания до рационального использования адаптогенов и стресс-протекторов.

Список источников

1. Боголюбова Н.В., Некрасов Р.В., Зеленченкова А.А. Антиоксидантный статус и качество мяса у сельскохозяйственной птицы и животных при стрессе и его коррекция с помощью адаптогенов различной природы (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 4. С. 628-663. [Bogolyubova NV, Nekrasov RV, Zelenchenkova AA. Antioxidant status and quality of poultry and animal meat under stress and its correction with the use of various adaptogens (review). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2022;57(4):628-663. (In Russ.)]. doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.628rus doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.628eng

2. Винникова С.В. Изменение мембранного пищеварения в тонкой кишке при стрессе // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2014. № 3(49). С. 184-185. [Vinnikova SV.

Change of membrane digestion in the small intestine during stress. Journal of Ural Medical Academic Science. 2014;3(49):184-185. (*In Russ.*).

3. Влияние различных стресс-факторов на организм сельскохозяйственных животных (обзор) / Е.А. Ажмулдинов, М.А. Кизаев, М.Г. Титов, И.А. Бабичева // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 79-89. [Azhmulinov EA, Kizaev MA, Titov MG, Babicheva IA. Influence of various stress factors on the organism of farm animals (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(2):79-89. (*In Russ.*)].

4. Влияние технологического стресса на состояние клеточного иммунитета и цитокиновый профиль у поросят / А.Г. Шахов, Л.Ю. Сашнина, Ю.Ю. Владимирова, М.И. Адодина, К.В. Тараканова // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2020. № 3. С. 197-202. [Shakhov AG, Sashnina LYu, Vladimirova YuYu, Adodina MI, Tarakanova KV. The effect of a technological stress on the state of cellular immunity and cytokine profile in piglets. Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii. 2020;3:197-202. (*In Russ.*)]. doi: 10.17238/issn2072-6023.2020.3.197

5. Галочкин В.А., Галочкина В.П., Остренко К.С. Разработка теоретических основ и создание антистрессовых препаратов нового поколения для животноводства // Сельскохозяйственная биология. 2009. Т. 44, № 2. С. 43-54. [Galochkin VA, Galochkina VP, Ostrenko KS. Development of theoretical bases and creation of antistressful preparations of new generation for livestock farming. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2009;44(2):43-54. (*In Russ.*)].

6. Геворкян В.С., Геворкян И.С. Современные исследования воздействия различных стресс-факторов на крыс и мышей // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2017. Т. 15. № 1. С. 9. [Gevorkyan VS, Gevorkyan IS. Modern studies of different stressors effects on rats and mice. Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time. 2017;15(1):9. (*In Russ.*)].

7. Городецкая И.В., Гусакова Е.А. Вертикальная двигательная активность животных с измененным тиреоидным статусом в различные стадии стресс-реакции // Фундаментальные и прикладные проблемы стресса: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Витебск, 16-17 апреля 2013 г.). Витебск: Витебский гос. ун-т им. П.М. Машерова, 2013. С. 251-253. [Gorodeczkaya IV, Gusakova EA. Vertikalnaya dvigatel'naya aktivnost zhivotnyh s izmenennym tireoidnym statusom v razlichnye stadii stress-reakcii. (Conference proceedings) Fundamentalnye i prikladnye problem stressa: Materialy III Mezhdunar. nauch.-praktich. konfer. (g. Vitebsk, 16-17 April 2013 g.). Vitebsk: Vitebskij gosudarstvennyj universitet im. P.M. Masherova; 2013:251-253. (*In Russ.*)].

8. Ибишов Д.Ф., Поносов С.В. Влияние стресса у крупного рогатого скота на иммунитет // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2022. № 1(53). С. 10-12. [Ibishov JaFO, Ponomov SV. The effect of stress in cattle on immunity. Actual Questions of Veterinary Biology. 2022;1(53):10-12. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/2074-5036-2022-1-10-13

9. Ковальчикова М., Ковальчик К. Адаптации и стресс при содержании и разведении сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1978. 271с. [Kovalchikova M, Kovalchik K. Adaptacii i stress pri soderzhanii i razvedenii selskohozyajstvennyh zhivotnyh. Moscow: Kolos; 1978:271 p. (*In Russ.*)].

10. Корякина Л.П., Григорьева Н.Н., Слепцов Е.С. Физиологический статус и генетические аномалии завозных пород скота в экстремальных условиях Арктической зоны // Ветеринария и кормление. 2023. № 1. С. 39-41. [Koryakina LP, Grigorieva NN, Sleptsov ES. Physiological status and genetic abnormalities of imported cattle in extreme arctic zone conditions. Veterinaria i kormlenie. 2023;1:39-41. (*In Russ.*)]. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-1-9

11. Мифтахутдинов А.В. Экспериментальные подходы к диагностике стрессов в птицеводстве (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49. № 2. С. 20-30. [Miftakhutdinov AV. Experimental approaches to stress diagnostics in poultry (review). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2014;49(2):20-30. (*In Russ.*)].

12. Новое к механизму развития стресса и адаптационных реакций / А.С. Зенкин, А.И. Свин, Н.Ю. Калязина, Д.В. Волкин, Д.А. Палаткин // Материалы XXII науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного

го университета им. Н.П. Огарёва: в 3-х ч. [Электронный ресурс] / сост. А.В. Столяров; отв. за вып. П.В. Сенин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. С. 52-57. [Zenkin AS, Svitin AI, Kalyazina NYu, Volkin DV, Palatkin DA. Novoe k mehanizmu razvitiya stressa i adaptacionnyh reakcij (Conference proceedings) Materialy XXII nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh, aspirantov i studentov Nacional'nogo issledovatel'skogo Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.P. Ogarjova: v 3 ch. [Elektronnyj resurs] sost. A.V. Stolj-arov; отв. за вып. P. V. Senin. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta; 2019:52-57. (In Russ.)].

13. Роль стресс-факторов в промышленном животноводстве / Д.О. Шевченко, Ю.М. Гвоздева, Ю.А. Тузова, И.А. Лещенко, Л.А. Лещенко // Лучшая студенческая статья 2022: сб. ст. III Междунар. учеб.-исслед. конкурса (19 октября 2022 г.). Петрозаводск: МЦНП «Новая Наука», 2022. С. 146-150. [Shevchenko DO, Gvozdeva YuM, Tuzova JuA, Leshchenko IA, Leshchenko LA. The role of stressfactors in industrialanimalhus bandry. Luchshaya studencheskaya statya 2022: sb. st. III Mezhdunarodnogo uchebno-issledovatel'skogo konkursa (19 oktjabrja 2022 g.). Petrozavodsk: MCNP «Novaya Nauka»; 2022:146-150. (In Russ.)].

14. Чирихина В.А. Неспецифическая резистентность коров джерсейской породы в условиях Рязанской области // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XIX Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Пенза: МЦНС "Наука и Просвещение", 2021. Ч. 1. С. 185-189. [Chirikhina VA. Nonspecific resistance of jersey cowsin the Ryazan region. (Conference proceedings) Sovremennaya nauka: aktualnye voprosy, dostizheniya i innovacii: sb.st. XIX Mezhdunar.nauch.-prakt. konf. V 2 ch. Penza: MCNP «Nauka i Prosveshhenie»; 2021;1:185-189. (In Russ.)].

15. Abdelrahman RE, Khalaf AAA, Elhady MA, Ibrahim MA, Hassanen EI, Noshay PA. Quercetin ameliorates ochratoxin A-Induced immunotoxicity in broiler chickens by modulation of PI3K/AKT pathway. *Chemico-Biological Interactions*. 2022;351:109720. doi: 10.1016/j.cbi.2021.109720

16. Aggarwal A, Upadhyay R. Heat stress and animal productivity. India: Springer; 2013:188p. doi: 10.1007/978-81-322-0879-2

17. Aguilera G. Factors controlling steroid biosynthesis in the zona glomerulosa of the adrenal. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. 1993;45(1-3):147-151. doi: 10.1016/0960-0760(93)90134-I

18. Al-Waeli A, Zoidis E, Pappas A, Demiris N, Zervas G, Fegeros K. The role of organic selenium in cadmium toxicity: effects on broiler performance and health status. *Animal*. 2013;7(3):386-393. doi: 10.1017/S1751731112001590

19. Asres A, Amha N. Effect of stress on animal health: a review. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2014;4(27):116-121.

20. Atrian P, Shahryar HA. Heat stress in dairy cows (a review). *Research in Zoology*. 2012;2(5):31-37. doi: 10.5923/j.zoology.20120204.03

21. Bankir L, Bichet DG, Morgenthaler NG. Vasopressin: physiology, assessment and osmosensation. *Journal of Internal Medicine*. 2017;282(4):284-297. doi: 10.1111/joim.12645

22. Basirico L, Bernabucci U, Morera P, Lacetera N, Nardone A. Gene expression and protein secretion of apolipoprotein B100 (ApoB100) in transition dairy cows under hot or thermoneutral environments. *Italian Journal of Animal Science*. 2009;8(sup2):492-594. doi: 10.4081/ijas.2009.s2.592

23. Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*. 2010;4(7):1167-1183. doi: 10.1017/S175173111000090X

24. Bernabucci U, Ronchi B, Lacetera N, Nardone A. Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season. *Journal of Dairy Science*. 2002;85(9):2173-2179. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74296-3

25. Bhoj S, Dhattarwal P, Harini KR, Thakur R, Bhardwaj S, Tarafdar A, Pandey HO, Gaur GK, Singh M. Mechanization of livestock farms. In: *Engineering Applications in Livestock Production*. Academic Press;2024:207-242. doi: 10.1016/B978-0-323-98385-3.00007-4

26. Biran J, Tahor M, Wircer E, Levkowitz G. Role of developmental factors in hypothalamic function. *Frontiers in Neuroanatomy*. 2015;9:47. doi: 10.3389/fnana.2015.00047

27. Bogolyubova NV, Chabaev MG, Fomichev YP, Tsis EY, Semenova AA, Nekrasov RV. Ways to reduce adverse effects of stress in pigs using nutritional factors. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019;9(2):239-245.
28. Bouraoui R, Lahmar M, Majdoub A, Belyea R. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*. 2002;51(6):479-491. doi: 10.1051/animres:2002036
29. Broom DM, Johnson KG. Stress and welfare: history and usage of concepts. In: *Stress and Animal Welfare*. Animal Welfare. Springer, Cham;2019:71-97. doi: 10.1007/978-3-030-32153-6_4
30. Chand D, Lovejoy DA. Stress and reproduction: controversies and challenges. *General and Comparative Endocrinology*. 2011;171(3):253-257. doi: 10.1016/j.ygcen.2011.02.022
31. Chauhan SS, Celi P, Fahri FT, Leury BJ, Dunshea FR. Dietary antioxidants at supranutritional doses modulate skeletal muscle heat shock protein and inflammatory gene expression in sheep exposed to heat stress. *Journal of Animal Science*. 2014;92(11):4897-4908. doi: 10.2527/jas.2014-8047
32. Chauhan SS, Ponnampalam EN, Celi P, Hopkins DL, Leury BJ, Dunshea FR. High dietary vitamin E and selenium improves feed intake and weight gain of finisher lambs and maintains redox homeostasis under hot conditions. *Small Ruminant Research*. 2016;137:17-23. doi: 10.1016/j.smallrumres.2016.02.011
33. Chauhan SS, Rashamol VP, Bagath M, Sejian V, Dunshea FR. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *International Journal of Biometeorology*. 2021;65:1231-1244. doi: 10.1007/s00484-021-02083-3
34. Chrousos GP. The role of stress and the hypothalamic–pituitary–adrenal axis in the pathogenesis of the metabolic syndrome: neuro-endocrine and target tissue-related causes. *International Journal of Obesity*. 2000;24(S2):S50-S55.
35. de Waal FB, Andrews K. The question of animal emotions. *Science*. 2022;375(6587):1351-1352. doi: 10.1126/science.abo2378
36. Elenkov IJ, Chrousos GP. Stress system–organization, physiology and immunoregulation. *Neuroimmunomodulation*. 2007;13(5-6):257-267. doi: 10.1159/000104853
37. Fisher M. *Animal welfare science, husbandry and ethics: the evolving story of our relationship with farm animals*. Sheffield, UK:5m Books Ltd; 2018: 290p.
38. Funder JW. Minireview: aldosterone and mineralocorticoid receptors: past, present, and future. *Endocrinology*. 2010;151(11):5098-5102. doi: 10.1210/en.2010-0465
39. Gaafar HMA, Gendy ME, Bassiouni MI, Shamiah SM, Halawa AA, Hamd MA. Effect of heat stress on performance of dairy Friesian cow's milk production and composition. *Researcher*. 2011;3(5):85-93.
40. Goldstein DS, Kopin IJ. Evolution of concepts of stress. *Stress*. 2007;10(2):109-120. doi: 10.1080/10253890701288935
41. Hall MB. Heat stress alters ruminal fermentation and digesta characteristics and behaviour in lactating dairy cattle. In: Chilliard Y, Glasser F, Faulconnier Y, Bocquier F, Veissier I, Doreau M, editors. *Proceeding of 11th International Symposium on Ruminant Physiology*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publication; 2009:204-205. doi: 10.3920/9789086866830_091
42. Hameed MR, Khan MZ, Saleemi MK, Khan A, Akhtar M, Hassan Z-ul-, Hussain Z. Study of ochratoxin A (OTA)-induced oxidative stress markers in broiler chicks. *Toxin Reviews*. 2017;36(4):270-274. doi: 10.1080/15569543.2017.1303780
43. Hamzaoui S, Salama AAK, Caja G, Albanell E, Flores C, Such X. Milk production losses in early lactating dairy goats under heat stress. *The Journal of Dairy Science*. 2012;95(2):672-673.
44. Hartung J. Effects of transport on health of farm animals. *Veterinary Research Communications*. 2003;27(S1):525-527. doi: 10.1023/B:VERC.0000014212.81294.78
45. Hooda OK, Singh G. Effect of thermal stress on feed intake, plasma enzymes and blood biochemicals in buffalo heifers. *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2010;27(2):122-127.

46. Jackson M. Evaluating the role of Hans Selye in the modern history of stress. In: Cantor D, Ramsden E, editors. *Stress, shock, and adaptation in the twentieth century*. NY: University of Rochester Press; 2014:1.
47. Joksimović-Todorović M, Davidović V, Hristov S, Stanković B. Effect of heat stress on milk production in dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2011;27(3):1017-1023. doi: 10.2298/BAH1103017J
48. Joy A, Dunshea FR, Leury BJ, Clarke IJ, DiGiacomo K, Chauhan SS. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: A review. *Animals*. 2020;10(5):867. doi: 10.3390/ani10050867
49. Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock production science*. 2002;77(1):59-91. doi: 10.1016/S0301-6226(01)00330-X
50. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Animal Bioscience*. 2021;34(3):345-353. doi: 10.5713/2020.0842
51. Knowles TG, Brown SN, Edwards JE, Phillips AJ, Warriss PD. Effect on young calves of a one-hour feeding stop during a 19-hour road journey. *Veterinary Record*. 1999;144(25):687-692. doi: 10.1136/vr.144.25.687
52. Koch RE, Hill GE. An assessment of techniques to manipulate oxidative stress in animals. *Functional Ecology*. 2016;31(1):9-21. doi: 10.1111/1365-2435.12664
53. Kumar B, Manuja A, Aich P. Stress and its impact on farm animals. *Frontiers in Bioscience-Elite*. 2012;4(5):1759-1767. doi: 10.2741/e496
54. Kyrou I, Tsigos C. Stress mechanisms and metabolic complications. *Hormone and Metabolic Research*. 2007;39(06):430-438. doi: 10.1055/s-2007-981462
55. Lacetera N. Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*. 2019;9(1):26-31. doi: 10.1093/af/vfy030
56. Lamy E, Van Harten S, Sales-Baptista E, Guerra MMM, De Almeida AM. Factors influencing livestock productivity. In: Sejian V, Naqvi S, Ezeji T, Lakritz J, Lal R, editors. *Environmental stress and amelioration in livestock production*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2012:19-51. doi: 10.1007/978-3-642-29205-7_2
57. Li J-L, Jiang C-Y, Li S, Xu S-W. Cadmium induced hepatotoxicity in chickens (*Gallus domesticus*) and ameliorative effect by selenium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2013;96:103-109. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.07.007
58. Linn J, Raeth-Knight M, Larson R. Managing heat stressed lactating dairy cows. *Hubbard Feeds Inc*. 2004;26:9-10.
59. Liu F, Cottrell JJ, Furness JB, Rivera LR, Kelly FW, Wijesiriwardana U, Pustovit RV, Fothergill LJ, Bravo DM, Celi P, Leury BJ, Gabler NK, Dunshea FR. Selenium and vitamin E together improve intestinal epithelial barrier function and alleviate oxidative stress in heat-stressed pigs. *Experimental Physiology*. 2016;101(7):801-810. doi: 10.1113/EP085746
60. Lynch EM, Earley B, McGee M, Doyle S. Characterisation of physiological and immunological responses in beef cows to abrupt weaning and subsequent housing. *BMC Veterinary Research*. 2010;6:37. doi: 10.1186/1746-6148-6-37
61. Majzoub JA. Corticotropin-releasing hormone physiology. *European Journal of Endocrinology*. 2006;155(S1):S71-S76. doi: 10.1530/eje.1.02247
62. Mazur-Kusnierek M, Antoszkiewicz Z, Lipinski K, Kaliniewicz J, Kotlarczyk S, Zukowski P. The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens exposed to high temperature. *Archives of Animal Nutrition*. 2019;73(2):111-126. doi: 10.1080/1745039X.2019.1572342
63. McDowell LR. *Vitamins in animal nutrition: comparative aspects to human nutrition*. Academic Press, Inc.; 1989:486 p.

64. McLamb BL, Gibson AJ, Overman EL, Stahl C, Moeser AJ. Early weaning stress in pigs impairs innate mucosal immune responses to enterotoxigenic *E. coli* challenge and exacerbates intestinal injury and clinical disease. *PLoS One*. 2013; 8(4):e59838. doi: 10.1371/journal.pone.0059835
65. Medland JE, Pohl CS, Edwards LL, Frandsen S, Bagley K, Li Y, Moeser AJ. Early life adversity in piglets induces long-term upregulation of the enteric cholinergic nervous system and heightened, sex-specific secretomotor neuron responses. *Neurogastroenterology & Motility*. 2016;28(9):1317-1329. doi: 10.1111/nmo.12828
66. Mignon-Grasteau S, Boissy A, Bouix J, Faure JM, Fisher AD, Hinch GN., Jensen P, Neindre PL, Mormède P, Prunet P, Vandeputte M, Beaumont C. Genetics of adaptation and domestication in livestock. *Livestock Production Science*. 2005;93(1):3-14. doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.11.001
67. Minka NS, Ayo JO, Sackey AKB, Adelaiye AB. Assessment and scoring of stresses imposed on goats during handling, loading, road transportation and unloading, and the effect of pretreatment with ascorbic acid. *Livestock Science*. 2009;125(2-3):275-282. doi: 10.1016/j.livsci.2009.05.006
68. Moeser AJ, Pohl CS, Rajput M. Weaning stress and gastrointestinal barrier development: Implications for lifelong gut health in pigs. *Animal Nutrition*. 2017;3(4):313-321. doi: 10.1016/j.aninu.2017.06.003
69. Morley JE, Elson MK, Levine AS, Shafer RB. The effects of stress on central nervous system concentrations of the opioid peptide, dynorphin. *Peptides*. 1982;3(6):901-906. doi: 10.1016/0196-9781(82)90058-4
70. Mujahid A, Yoshiki Y, Akiba Y, Toyomizu M. Superoxide radical production in chicken skeletal muscle induced by acute heat stress. *Poultry Science*. 2005;84(2):307-314. doi: 10.1093/ps/84.2.307
71. Munck A, Guyre PM, Holbrook NJ. Physiological functions of glucocorticoids in stress and their relation to pharmacological actions. *Endocrine Reviews*. 1984;5(1):25-44. doi: 10.1210/edrv-5-1-25
72. Nader N, Chrousos GP, Kino T. Interactions of the circadian CLOCK system and the HPA axis. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2010;21(5):277-286. doi: 10.1016/j.tem.2009.12.011
73. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Bernabucci U. Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications*. 2006;30:75-81. doi: 10.1007/s11259-006-0016-x
74. Nonaka I, Takusari N, Tajima K, Suzuki T, Higuchi K, Kurihara M. Effects of high environmental temperatures on physiological and nutritional status of prepubertal Holstein heifers. *Livestock Science*. 2008;113(1):14-23. doi: 10.1016/j.livsci.2007.02.010
75. Nostrand SD, Galton DM, Erb HN, Bauman DE. Effects of daily exogenous oxytocin on lactation milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*. 1991;74(7):2119-2127. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78384-7
76. Ouali A, Herrera-Mendez CH, Coulis G, Becila S, Boudjellal A, Aubry L, Sentandreu MA. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*. 2006;74(1):44-58. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.05.010
77. Pruett SB. Stress and the immune system. *Pathophysiology*. 2003;9(3):133-153. doi: 10.1016/S0928-4680(03)00003-8
78. Reed RG, Raison CL. Stress and the immune system. In: Esser C, editor. *Environmental influences on the immune system*. Vienna: Springer;2016:97-126. doi: 10.1007/978-3-7091-1890-0_5
79. Renaudeau D, Collin A, Yahav S, De Baulieu V, Gourdiere JL, Collier RJ. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 2012;6(5):707-728. doi: 10.1017/S1751731111002448
80. Rhoads ML, Rhoads RP, VanBaale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Baumgard LH. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(5):1986-1997.
81. Rhoads RP, Baumgard LH, Suagee JK, Sanders SR. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Advances in Nutrition*. 2013;4(3):267-276. doi: 10.3945/an.112.003376

82. Ritter MJ, Ellis M, Bowman R, Brinkmann J, Curtis SE, DeDecker JM, Mendoza O, Murphy CM, Orellana DG, Peterson BA, Rojo A, Schlipf JM, Wolter BF. Effects of season and distance moved during loading on transport losses of market-weight pigs in two commercially available types of trailers. *Journal of Animal Science*. 2008;86(11):3137-3145. doi: 10.2527/jas.2008-0873
83. Rust RL, Thomson DU, Loneragan GH, Apley MD, Swanson JC. Effect of different castration methods on growth performance and behavior responses of postpubertal beef bulls. *The Bovine Practitioner*. 2007;41(2):111-119. doi: 10.21423/bovine-vol41no2p111-119
84. Shaikh ZA, Vu TT, Zaman K. Oxidative stress as a mechanism of chronic cadmium-induced hepatotoxicity and renal toxicity and protection by antioxidants. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 1999;154(3):256-263. doi: 10.1006/taap.1998.8586
85. Shakeri M, Cottrell JJ, Wilkinson S, Le HH, Suleria HA, Warner RD, Dunshea FR. Growth performance and characterization of meat quality of broiler chickens supplemented with betaine and antioxidants under cyclic heat stress. *Antioxidants*. 2019;8(9):336. doi: 10.3390/antiox8090336
86. Shakeri M, Cottrell JJ, Wilkinson S, Zhao W, Le HH, McQuade R, Furness JB, Dunshea FR. Dietary betaine improves intestinal barrier function and ameliorates the impact of heat stress in multiple vital organs as measured by Evans blue dye in broiler chickens. *Animals*. 2020;10(1):38. doi: 10.3390/ani10010038
87. Smith F, Clark JE, Overman BL, Tozel CC, Huang JH, Rivier JE, Blisklager AT, Moeser, AJ. Early weaning stress impairs development of mucosal barrier function in the porcine intestine. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*. 2010;298(3):G352-G363. doi: 10.1152/ajpgi.00081.2009
88. Sneddon LU, Wolfenden DC, Thomson JS. Stress management and welfare. *Fish Physiology*. 2016;35:463-539. doi: 10.1016/B978-0-12-802728-8.00012-6
89. Sophia I, Sejian V, Bagath M, Bhatta R. Quantitative expression of hepatic toll-like receptors 1-10 mRNA in Osmanabadi goats during different climatic stresses. *Small Ruminant Research*. 2016;141:11-16. doi: 10.1016/j.smallrumres.2016.06.005
90. Sordillo LM, Aitken SL. Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2009;128(1-3):104-109. doi: 10.1016/j.vetimm.2008.10.305
91. Soriani N, Panella G, Calamari L. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(8):5082-5094. doi: 10.3168/jds.2013-6620
92. Sorrenti V, Di Giacomo C, Acquaviva R, Barbagallo I, Bognanno M, Galvano F. Toxicity of ochratoxin A and its modulation by antioxidants: A review. *Toxins*. 2013;5(10):1742-1766. doi: 10.3390/toxins5101742
93. Spiers DE, Spain JN, Sampson JD, Rhoads RP. Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. *Journal of Thermal Biology*. 2004;29(7-8):759-764. doi: 10.1016/j.jtherbio.2004.08.051
94. St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(S):E52-E77. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5
95. Stull CL. Responses of horses to trailer design, duration, and floor area during commercial transportation to slaughter. *Journal of Animal Science*. 1999;77(11):2925-2933. doi: 10.2527/1999.77112925x
96. Stull CL. Stress and dairy calves. Davis: University of California, 1997: 5 p.
97. Surai PF, Fisinin VI. The modern anti-stress technologies in poultry: from antioxidants to vitagenes. *Agricultural Biology*. 2012;4:3-13. doi: 10.15389/agrobiol.2012.4.3eng
98. Tarrant P. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs: A review. *Irish Journal of Food Science and Technology*. 1989;13(2):79-107.
99. Tong C, Li P, Yu LH, Li L, Li K, Chen Y, Yang S-H, Long M. Selenium-rich yeast attenuates ochratoxin A-induced small intestinal injury in broiler chickens by activating

the Nrf2 pathway and inhibiting NF-KB activation. Journal of Functional Foods. 2020;66:103784. doi: 10.1016/j.jff.2020.103784

100. Tsigos C, Kyrou I, Kassi E, Chrousos GP. Stress: endocrine physiology and pathophysiology. In: Feingold KR, Anawalt B, Blackman MR, et al., editors. Endotext [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2020.

101. Upadhyay RC, Ashutosh RV, Singh SV, Aggarwal P. Impact of climate change on reproductive functions of cattle and buffaloes. In: Aggarwal PK, editor. Global climate change and Indian Agriculture. New Delhi: ICAR; 2009:107-110.

102. Vandana GD, Bagath M, Sejian V, Krishnan G, Beena V, Bhatta R. Summer season induced heat stress impact on the expression patterns of different toll-like receptor genes in Malabari goats. Biological Rhythm Research. 2019;50(3):466-482. doi: 10.1080/09291016.2018.1464638

103. West JW. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. Journal of Dairy Science. 2003;86(6):2131-2144. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X

104. West JW. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. Journal of Animal Science. 1999;77(S2):21-35. doi: 10.2527/1997.77suppl_221x

105. Wheelock JB, Rhoads RP, VanBaale MJ, Sanders SR, Baumgard LH. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. Journal of Dairy Science. 2010;93(2):644-655. doi: 10.3168/jds.2009-2295

106. Wolfenson D. Impact of heat stress on production and fertility of dairy cattle. Proceedings of the 18th Annual Tri-State Dairy Nutrition Conference. IN, USA: Fort Wayne; 2009:55-59.

107. Xing T, Zhao X, Wang P, Chen H, Xu X, Zhou G. Different oxidative status and expression of calcium channel components in stress-induced dysfunctional chicken muscle. Journal of Animal Science. 2017;95(4):1565-1573. doi: 10.2527/jas.2016.0868

108. Xu F, Liu S, Li S. Effects of selenium and cadmium on changes in the gene expression of immune cytokines in chicken splenic lymphocytes. Biological Trace Element Research. 2015;165:214-221. doi: 10.1007/s12011-015-0254-2

109. Yang HP, Wang L, Han L, Wang SC. Nonsocial functions of hypothalamic oxytocin. International Scholarly Research Notices. 2013;2013(1): 179272. doi: 10.1155/2013/179272

110. Yumatov EA. Emotional stress: the dialectics of nature. Neuroscience and Medicine. 2020;11(01):20-28. doi: 10.4236/nm.2020.111003

111. Zhao W, Liu W, Chen X, Zhu Y, Zhang Z, Yao H, Xu S. Four endoplasmic reticulum resident selenoproteins may be related to the protection of selenium against cadmium toxicity in chicken lymphocytes. Biological Trace Element Research. 2014;161:328-333. doi: 10.1007/s12011-014-0135-0

112. Zulkifli I. Review of human-animal interactions and their impact on animal productivity and welfare. Journal of Animal Science and Biotechnology. 2013;4:25. doi: 10.1186/2049-1891-4-25

References

1. Bogolyubova NV, Nekrasov RV, Zelenchenkova AA. Antioxidant status and quality of poultry and animal meat under stress and its correction with the use of various adaptogens (review). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2022;57(4):628-663. doi: 10.15389/agrobology.2022.4.628eng

2. Vinnikova SV. Change of membrane digestion in the small intestine during stress. Journal of Ural Medical Academic Science. 2014;3(49):184-185.

3. Azhmuldinov EA, Kizaev MA, Titov MG, Babicheva IA. Influence of various stress factors on the organism of farm animals (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(2):79-89.

4. Shakhov AG, Sashnina LYu, Vladimirova YuYu, Adodina MI, Tarakanova KV. The effect of a technological stress on the state of cellular immunity and cytokine profile in piglets. Legal Regulation in Veterinary Medicine. 2020;3:197-202. doi: 10.17238/issn2072-6023.2020.3.197

5. Galochkin VA, Galochkina VP, Ostrenko KS. Development of theoretical bases and creation of antistressful preparations of new generation for live-stock farming. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2009;44(2):43-54.
6. Gevorkyan VS, Gevorkyan IS. Modern studies of different stressors effects on rats and mice. *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time*. 2017;15(1):9.
7. Gorodeczkaya IV, Gusakova EA. Vertical motor activity of animals with altered thyroid status in different stages of stress-response. (Conference proceedings) *Fundamental and applied problems of stress: Proceedings of III Intern. Scientific and practical conference, (Vitebsk, April 16-17, 2013)*. Vitebsk: Vitebsk State University named after P.M. Masherov; 2013:251-253.
8. Ibishov JaFO, Ponosov SV. The effect of stress in cattle on immunity. *Actual Questions of Veterinary Biology*. 2022;1(53):10-12. doi: 10.24412/2074-5036-2022-1-10-13
9. Kovalchikova M, Kovalchik K. *Adaptation and stress while farm animals keeping and breeding*. Moscow: Kolos; 1978: 271p.
10. Koryakina LP, Grigorieva NN, Sleptsov ES. Physiological status and genetic abnormalities of imported cattle in extreme arctic zone conditions. *Veterinary Medicine and Feeding*. 2023;1:39-41. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-1-9
11. Miftakhutdinov AV. Experimental approaches to stress diagnostics in poultry (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2014;49(2):20-30.
12. Zenkin AS, Svitin AI, Kalyazina NYu, Volkin DV, Palatkin DA. New to the mechanism of stress development and adaptation reactions (Conference proceedings) *Proceedings of the XXII Scientific and Practical Conf. of Young Scientists, Postgraduates and Students of the National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryov: in 3 vol. [Electronic resource] co-edited by A.V. Stolyarov. A.V. Stolyarov; responsible for the ed. by P.V. Senin. Saransk: Publishing House of Mordov. University; 2019:52-57.*
13. Shevchenko DO, Gvozdeva YuM, Tuzova JuA, Leshchenko IA, Leshchenko LA. Thero-leof stress factors in industrial animal husbandry. *Collection of articles of the III International Research Contest (19 October 2022)*. Petrozavodsk: MCNP «Novaya Nauka»; 2022:146-150.
14. Chirikhina VA. Non specific resistance of jersey cows in the Ryazan region (Conference proceedings) *Modern science: topical issues, achievements and innovations: collection of articles of XIX Intern. scientific-practical conf. In 2 volumes. Vol. 1. Penza: MCNP «Nauka i Prosveshhenie»; 2021:185-189.*
15. Abdelrahman RE, Khalaf AAA, Elhady MA, Ibrahim MA, Hassanen EI, Noshay PA. Quercetin ameliorates ochratoxin A-Induced immunotoxicity in broiler chickens by modulation of PI3K/AKT pathway. *Chemico-Biological Interactions*. 2022;351:109720. doi: 10.1016/j.cbi.2021.109720
16. Aggarwal A, Upadhyay R. *Heat stress and animal productivity*. India: Springer; 2013:188p. doi: 10.1007/978-81-322-0879-2
17. Aguilera G. Factors controlling steroid biosynthesis in the zona glomerulosa of the adrenal. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. 1993;45(1-3):147-151. doi: 10.1016/0960-0760(93)90134-I
18. Al-Waeli A, Zoidis E, Pappas A, Demiris N, Zervas G, Fegeros K. The role of organic selenium in cadmium toxicity: effects on broiler performance and health status. *Animal*. 2013;7(3):386-393. doi: 10.1017/S1751731112001590
19. Asres A, Amha N. Effect of stress on animal health: a review. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2014;4(27):116-121.
20. Atrian P, Shahryar HA. Heat stress in dairy cows (a review). *Research in Zoology*. 2012;2(5):31-37. doi: 10.5923/j.zoology.20120204.03
21. Bankir L, Bichet DG, Morgenthaler NG. Vasopressin: physiology, assessment and osmosensation. *Journal of Internal Medicine*. 2017;282(4):284-297. doi: 10.1111/joim.12645

22. Basirico L, Bernabucci U, Morera P, Lacetera N, Nardone A. Gene expression and protein secretion of apolipoprotein B100 (ApoB100) in transition dairy cows under hot or thermoneutral environments. *Italian Journal of Animal Science*. 2009;8(sup2):492-594. doi: 10.4081/ijas.2009.s2.592
23. Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*. 2010;4(7):1167-1183. doi: 10.1017/S175173111000090X
24. Bernabucci U, Ronchi B, Lacetera N, Nardone A. Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season. *Journal of Dairy Science*. 2002;85(9):2173-2179. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74296-3
25. Bhoj S, Dhatarwal P, Harini KR, Thakur R, Bhardwaj S, Tarafdar A, Pandey HO, Gaur GK, Singh M. Mechanization of livestock farms. In: *Engineering Applications in Livestock Production*. Academic Press;2024:207-242. doi: 10.1016/B978-0-323-98385-3.00007-4
26. Biran J, Tahor M, Wircer E, Levkowitz G. Role of developmental factors in hypothalamic function. *Frontiers in Neuroanatomy*. 2015;9:47. doi: 10.3389/fnana.2015.00047
27. Bogolyubova NV, Chabaev MG, Fomichev YP, Tsis EY, Semenova AA, Nekrasov RV. Ways to reduce adverse effects of stress in pigs using nutritional factors. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019;9(2):239-245.
28. Bouraoui R, Lahmar M, Majdoub A, Belyea R. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*. 2002;51(6):479-491. doi: 10.1051/animres:2002036
29. Broom DM, Johnson KG. Stress and welfare: history and usage of concepts. In: *Stress and Animal Welfare*. Animal Welfare. Springer, Cham;2019:71-97. doi: 10.1007/978-3-030-32153-6_4
30. Chand D, Lovejoy DA. Stress and reproduction: controversies and challenges. *General and Comparative Endocrinology*. 2011;171(3):253-257. doi: 10.1016/j.ygcen.2011.02.022
31. Chauhan SS, Celi P, Fahri FT, Leury BJ, Dunshea FR. Dietary antioxidants at supranutritional doses modulate skeletal muscle heat shock protein and inflammatory gene expression in sheep exposed to heat stress. *Journal of Animal Science*. 2014;92(11):4897-4908. doi: 10.2527/jas.2014-8047
32. Chauhan SS, Ponnampalam EN, Celi P, Hopkins DL, Leury BJ, Dunshea FR. High dietary vitamin E and selenium improves feed intake and weight gain of finisher lambs and maintains redox homeostasis under hot conditions. *Small Ruminant Research*. 2016;137:17-23. doi: 10.1016/j.smallrumres.2016.02.011
33. Chauhan SS, Rashamol VP, Bagath M, Sejian V, Dunshea FR. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *International Journal of Biometeorology*. 2021;65:1231-1244. doi: 10.1007/s00484-021-02083-3
34. Chrousos GP. The role of stress and the hypothalamic–pituitary–adrenal axis in the pathogenesis of the metabolic syndrome: neuro-endocrine and target tissue-related causes. *International Journal of Obesity*. 2000;24(S2):S50-S55.
35. de Waal FB, Andrews K. The question of animal emotions. *Science*. 2022;375(6587):1351-1352. doi: 10.1126/science.abo2378
36. Elenkov IJ, Chrousos GP. Stress system–organization, physiology and immunoregulation. *Neuroimmunomodulation*. 2007;13(5-6):257-267. doi: 10.1159/000104853
37. Fisher M. *Animal welfare science, husbandry and ethics: the evolving story of our relationship with farm animals*. Sheffield, UK:5m Books Ltd; 2018: 290p.
38. Funder JW. Minireview: aldosterone and mineralocorticoid receptors: past, present, and future. *Endocrinology*. 2010;151(11):5098-5102. doi: 10.1210/en.2010-0465
39. Gaafar HMA, Gendy ME, Bassiouni MI, Shamiah SM, Halawa AA, Hamd MA. Effect of heat stress on performance of dairy Friesian cow's milk production and composition. *Researcher*. 2011;3(5):85-93.
40. Goldstein DS, Kopin IJ. Evolution of concepts of stress. *Stress*. 2007;10(2):109-120. doi: 10.1080/10253890701288935

41. Hall MB. Heat stress alters ruminal fermentation and digesta characteristics and behaviour in lactating dairy cattle. In: Chilliard Y, Glasser F, Faulconnier Y, Bocquier F, Veissier I, Doreau M, editors. *Proceeding of 11th International Symposium on Ruminant Physiology*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publication; 2009:204-205. doi: 10.3920/9789086866830_091
42. Hameed MR, Khan MZ, Saleemi MK, Khan A, Akhtar M, Hassan Z-ul-, Hussain Z. Study of ochratoxin A (OTA)-induced oxidative stress markers in broiler chicks. *Toxin Reviews*. 2017;36(4):270-274. doi: 10.1080/15569543.2017.1303780
43. Hamzaoui S, Salama AAK, Caja G, Albanell E, Flores C, Such X. Milk production losses in early lactating dairy goats under heat stress. *The Journal of Dairy Science*. 2012;95(2):672-673.
44. Hartung J. Effects of transport on health of farm animals. *Veterinary Research Communications*. 2003;27(S1):525-527. doi: 10.1023/B:VERC.0000014212.81294.78
45. Hooda OK, Singh G. Effect of thermal stress on feed intake, plasma enzymes and blood biochemicals in buffalo heifers. *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2010;27(2):122-127.
46. Jackson M. Evaluating the role of Hans Selye in the modern history of stress. In: Cantor D, Ramsden E, editors. *Stress, shock, and adaptation in the twentieth century*. NY: University of Rochester Press; 2014:1.
47. Joksimović-Todorović M, Davidović V, Hristov S, Stanković B. Effect of heat stress on milk production in dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2011;27(3):1017-1023. doi: 10.2298/BAH1103017J
48. Joy A, Dunshea FR, Leury BJ, Clarke IJ, DiGiacomo K, Chauhan SS. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: A review. *Animals*. 2020;10(5):867. doi: 10.3390/ani10050867
49. Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock production science*. 2002;77(1):59-91. doi: 10.1016/S0301-6226(01)00330-X
50. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Animal Bioscience*. 2021;34(3):345-353. doi: 10.5713/2Feb.20.0842
51. Knowles TG, Brown SN, Edwards JE, Phillips AJ, Warriss PD. Effect on young calves of a one-hour feeding stop during a 19-hour road journey. *Veterinary Record*. 1999;144(25):687-692. doi: 10.1136/vr.144.25.687
52. Koch RE, Hill GE. An assessment of techniques to manipulate oxidative stress in animals. *Functional Ecology*. 2016;31(1):9-21. doi: 10.1111/1365-2435.12664
53. Kumar B, Manuja A, Aich P. Stress and its impact on farm animals. *Frontiers in Bioscience-Elite*. 2012;4(5):1759-1767. doi: 10.2741/e496
54. Kyrou I, Tsigos C. Stress mechanisms and metabolic complications. *Hormone and Metabolic Research*. 2007;39(06):430-438. doi: 10.1055/s-2007-981462
55. Lacetera N. Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*. 2019;9(1):26-31. doi: 10.1093/af/vfy030
56. Lamy E, Van Harten S, Sales-Baptista E, Guerra MMM, De Almeida AM. Factors influencing livestock productivity. In: Sejian V, Naqvi S, Ezeji T, Lakritz J, Lal R, editors. *Environmental stress and amelioration in livestock production*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2012:19-51. doi: 10.1007/978-3-642-29205-7_2
57. Li J-L, Jiang C-Y, Li S, Xu S-W. Cadmium induced hepatotoxicity in chickens (*Gallus domesticus*) and ameliorative effect by selenium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2013;96:103-109. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.07.007
58. Linn J, Raeth-Knight M, Larson R. Managing heat stressed lactating dairy cows. *Hubbard Feeds Inc*. 2004;26:9-10.
59. Liu F, Cottrell JJ, Furness JB, Rivera LR, Kelly FW, Wijesiriwardana U, Pustovit RV, Fothergill LJ, Bravo DM, Celi P, Leury BJ, Gabler NK, Dunshea FR. Selenium and vitamin E together improve intestinal epithelial barrier function and alleviate oxidative stress in heat-stressed pigs. *Experimental Physiology*. 2016;101(7):801-810. doi: 10.1113/EP085746

60. Lynch EM, Earley B, McGee M, Doyle S. Characterisation of physiological and immunological responses in beef cows to abrupt weaning and subsequent housing. *BMC Veterinary Research*. 2010;6:37. doi: 10.1186/1746-6148-6-37
61. Majzoub JA. Corticotropin-releasing hormone physiology. *European Journal of Endocrinology*. 2006;155(S1):S71-S76. doi: 10.1530/eje.1.02247
62. Mazur-Kusnerek M, Antoszkiewicz Z, Lipinski K, Kaliniewicz J, Kotlarczyk S, Zukowski P. The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens exposed to high temperature. *Archives of Animal Nutrition*. 2019;73(2):111-126. doi: 10.1080/1745039X.2019.1572342
63. McDowell LR. Vitamins in animal nutrition: comparative aspects to human nutrition. Academic Press, Inc.;1989:486 p.
64. McLamb BL, Gibson AJ, Overman EL, Stahl C, Moeser AJ. Early weaning stress in pigs impairs innate mucosal immune responses to enterotoxigenic *E. coli* challenge and exacerbates intestinal injury and clinical disease. *PLoS One*. 2013; 8(4):e59838. doi: 10.1371/journal.pone.0059835
65. Medland JE, Pohl CS, Edwards LL, Frandsen S, Bagley K, Li Y, Moeser AJ. Early life adversity in piglets induces long-term upregulation of the enteric cholinergic nervous system and heightened, sex-specific secretomotor neuron responses. *Neurogastroenterology & Motility*. 2016;28(9):1317-1329. doi: 10.1111/nmo.12828
66. Mignon-Grasteau S, Boissy A, Bouix J, Faure JM, Fisher AD, Hinch GN, Jensen P, Neindre PL, Mormède P, Prunet P, Vandeputte M, Beaumont C. Genetics of adaptation and domestication in livestock. *Livestock Production Science*. 2005;93(1):3-14. doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.11.001
67. Minka NS, Ayo JO, Sackey AKB, Adelaiye AB. Assessment and scoring of stresses imposed on goats during handling, loading, road transportation and unloading, and the effect of pretreatment with ascorbic acid. *Livestock Science*. 2009;125(2-3):275-282. doi: 10.1016/j.livsci.2009.05.006
68. Moeser AJ, Pohl CS, Rajput M. Weaning stress and gastrointestinal barrier development: Implications for lifelong gut health in pigs. *Animal Nutrition*. 2017;3(4):313-321. doi: 10.1016/j.aninu.2017.06.003
69. Morley JE, Elson MK, Levine AS, Shafer RB. The effects of stress on central nervous system concentrations of the opioid peptide, dynorphin. *Peptides*. 1982;3(6):901-906. doi: 10.1016/0196-9781(82)90058-4
70. Mujahid A, Yoshiki Y, Akiba Y, Toyomizu M. Superoxide radical production in chicken skeletal muscle induced by acute heat stress. *Poultry Science*. 2005;84(2):307-314. doi: 10.1093/ps/84.2.307
71. Munck A, Guyre PM, Holbrook NJ. Physiological functions of glucocorticoids in stress and their relation to pharmacological actions. *Endocrine Reviews*. 1984;5(1):25-44. doi: 10.1210/edrv-5-1-25
72. Nader N, Chrousos GP, Kino T. Interactions of the circadian CLOCK system and the HPA axis. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2010;21(5):277-286. doi: 10.1016/j.tem.2009.12.011
73. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Bernabucci U. Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications*. 2006;30:75-81. doi: 10.1007/s11259-006-0016-x
74. Nonaka I, Takusari N, Tajima K, Suzuki T, Higuchi K, Kurihara M. Effects of high environmental temperatures on physiological and nutritional status of prepubertal Holstein heifers. *Livestock Science*. 2008;113(1):14-23. doi: 10.1016/j.livsci.2007.02.010
75. Nostrand SD, Galton DM, Erb HN, Bauman DE. Effects of daily exogenous oxytocin on lactation milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*. 1991;74(7):2119-2127. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78384-7
76. Ouali A, Herrera-Mendez CH, Coulis G, Becila S, Boudjellal A, Aubry L, Sentandreu MA. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*. 2006;74(1):44-58. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.05.010
77. Pruett SB. Stress and the immune system. *Pathophysiology*. 2003;9(3):133-153. doi: 10.1016/S0928-4680(03)00003-8

78. Reed RG, Raison CL. Stress and the immune system. In: Esser C, editor. *Environmental influences on the immune system*. Vienna: Springer;2016:97-126. doi: 10.1007/978-3-7091-1890-0_5
79. Renaudeau D, Collin A, Yahav S, De Basilio V, Gourdine JL, Collier RJ. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 2012;6(5):707-728. doi: 10.1017/S1751731111002448
80. Rhoads ML, Rhoads RP, VanBaale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Baumgard LH. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(5):1986-1997.
81. Rhoads RP, Baumgard LH, Suagee JK, Sanders SR. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Advances in Nutrition*. 2013;4(3):267-276. doi: 10.3945/an.112.003376
82. Ritter MJ, Ellis M, Bowman R, Brinkmann J, Curtis SE, DeDecker JM, Mendoza O, Murphy CM, Orellana DG, Peterson BA, Rojo A, Schlipf JM, Wolter BF. Effects of season and distance moved during loading on transport losses of market-weight pigs in two commercially available types of trailers. *Journal of Animal Science*. 2008;86(11):3137-3145. doi: 10.2527/jas.2008-0873
83. Rust RL, Thomson DU, Loneragan GH, Apley MD, Swanson JC. Effect of different castration methods on growth performance and behavior responses of postpubertal beef bulls. *The Bovine Practitioner*. 2007;41(2):111-119. doi: 10.21423/bovine-vol41no2p111-119
84. Shaikh ZA, Vu TT, Zaman K. Oxidative stress as a mechanism of chronic cadmium-induced hepatotoxicity and renal toxicity and protection by antioxidants. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 1999;154(3):256-263. doi: 10.1006/taap.1998.8586
85. Shakeri M, Cottrell JJ, Wilkinson S, Le HH, Suleria HA, Warner RD, Dunshea FR. Growth performance and characterization of meat quality of broiler chickens supplemented with betaine and antioxidants under cyclic heat stress. *Antioxidants*. 2019;8(9):336. doi: 10.3390/antiox8090336
86. Shakeri M, Cottrell JJ, Wilkinson S, Zhao W, Le HH, McQuade R, Furness JB, Dunshea FR. Dietary betaine improves intestinal barrier function and ameliorates the impact of heat stress in multiple vital organs as measured by Evans blue dye in broiler chickens. *Animals*. 2020;10(1):38. doi: 10.3390/ani10010038
87. Smith F, Clark JE, Overman BL, Tozel CC, Huang JH, Rivier JE, Blisklager AT, Moeser, AJ. Early weaning stress impairs development of mucosal barrier function in the porcine intestine. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*. 2010;298(3):G352-G363. doi: 10.1152/ajpgi.00081.2009
88. Sneddon LU, Wolfenden DC, Thomson JS. Stress management and welfare. *Fish Physiology*. 2016;35:463-539. doi: 10.1016/B978-0-12-802728-8.00012-6
89. Sophia I, Sejian V, Bagath M, Bhatta R. Quantitative expression of hepatic toll-like receptors 1-10 mRNA in Osmanabadi goats during different climatic stresses. *Small Ruminant Research*. 2016;141:11-16. doi: 10.1016/j.smallrumres.2016.06.005
90. Sordillo LM, Aitken SL. Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2009;128(1-3):104-109. doi: 10.1016/j.vetimm.2008.10.305
91. Soriani N, Panella G, Calamari L. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(8):5082-5094. doi: 10.3168/jds.2013-6620
92. Sorrenti V, Di Giacomo C, Acquaviva R, Barbagallo I, Bognanno M, Galvano F. Toxicity of ochratoxin A and its modulation by antioxidants: A review. *Toxins*. 2013;5(10):1742-1766. doi: 10.3390/toxins5101742
93. Spiers DE, Spain JN, Sampson JD, Rhoads RP. Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. *Journal of Thermal Biology*. 2004;29(7-8):759-764. doi: 10.1016/j.jtherbio.2004.08.051

94. St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(S):E52-E77. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5
95. Stull CL. Responses of horses to trailer design, duration, and floor area during commercial transportation to slaughter. *Journal of Animal Science*. 1999;77(11):2925-2933. doi: 10.2527/1999.77112925x
96. Stull CL. Stress and dairy calves. Davis: University of California, 1997: 5 p.
97. Surai PF, Fisinin VI. The modern anti-stress technologies in poultry: from antioxidants to vitagenes. *Agricultural Biology*. 2012;4:3-13. doi: 10.15389/agrobiology.2012.4.3eng
98. Tarrant P. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs: A review. *Irish Journal of Food Science and Technology*. 1989;13(2):79-107.
99. Tong C, Li P, Yu LH, Li L, Li K, Chen Y, Yang S-H, Long M. Selenium-rich yeast attenuates ochratoxin A-induced small intestinal injury in broiler chickens by activating the Nrf2 pathway and inhibiting NF-KB activation. *Journal of Functional Foods*. 2020;66:103784. doi: 10.1016/j.jff.2020.103784
100. Tsigos C, Kyrou I, Kassi E, Chrousos GP. Stress: endocrine physiology and pathophysiology. In: Feingold KR, Anawalt B, Blackman MR, et al., editors. *Endotext* [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2020.
101. Upadhyay RC, Ashutosh RV, Singh SV, Aggarwal P. Impact of climate change on reproductive functions of cattle and buffaloes. In: Aggarwal PK, editor. *Global climate change and Indian Agriculture*. New Delhi: ICAR; 2009:107-110.
102. Vandana GD, Bagath M, Sejian V, Krishnan G, Beena V, Bhatta R. Summer season induced heat stress impact on the expression patterns of different toll-like receptor genes in Malabari goats. *Biological Rhythm Research*. 2019;50(3):466-482. doi: 10.1080/09291016.2018.1464638
103. West JW. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(6):2131-2144. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X
104. West JW. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science*. 1999;77(S2):21-35. doi: 10.2527/1997.77suppl_221x
105. Wheelock JB, Rhoads RP, VanBaale MJ, Sanders SR, Baumgard LH. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2010;93(2):644-655. doi: 10.3168/jds.2009-2295
106. Wolfenson D. Impact of heat stress on production and fertility of dairy cattle. *Proceedings of the 18th Annual Tri-State Dairy Nutrition Conference*. IN, USA: Fort Wayne; 2009:55-59.
107. Xing T, Zhao X, Wang P, Chen H, Xu X, Zhou G. Different oxidative status and expression of calcium channel components in stress-induced dysfunctional chicken muscle. *Journal of Animal Science*. 2017;95(4):1565-1573. doi: 10.2527/jas.2016.0868
108. Xu F, Liu S, Li S. Effects of selenium and cadmium on changes in the gene expression of immune cytokines in chicken splenic lymphocytes. *Biological Trace Element Research*. 2015;165:214-221. doi: 10.1007/s12011-015-0254-2
109. Yang HP, Wang L, Han L, Wang SC. Nonsocial functions of hypothalamic oxytocin. *International Scholarly Research Notices*. 2013;2013(1): 179272. doi: 10.1155/2013/179272
110. Yumatov EA. Emotional stress: the dialectics of nature. *Neuroscience and Medicine*. 2020;11(01):20-28. doi: 10.4236/nm.2020.111003
111. Zhao W, Liu W, Chen X, Zhu Y, Zhang Z, Yao H, Xu S. Four endoplasmic reticulum resident selenoproteins may be related to the protection of selenium against cadmium toxicity in chicken lymphocytes. *Biological Trace Element Research*. 2014;161:328-333. doi: 10.1007/s12011-014-0135-0
112. Zulkifli I. Review of human-animal interactions and their impact on animal productivity and welfare. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2013;4:25. doi: 10.1186/2049-1891-4-25

Информация об авторах:

Даниил Евгеньевич Шошин, аспирант, лаборант-исследователь центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 8-965-932-53-67.

Никита Германович Ерофеев, студент, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел: 8-908-320-18-09.

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 8-912-344-99-07.

Марина Юрьевна Павлова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 8-922859-01-34.

Information about the authors:

Daniil E Shoshin, Postgraduate student, Laboratory Researcher of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000; tel.: 8-965-932-53-67.

Nikita G Erofeev, student, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000; tel.: 8-908-320-18-09.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000; tel.: 8-912-344-99-07.

Marina Yu Pavlova, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000; tel.: 8-922859-01-34.

Статья поступила в редакцию 14.02.2024; одобрена после рецензирования 05.08.2024; принята к публикации 09.09.2024.

The article was submitted 14.02.2024; approved after reviewing 05.08.2024; accepted for publication 09.09.2024.