

DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-149

УДК 636.085

Многообразие различных жиросодержащих препаратов с включением микро- и наноэлементов в кормлении животных (обзор)

Б.С. Нуржанов, Ю.И. Левахин, В.А. Рязанов, Е.Б. Джуламанов, М.М. Поберухин

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

Аннотация. В практике кормления высокопродуктивных животных трудно переоценить значение жировых и минеральных добавок. В мире существует много разнообразных кормовых добавок, покрывающих недостаток в тех или иных питательных веществах, но действие их составляющих в комплексе на организм мало изучено или не изучено совсем. Ежегодно появляются новые факты, значительно меняющие наши представления о том, как правильно нормировать добавки в рационах, какова их роль и влияние на микробиом желудочно-кишечного тракта, и как они взаимодействуют друг с другом.

В связи с чем актуальной задачей представляется проведение дальнейших работ по совершенствованию существующих и созданию новых видов кормовых добавок, в том числе жиросодержащих препаратов с включением микро- и наноэлементов.

Ключевые слова: животные, кормление, жиросодержащий препарат, микроэлементы, наноэлементы.

UDC 636.085

Variety of different fat-containing drugs including micro- and nanoelements in animal feeding (review)

B.S. Nurzhanov, Yu.I. Levakhin, V.A. Ryazanov, E.B. Dzhuslamanov, M.M. Poberukhin

FSBSI «Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences»

Summary. In the practice of feeding highly productive animals, it is difficult to overestimate the importance of fat and mineral supplements. There are many different feed additives in the world that cover a deficiency in certain nutrients, but the effect of their components in the complex on the body is little studied or not studied at all. Every year, new facts appear that significantly change our understanding of how to properly ration supplements in diets, what their role and influence on the microbiome of the gastrointestinal tract, and how they interact with each other.

In this connection, the actual task is to carry out further work on the improvement of existing and creation of new types of feed additives, including fat-containing preparations with the inclusion of micro- and nanoelements.

Key words: animals, feeding, fat-containing preparation, microelements, nanoelements.

Введение.

Главным фактором, влияющим на полноценность питания животного, является его сбалансированность, исходя из потребностей в сухом веществе, энергии, жирах, протеине, углеводах, минеральных элементах, витаминах и других биологически активных веществах [1].

Несбалансированность рациона по содержанию в нём жира также является причиной неполноценного питания крупного рогатого скота. Жиры – высококалорийные вещества, позволяющие увеличить общую энергетическую питательность рациона. Это очень важно при кормлении животных с высокой продуктивностью. Необходимо в рационах для высокопродуктивных животных контролировать содержание жира, особенно при использовании кормов и кормовых добавок, содержащих их в большом количестве. Потребность животных в жире удовлетворяется практически полностью кормами рациона. Обычно потребность в жире возникает у коров с продуктивностью выше 20 кг молока в сутки. В таких случаях в рацион следует дополнительно вводить жиры [2].

По результатам исследований, проведённых многими учёными, потребность в жире у коров колеблется в пределах 40-65 % от жира, который выделяется с молоком в течение суток. Оптимальным является такое количество жира в рационах коров, которое составляет 3-4 % от сухого вещества.

До недавнего времени не было уделено достаточно внимания составу жирных кислот в кормах и не исследовалось их влияние на энергию. Исследования показали, что жирные кислоты, которые составляют жир, участвуют активно в метаболических процессах животных и могут быть направлены на конкретные функции энергии вместо того, чтобы представлять собой её общий источник. Наиболее изученный пример – это длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) и то, как бактерии рубца трансформируют их в конъюгированную линолеовую кислоту (CLA), производные которой являются полезными и для здоровья человека.

Добавка жира стимулирует липолиз и липогенез, окисление дисульфидных связей и использование пирувата в процессе глюконеогенеза в период до утреннего кормления. При использовании в качестве жировой добавки Бергафат (сухой концентрат пальмового масла) отмечено увеличение среднесуточного прироста (на 11,5 %), массы мякоти (на 6,5 %), отношения мякоть/кости (9 %) и снижение затрат концентратов на единицу прироста живой массы (на 11,0 %) [3].

Исследования последнего времени показали, что пальмитиновая кислота, в значительных количествах содержащаяся в пальмовом масле, имеет серьёзные ограничения по норме ввода её в рацион питания (не более 15 г в сутки). Избыток пальмитиновой кислоты приводит к образованию трипальмитинов, которые практически не поддаются ферментативному гидролизу липазой липопропротеидов и определяют развитие ожирения, сахарного диабета 2 типа и атеросклероза [4, 5].

Небольшое количество пальмитиновой кислоты содержится в основных кормах и зерновых, но главным источником её является фракционный пальмовый жир. В природе пальмитиновая кислота, как и большинство всех других жирных кислот, является частью триглицерида (трёх жирных кислот, соединённых с глицерином). Жирные кислоты после выделения из глицерина под воздействием бактерий в рубце, как правило, усваиваются очень хорошо. Так обстоит дело с пальмитиновой кислотой, которая усваивается на 75 % у молочных коров. Высокий процент пальмитиновой кислоты в молочном жире через включения в корма означает, что меньшее количество корма участвует в других метаболических функциях. Недавние исследования при добавлении в корма жира с высоким содержанием пальмитиновой кислоты (более чем 75 %) в период лактации молочных коров показали следующие результаты: кормление около 450 грамм добавки корове в день привело к среднему увеличению молочного жира от 0,2 до 0,3 г/день и увеличению производства молока примерно на 1,5 кг/день. В исследованиях, сообщающих об изменении массы тела или изменении состояния упитанности, не было зафиксировано никаких изменений в сторону уменьшения [6].

Скармливание тёлочкам топлёного говяжьего жира и «защищённого» жира Enerflo, выработанного из пальмового масла, позволило повысить уровень гемоглобина и эритроцитов в крови на 6,9-9,4 % [7].

Скармливание пальмового жира в виде препарата Нутракор по 150 г в сутки обеспечивает молочную продуктивность коров в пределах 22 кг в сутки при жирности 3,95 %. Экономический эффект скармливания препарата составляет до 2,64 руб. на 1 рубль затрат [8].

В сравнительных исследованиях при откорме лошадей изучали влияние премикса с эссенциальными микроэлементами на жирнокислотный состав абдоминального жира. Выяснено, что нормирование микроэлементов в рационе лошадей на откорме оказывает положительное влияние на содержание полиненасыщенных жирных кислот. Отмечена тенденция к увеличению таких жирных кислот как линолевая, линоленовая и арахидоновая. Установлена взаимосвязь жирнокислотного состава липидов и уровня эссенциальных микроэлементов в рационе лошадей [9].

Употребление пальмового масла в течение 6 недель из расчёта 30 г/сут/кг сопровождалось дисбалансом микроэлементного состава исследуемых костей (увеличением содержания железа и уменьшением содержания меди, цинка и марганца), который нарастает по мере увеличения длительности употребления пальмового масла. У неполовозрелых и половозрелых крыс эти изменения регистрируются с 10 по 60 сутки наблюдения, а в период старческих изменений – с 1 по 60 сутки

наблюдения. Введение экстракта Гарцинии камбоджийской из расчёта 0,25 мг/сут/кг. начиная с 7 недели употребления пальмового масла, у подопытных животных сопровождается сглаживанием негативного влияния условий эксперимента на микроэлементный состав большеберцовых костей к 60 суткам наблюдения у неполовозрелых и половозрелых крыс и с 30 по 60 сутки наблюдения, у крыс старческого возраста [10].

Установлено, что диета с высоким содержанием жиров может привести к увеличению уровня концентрации некоторых химических элементов в плазме крови из-за производства короткоцепочечных жирных кислот, снижающих люминальный pH, из-за чего увеличивается растворимость минералов – кальция, магния, фосфора, цинка, меди. Отсюда следует, что концентрация данных элементов в депо (скелете) будет уменьшаться [11].

Известно, что в поддержании здоровья высокопродуктивных животных важное значение имеет сбалансированное минеральное питание. В связи с этим одной из главных задач научного поиска является повышение биологической доступности микроэлементов [12].

В своих исследованиях ряд авторов отмечает, что в организме животных роль минеральных веществ велика и крайне разнообразна. Домашние и сельскохозяйственные животные часто страдают от дефицита кальция, фосфора, магния, натрия, серы, железа, меди, цинка, марганца, кобальта, йода, селена [13, 14].

В мире существует много разнообразных кормовых добавок, покрывающих недостаток тех или иных питательных веществ, но механизм действия их в комплексе на организм изучен недостаточно.

Известна экструдированная кормовая добавка, включающая в свой состав высокодисперсные порошки меди, цинка, железа и кальций и влияющая на баланс минеральных веществ в организме бычков казахской белоголовой породы. В результате проведённого исследования установлено, что включение в рацион животных экструдированной добавки с высокодисперсными комплексами способствует улучшению использования азота, кальция и фосфора в организме и обладает ростстимулирующим действием. Так, в опытных группах, получавших экструдированные добавки, наблюдается повышение использования азотистой части рационов: от принятого – на 0,7-1,05 %, от переваренного – 0,56-0,57 % относительно контрольной группы. А по использованию кальция и фосфора из корма бычки опытных групп превалировали над контрольной группой на 1,6-5,2 % и 0,6-0,8 % [15].

Известен способ приготовления кормовой добавки для молодняка крупного рогатого скота, включающий смешивание высокодисперсных частиц кобальта с размером не более 150 нм и марганца с размером не более 300 нм, взятых в количестве, которое на 10 % превышает норму для молодняка крупного рогатого скота на откорме, с инактивированными кормовыми дрожжами, взятыми в количестве 30 % от концентрированной части рациона, и дальнейшее гранулирование при температуре +60...+70 °С под давлением до 1,5 бар [16].

Разработана минерально-жировая кормовая добавка для крупного рогатого скота, включающая следующие компоненты (%): бентонит донгузского месторождения – 18,5, фуз подсолнечный – 13,3, селенит натрия – 0,002, отруби пшеничные – 8,498, электроактивированная вода – католит с pH 9,0-9,5 и редокс-потенциалом 400-500 мВ – 59,7. Использование заявленного изобретения позволит повысить перевариваемость питательных веществ в корме и продуктивность животных [17].

Скармливание опытным бычкам в составе рациона экструдированных кормовых добавок способствует улучшению гематологических показателей (увеличение гемоглобина на 4-8,1 %, эритроцитов – 3,1-4,0 %, общего белка – 2-4,8 %, альбуминов – 4,5-5,6 %). Наибольшим положительным эффектом в отношении всех изученных параметров обладает экструдат с комплексом высокодисперсных металлов (0,1 г – Zn, 2 г – Fe, 0,1 г Cu – на 1 кг экструдата), его целесообразность применения в рационе бычков абсолютно доказана [18].

Эффективность влияния каменного масла на гематологические показатели авторы изучали в эксперименте на 14 животных с признаками алиментарной анемии. Коррекция алиментарной анемии каменным маслом в сочетании с железосодержащим препаратом ферраном в течение 21 суток сопровождается восстановлением морфологического и биохимического составов крови у животных до нижних границ физиологической нормы [19].

При применении кормовой добавки на основе диоксида кремния коллоидного при простой диспепсии молодняка крупного рогатого скота происходит снижение клинических проявлений заболевания: на третий день возрастает пул иммунокомпетентных клеток 220 Т- и В-лимфоцитов на 20 % и 35 % соответственно, фагоцитарной активности нейтрофилов [20].

Сотрудниками УрГАУ было изучено влияние диатомита на молочную продуктивность коров в условиях Урала. Диатомит – белая, светло-серая, очень лёгкая порода, состоящая из слабоцементированных частиц: окись кремния – 79,92 %, окись алюминия – 6,58 %, окись железа – 3,56 %, окись рубидия – 1,37 %, окись магния – 0,98 %, окись кальция – 1,43 %, окись титана – 0,48 % и др. В результате опытов было установлено, что добавление в рацион коров 2 % диатомита обеспечивает лучшую перевариваемость питательных веществ корма, повышает молочную продуктивность на 10,9 % [21].

Уже более полувека не прекращаются исследования в вопросах минерального питания животных. В последние годы появились новые факты, значительно изменившие наши представления о том, как правильно нормировать добавки микроэлементов в рационах [22-31].

Наиболее эффективными считаются хелатные соединения микроэлементов, обладающие высокой степенью усвоения на 50-60 %, чем соли и оксиды микроэлементов [32].

Одним из перспективных направлений кормопроизводства является разработка нанодисперсных кормовых добавок, что подтверждается исследованиями международных, правительственных, межправительственных и общественных организаций: ВОЗ, ФАО, OECD и др. В ряде стран Европейского Союза и США ведутся разработки нормативной и методической баз, направленных на создание производства и использования продуктов нанотехнологий [33, 34].

Незаменимый переходный металл медь важен для липидного обмена, окислительно-восстановительного баланса, мобилизации железа и многих других критических процессов в эукариотических организмах [35]. В частности являясь важным компонентом нескольких металлоферментов, участвует в окислительно-восстановительных реакциях, транспорте кислорода и электронов и защите от окислительного стресса [36], в метаболических реакциях, включая клеточное дыхание, пигментацию ткани, образование гемоглобина и развитие соединительной ткани [37].

Также очевидно, что ТВСС менее агрессивен в премиксах и, следовательно, уменьшает разрушение витаминов, фитаз и пробиотиков в премиксах витаминных минералов во время хранения. Стимулирующие эффекты меди приписывают его бактериостатическим и бактерицидным свойствам [38] за счёт уменьшения бактериальных популяций в кишечнике, что может влиять на рост и структуру сообщества микроорганизмов в слепой кишке и толстой кишке [39].

Также было высказано предположение, что улучшение ADFI в результате добавления меди обусловлено её ролью в повышении экспрессии мРНК нейропептида Y, который считается индуктором потребления корма [40, 41]. Медь может также нарушать ферментную структуру и функции бактерий, связываясь с S или карбоксилатсодержащими группами и аминокислотными группами белков.

Включение меди в фармакологические уровни в рационы, которые скармливают свиньям-отъёмышам, также увеличивает высоту ворсин и уменьшает глубину склепа, тем самым улучшая здоровье кишечника [42].

Механистическое взаимодействие меди и цинка менее изучено, но ясно, что высокое потребление цинка препятствует усвоению меди, о чём свидетельствует приобретённая гипокупремия, связанная с избыточным потреблением цинка [43].

Важно отметить, что нарушение регуляции у одного из этих металлов может привести к нарушению регуляции у других. Все три металла важны для антиоксидантной и иммунной защиты, других критических процессов как на клеточном, так и на организменном уровне. Эти три ключе-

вых металла часто включаются в антиоксидантные ферменты, такие как супероксиддисмутаза, каталаза и глутатион. Изменения в гомеостазе этих металлов часто снижают способность клеток регулировать окислительно-восстановительные условия, что приводит к повреждению клеток и повышению уровня ALS, ALT и ALP. Степень тяжести многих расстройств, связанных с метаболическим синдромом (MetS), определяется повышенным уровнем этих циркулирующих биомаркеров повышенного окислительного стресса [44].

В исследовании [45] был сделан вывод, что гидроксихлорид Zn и Cu были более эффективными, чем сульфат Zn и Cu в повышении эффективности роста и увеличении выхода мяса. В отличие от большинства других минералов Cu и Zn обладают антимикробными свойствами, и поэтому их часто добавляют в рационы в количествах, превышающих то, что необходимо для удовлетворения потребностей в питании.

Цинк является компонентом и активатором нескольких металлоферментов и выполняет основную функцию в выработке и секреции гормонов. Он также играет роль в заживлении кожи и ран, в целостности иммунной системы. Свиньям обычно требуется от 80 до 100 мг/кг Zn, а дефицит Zn в рационах поросят-отъемышей приводит к задержке роста, потере аппетита, нарушениям скелета и гиперкератинизации кожи [46, 47].

Помимо оксида цинка существуют и другие формы цинка, которые можно включать в рационы при более низких концентрациях. Эти формы включают хелатные источники Zn, такие как Zn-метионин, который обладает большей биодоступностью Zn, чем ZnO [48].

Высокое потребление Zn улучшает морфологию кишечника поросят-отъемышей, увеличивая высоту ворсин и отношение высоты ворсин к глубине крипты, стабильность микрофлоры и разнообразие кишечных микробов [49].

Результаты нескольких экспериментов показали положительный эффект от добавления фармакологических уровней Cu и Zn по отдельности, но в некоторых экспериментах были исследованы эффекты добавления фармакологических уровней Cu и Zn. Однако результаты показали, что эффекты двух минералов не являются аддитивными, но другие результаты указывают на некоторые аддитивные эффекты. Сообщалось, что ZnO может модифицировать микробный профиль толстой кишки, тогда как медь помимо изменения профиля микробиоты также уменьшает микробное разнообразие в подвздошной кишке и толстой кишке, что может быть причиной аддитивного воздействия двух минералов [50, 51].

Исследование [51] включало изучение влияния препаратов ультрадисперсных частиц (наночастиц из меди, цинка, железа, CuZn сплава) и соли металлов (железа пиррофосфат, меди asparaginate, цинка asparaginate) на состав микробиоты слепой кишки цыплят-бройлеров. Перед добавлением исследуемых наночастиц и соли металлов в рацион микробиота слепой кишки цыплят-бройлеров была представлена 76 % таксона Firmicutes и 16 % бактероидетов. Среди них были многочисленные бактерии таксонов Anaerotruncus spp., Lactobacillus spp., Blautia spp., Alistipes spp. и Bacteroides spp. они составили 18, 17, 11 и 6 % соответственно. Особенностью действия наиболее анализируемых металлов в наноформе и в виде солей было уменьшение количества бактерий типа Firmicutes и увеличение количества микроорганизмов типа Bacteroidetes. Количество бактерий, принадлежащих к семействам Ruminococcaceae (III, IV, V, VII и VIII группы), Bacteroidaceae (во всех экспериментальных группах) и Lachnospiraceae (I, IV, V и VII группы) было зарегистрировано в таксонах Firmicutes и Bacteroidetes. В то же время в некоторых экспериментальных группах количество бактерий семейства Lachnospiraceae (II, III и VIII) уменьшилось в кишечнике. Полученные данные могут быть использованы для оценки возможности использования металлонаночастиц в рационе птицы в качестве препарата питательных микроэлементов, для коррекции дисбактериоза и улучшения использования кормовой энергии.

Цинк и медь являются антагонистами друг к другу. В большинстве случаев цинк препятствует всасыванию меди, создавая её дефицит, но это в том случае, если доступность меди является маргинальной. Когда соотношение меди к цинку очень высокое (50:1), то медь будет препятствовать всасыванию цинка, хотя это у крупного рогатого скота встречается очень редко. Нанотехнологии манипулируют материалом на атомном или молекулярном уровнях и заставляют его приобретать новые свойства, не проявляющиеся в объемном веществе [52, 53].

Использование физических и химических средств для синтеза наноструктур было в значительной степени заменено зелёными методами, использующими различные части растений, бактерии, грибы и водоросли. Биосинтез наноразмерной структуры особенно полезен для медицинских применений, поскольку они дают нам нетоксичные, экологичные и дешёвые наноматериалы [54].

Органические источники используются для биосинтеза наноматериалов, что устраняет необходимость использования токсичных химических веществ в качестве восстановителя.

Наночастицы широко появились в качестве антибактериального агента в последнее десятилетие. Наночастица может использоваться в качестве персонализированного лекарственного средства, поскольку она демонстрирует специфическое нацеливание и минимальную токсичность.

Наночастицы проявляют свой бактериостатический или бактерицидный эффект, либо блокируя источник пищи, либо разрушая клеточную мембрану [55].

В исследованиях показана роль высокодисперсных металлов в метаболизме лабораторных животных. Отмечена прямая взаимосвязь между привесами животных с уровнем гемоглобина и дозой препарата, содержащего высокодисперсные металлы – железо, медь, цинк [56].

Наночастицы металлов в настоящее время также имеют весьма обширные перспективы использования в качестве лекарственных средств для диагностики и для лечения ряда заболеваний.

Установлено, что повышение уровня молибдена уменьшает абсорбцию кремния и наоборот. Наблюдается взаимодействие кремния с цинком и медью. Кремний в количестве 270 мг/кг диеты оказывал подавляющее влияние на содержание цинка в тканях крыс, получавших по 2 мг цинка на 1 кг корма в сутки, не влияя однако на их рост. Кремний оказывал положительное влияние на химический состав аорты крыс, содержащихся в условиях дефицита меди (1 мг/кг рациона в сутки) [57].

О количестве и механизме всасывания кремния из твёрдого кремния, кремния в составе органических веществ, пектина и мукополисахаридов известно мало. Большая часть поступившего кремния с пищей не усваивается и выводится с фекалиями. Усваивается менее 4 % [58].

Одним из необходимых микроэлементов для полноценного роста и развития животных, в том числе жвачных, считается хром. При разработке норм кормления сельскохозяйственных животных и птицы этому элементу не уделяется должное внимание, нет данных об обеспечении им рационов, не исследовано его содержание в почве, воде, растительных кормах, а также в организме животных. Кроме того, остаётся недостаточно изученным влияние хрома. Проведённые исследования активности гидролитических ферментов микроорганизмов рубца показали, что добавление хром-метионина в инкубационную среду азотсодержимым рубца имело более выраженное стимулирующее влияние на пролиферацию микробных клеток и метаболическую активность по сравнению с добавлением хрома неорганического [59-65].

Хром оказывает влияние на гомеостаз холестерина сыворотки крови. Добавление хрома в рационы крыс с низким уровнем этого микроэлемента приводило к уменьшению уровня холестерина в плазме крови и снижению тенденции к росту этих уровней с возрастом [66].

И у человека, и у животных в тонком кишечнике всасывается менее 2 % неорганического хрома. Неорганический трёхвалентный хром образует в тонком кишечнике очень стабильные, трудно абсорбируемые гидраты [67].

Вывод.

В практике кормления высокопродуктивных коров большое значение имеют жировые и минеральные добавки. Рецептуры добавок и принципы их введения в рационы жвачных животных длительное время совершенствовались отечественными и зарубежными учёными и с большим успехом применяются во всех странах с высокоразвитым животноводством.

Правильно и хорошо сбалансированное питание крупного рогатого скота является одним из важных условий повышения продуктивности и воспроизводительных качеств.

Для животноводства в нашей стране промышленность производит более 60 препаратов биологически активных веществ. За границей, в странах с хорошо развитым животноводством, в кормлении животных используют более 150 различных кормовых добавок. При комплексном использовании биологически активных веществ в рационах получают более высокий эффект.

В связи с чем актуальной задачей представляется проведение дальнейших работ по совершенствованию существующих и созданию новых видов кормовых добавок, в том числе жиросо-держажих препаратов с включением микро- и наноэлементов.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005)

Литература

1. Щеглов В.В., Первое Н.Г., Воробьева С.В. О новых аспектах нормирования питания сельскохозяйственных животных // Научные труды ВИЖа. Дубровицы, 2005. Т. 2. Вып. 63. С. 10-14.
2. Протеиновые ресурсы и их рациональное использование при кормлении сельскохозяйственных животных и птицы / П.Ф. Шмаков и др. Омск: «Вариант-Омск», 2008. 488 с.
3. Галочкина В.П., Галочкин В.А., Обвинцева О.В. Сравнительная оценка сдвигов в метаболизме и продуктивности при использовании изоэнергетических добавок жира и зерна ячменя у бычков на откорме // Проблемы биологии продуктивных животных. 2010. № 1. С. 18-30.
4. Титов В.Н. Высокое содержание пальмитиновой жирной кислоты в пище – основная причина повышения уровня холестерина липопротеинов низкой плотности и атероматоза интимы артерий // Клиническая лабораторная диагностика. 2013. № 2. С. 3-10.
5. Чимонина И.В., Жукавина А.А. Влияние пальмового масла на здоровье человека (критический анализ) // Мир науки, культуры, образования. 2015. № 2(51). С. 321-324.
6. Аникин А.Ю. Дифференцирование насыщенных жирных кислот // Эффективное животноводство. 2016. № 9(130). С. 30-31.
7. Дмитриев А.С., Прытков Ю.Н. Изменение гематологических показателей у тёлочек до 6-месячного возраста при скормливании им различных форм жира // Инновации и инвестиции. 2013. № 7. С. 268-272.
8. Есаулова Л.А., Елизарова Т.И. Эффективность использования защищённых кормовых жиров в рационах дойных коров в хозяйствах Воронежской области // Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию факультета ветеринарной медицины и технологии животноводства, проводимой на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I». Воронеж, 2016. С. 103-106.
9. Взаимосвязь жирнокислотного состава липидов и уровня эссенциальных микроэлементов в рационе лошадей / Г.М. Рашидова, Т.Ю. Хворостова, Ю.Ф. Мишанин и др. // Современные достижения в исследовании натуральных пищевых добавок: сб. материалов междунар. науч.-тех. Интернет-конф. Краснодар: Изд-во Кубан. гос. тех. ун-та, 2014. С. 118-122.
10. Лящук А.В. Микроэлементный состав костей скелета в условиях избыточного употребления пальмового масла у белых крыс различного возраста // Украинский морфологический альманах имени профессора В.Г. Ковешникова. 2017. Т. 15. № 2. С. 25-31.
11. Effect of dietary *Garcinia cambogia* extract on serum essential minerals (calcium, phosphorus, magnesium) and trace elements (iron, copper, zinc) in rats fed with high-lipid diet / F.E. Gürsel, A. Ateş, T. Bilal, A. Altiner // Biological Trace Element Research. 2012. Vol. 148(3). P. 378-382.
12. Чепелев Н.А., Харламов И.С. Минеральный обмен у коров при использовании хелатных соединений микроэлементов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 64-66.
13. Кирнос И. О., Дубозеров В. М. Эффективность использования МВД в период раздоя // Современные технологии и селекционные аспекты развития животноводства России: материалы III междунар. науч.-практ. конф. Дубровицы, 2005. С. 10-11.
14. Кузнецов С.Г. Минеральные вещества для животных // Животноводство России. 2003. № 5. С. 22-28.

15. Баланс азота, обмен кальция и фосфора в организме бычков при использовании рационов, содержащих высокодисперсные частицы / М.Я. Курилкина, Т.Н. Холодилина, Д.М. Муслюмова и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 116-122.
16. Способ приготовления кормовой добавки для молодняка крупного рогатого скота: пат. 2634052 Рос. Федерация / Б.С. Нуржанов, Г.К. Дускаев, А.Ф. Рысаев и др. Заявл. 18.11.16; опубл. 23.10.17, Бюл. № 30.
17. Минерально-жировая кормовая добавка для крупного рогатого скота: пат. 2500174 Рос. Федерация / Б.Х. Галиев, Н.М. Ширнина, О.Н. Ширнина и др. Заявл. 14.08.12; опубл. 10.12.13, Бюл. № 34.
18. Морфобиохимические показатели крови бычков, содержащихся на рационах с включением комплекса высокодисперсных металлов / М.Я. Курилкина, Т.Н. Холодилина, Д.М. Муслюмова и др. // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 131-136.
19. Чулуунбат О. Коррекция алиментарной анемии крупного рогатого скота монгольской и калмыцкой пород «каменным маслом» // Научные проблемы и технологические аспекты модернизации АПК и развития сельских территорий Байкальского региона: материалы науч.-практ. конф., посвящ. Дню рос. науки и 85-летию образования ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА имени В.Р. Филиппова». Улан-Удэ, 2016. С. 100-104.
20. Красноперов А.С., Малков С.В. Влияние кормовой добавки на основе диоксида кремния на иммунологические показатели телят с диспепсией // Эколого-биологические проблемы использования природных ресурсов в сельском хозяйстве: IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов. Екатеринбург, 2018. С. 213-220.
21. Садакова Р.В. Применение диатомита в сельском хозяйстве // Молодежь и наука. 2015. № 2. С. 49.
22. Фисин В., Сурай П. Природные минералы в кормлении животных и птицы // Животноводство России. 2008. № 9. С. 62-63.
23. Мирошников С.А., Сизова Е.А. Наноматериалы в животноводстве (обзор) // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 3(99). С. 7-22.
24. Эффективность «защищённого» жира в рационах животных / С.А. Мирошников, А.И. Гречушкин, А.М. Мирошников, С.В. Лебедев // Вестник Оренбургского государственного университета. 2005. № 2 (Биоэлементология). С. 47-49.
25. Влияние микроэлементов на морфофункциональные показатели щитовидной железы / С.В. Нотова, Е.С. Барышева, С.В. Лебедев, В.С. Полякова, Н.В. Малышева, М.Г. Корнеев // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 2 (Биоэлементология). С. 64-67.
26. Минеральный статус организма животных на фоне различной нутриентной обеспеченности / С.В. Лебедев, Ш.Г. Рахматуллин, А.И. Гречушкин, Е.А. Сизова // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6(100). С. 201-203.
27. Нестеров Д.В., Сипайлова О.Ю., Лебедев С.В. Влияние сульфата и микрочастиц цинка на обмен токсических элементов в костной ткани цыплят-бройлеров // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 6(142). С. 176-179.
28. Лебедев С.В., Барышева Е.С., Малышева Н.В. Степень накопления и особенности взаимодействия токсичных и эссенциальных элементов в организме лабораторных животных (экспериментальное исследование) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 2 (Биоэлементология). С. 33-35.
29. Лебедев С.В. Особенности влияния дополнительного введения в рацион кур-несушек микроэлементов Cd, I, Se и Zn на макроэлементный состав яиц // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 12(106). С. 96-98.
30. Показатели неспецифической реакции адаптации лабораторных животных с различным уровнем функции щитовидной железы / С.В. Мирошников, С.В. Лебедев, А.А. Барабаш и др. // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 1(120). С. 141-143.

31. Элементный статус организма цыплят-бройлеров на фоне различной концентрации обменной энергии в рационе / С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, Е.А. Сизова, Ш.Г. Рахматуллин // Проблемы биологии продуктивных животных. 2009. № 3. С. 63-68.
32. Эббинге Б. Передовые технологии в кормлении жвачных животных // Главный зоотехник. 2007. № 5. С. 25-27.
33. О перспективности нанопрепаратов на основе сплавов микроэлементов-антагонистов (на примере Fe и Co) / Е.А. Сизова, С.А. Мирошников, С.В. Лебедев и др. // Сельскохозяйственная биология. 2016. 51(4). С. 553-562.
34. Техногенные наноматериалы в агробиоценозах: перспективы и риски: монография / Е.А. Сизова, С.В. Нотова, С.В. Лебедев, Т.Д. Дерябина, А.М. Короткова, Д.Б. Косян, И.С. Мирошников, Е.В. Яушева, Е.П. Мирошникова, И.А. Гавриш, Е.А. Русакова, Е.В. Шейда. Оренбург: ОГУ, 2016. 248 с.
35. The role of insufficient copper in lipid synthesis and fatty-liver disease / Austin Morrell, Savannah Tallino, Lei Yu, Jason L. Burkhead // IUBMB Life. 2017. Apr. 69(4). P. 263-270. Published online. 2017. Mar 8. doi: 10.1002/iub.1613.
36. Hill G.M. Minerals and mineral utilization in swine // Sustainable swine nutrition / L.I. Chiba, editor. Oxford, U.K.: Blackwell Publishing Ltd, 2013. P. 186-189.
37. McDowell L.R. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press, Inc., Harcourt Brace Jovanovich: San Diego, CA, USA, 1992.
38. Stahly T.S., Cromwell G.L., Monegue H.J. Effects of the dietary inclusion of copper and (or) antibiotics on the performance of weanling pigs // Journal of Animal Science. 1980. 51. P. 1347-1351.
39. Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned piglets / O. Hojberg, N. Canibe, H.D. Poulsen, M.S. Hedemann, B.B. Jensen // Appl Environ Microbiol. 2005. 71. P. 2267-2277.
40. Gehlert D.R. Role of hypothalamic neuropeptide Y in feeding and obesity // Neuropeptides. 1999. 33. P. 329-338.
41. Effects of organic acids on growth performance, gastrointestinal pH, intestinal microbial populations and immune responses of weaned pigs / Z. Li, G. Yi, J. Yin, P. Sun, D. Li, C. Knight // Asian Australas Journal Animal Science. 2008. 21. P. 252-261.
42. Growth performance and intestinal morphology responses in early weaned pigs to supplementation of antibiotic-free diets with an organic copper complex and spray-dried plasma protein in sanitary and nonsanitary environments / J. Zhao, A.F. Harper, M.J. Estienne, K.E. Webb, Jr., A.P. McElroy, D.M. Denbow // Journal of Animal Science. 2007. 85. P. 1302-1310.
43. Chouinard-Watkins R., Plourde M. Fatty acid metabolism in carriers of apolipoprotein E epsilon 4 allele: is it contributing to higher risk of cognitive decline and coronary heart disease? // Nutrients. 2014. Oct 20. 6(10). P. 4452-4471. doi: 10.3390/nu6104452.
44. Wintergerst E.S., Maggini S., Hornig D.H. Contribution of selected vitamins and trace elements to immune function // Annals of Nutrition and Metabolism. 2007. 51. P. 301-323.
45. Oluyinka Abiona Olukosi, Sandra van Kuijk, Yanming Han Copper and zinc sources and levels of zinc inclusion influence growth performance, tissue trace mineral content, and carcass yield of broiler chickens // Poult Science Journal. 2018. Nov. 97(11). P. 3891-3898.
46. Effect of complexed trace minerals on cumulus-oocyte complex recovery and in vitro embryo production in beef cattle / F.G. Dantas, S.T. Reese, R.V. Oliveira Filho, R.S. Carvalho, G.A. Franco, C.R. Abbott, R.R. Payton, J.L. Edwards, J.R. Russell, J.K. Smith, K.G. Pohler // Journal of Animal Science. 2019. Jan 14.
47. Prasad A.S., Oberleas D., Miller E.R. Biochemical effects of zinc deficiency: changes in activities of zinc-dependent enzymes and ribonucleic acid and deoxyribonucleic acid content of tissues // Journal of Laboratory and Clinical Medicine. 1971. 77. P. 144-152.
48. Zinc-methionine improves growth performance of starter pigs / T.L. Ward, G.A. Asche, G.F. Louis, D.S. Pollman // Journal of Animal Science. 1996. 74(Suppl. 1). P. 182.

49. The effect of zinc oxide supplementation on the stability of the intestinal flora with special reference to composition of coliforms in weaned pigs / M. Katouli, L. Melin, M. Jensen-Waern, P. Wallgren, R. Mollby // *Journal of Applied*. 1999. 87. P. 564-573.
50. Effect of pharmacological intakes of zinc and copper on growth performance, circulating cytokines and gut microbiota of newly weaned piglets challenged with coliform lipopolysaccharides / H. Namkung, J. Gong, H. Yu, C.F.M. de Lange // *Canadian Journal of Animal Science*. 2006. 86. P. 511-522.
51. Yausheva E., Miroshnikov S., Sizova E. Intestinal microbiome of broiler chickens after use of nanoparticles and metal salts // *Environmental science and pollution research international*. 2018. Jun. 25(18). P. 18109-18120. doi: 10.1007/s11356-018-1991-5. Epub 2018 Apr 24.
52. Comparative toxicity of nanoparticulate ZnO, bulk ZnO, and ZnCl₂ to a freshwater microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): the importance of particle solubility / N.M. Franklin, N.J. Rogers, S.C. Apte, G.E. Batley, G.E. Gadd, P.S. Casey // *Environmental Science & Technology*. 2007. 41. P. 8484-8490.
53. Mittal A.K., Chisti Y., Banerjee U.C. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts // *Biotechnology Advances*. 2013. 31(2). P. 346-356. doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.01.003.
54. Kim B.Y.S., Rutka J.T., Chan W.C.W. Nanomedicine // *New England Journal of Medicine*. 2010. 363. P. 2434-2443. doi: 10.1056/NEJMr0912273.
55. Искандаров М.И., Федоров А.И., Искандарова С.С. Изучение влияния высокодисперсных металлов на метаболические и гематологические показатели у подопытных животных // *Современное состояние и перспективы исследований по инфекционной и протозойной патологии животных, рыб и пчёл: материалы междунар. науч.-практ. конф. М., 2008. С. 138-141.*
56. Emerick R.J., Kayongo-Male H. Interactive effects of dietary silicon, copper and zinc in the rat // *Journal of Nutritional Biochemistry*. 1990. 1(1). P. 35-40.
57. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 544 с.
58. Пахолков Н., Лучка В., Дзень О. Влияние органических и неорганических форм хрома на целлюлозолитическую и амилолитическую активность микроорганизмов рубца // *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2013. № 55-1. С. 165-169.
59. Influence of various chromium compounds on physiological, morpho-biochemical parameters, and digestive enzymes activity in Wistar rats / S. Lebedev, I. Gavrish, E. Rusakova, O. Kvan, I. Gubaidullina // *Trace elements and electrolytes*, 2018. V. 35(4). P. 242-245. <https://doi.org/10.5414/TEX0155419>. Web of Science, Q3.
60. Влияние ультрадисперсных частиц хрома и пиколината хрома на гематологические показатели крови лабораторных животных / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, О.В. Кван, Е.А. Русакова, И.З. Губайдуллина // *Технологии живых систем*. 2018. № 4. С. 56-61. doi: 10.18127/j20700997-201804-07.
61. Активность пищеварительных ферментов и количество пищеварительных соков у телят при использовании в рационе различного по качеству протеина / Г.И. Левахин, И.С. Мирошников, В.А. Рязанов, В.В. Гречкина // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018. № 6(74). С. 244-248.
62. Воздействие ультрадисперсных частиц хрома различной дозировки на элементный статус цыплят-бройлеров / И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, И.В. Маркова, А.С. Мустафина // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018. № 6(74). С. 263-266.
63. Влияние различных источников протеина в рационе на всасывание питательных веществ в желудочно-кишечном тракте животного / С.В. Лебедев, И.В. Маркова, Г.И. Левахин, И.З. Губайдуллина, Е.В. Шейда // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018. № 6(74). С. 205-208.

64. Влияние наночастиц хрома на активность пищеварительных ферментов и морфологические и биохимические параметры крови телёнка / С.В. Лебедев, О.В. Кван, И.З. Губайдуллина, И.А. Гавриш, В.В. Гречкина, Б. Момчилович, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 136-142.

65. Переваривание питательных веществ в различных отделах желудочно-кишечного тракта в зависимости от качества протеина в рационе у телят / С.В. Лебедев, О.В. Кван, Е.В. Шейда, И.В. Маркова, И.З. Губайдуллина, В.В. Гречкина, В.Л. Королёв // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 158-163.

66. Кузнецов С.Г., Калашник В.И. Эффективность использования премиксов в кормлении дойных коров // Зоотехния. 2002. № 2. С. 14-18.

67. Крохина В.А., Илюхина Л.А., Хренов А.А. Комбикорма, добавки и премиксы в кормлении высокопродуктивных коров // Новое в кормлении высокопродуктивных животных. М.: Агропромиздат, 1989. С. 65-73.

References

1. Scheglov V.V, Pervoe N.G., Vorobyeva S.V. On the new aspects of rationing the nutrition of farm animals // Scientific works of the VIZH. Dubrovitsy, 2005. Vol. 2. Issue 63. P. 10-14.

2. Protein resources and their rational use in the feeding of farm animals and poultry / P.F. Shmakov et al. Omsk: «Option-Omsk», 2008. 488 p.

3. Galochkina V.P., Galochkin V.A., Obvintseva O.V. Comparative assessment of changes in metabolism and productivity when using isoenergy supplements of fat and barley grain in fattening bulls // Problems of the biology of productive animals. 2010. No. 1. P. 18-30.

4. Titov V.N. The high content of palmitic fatty acid in food – is the main reason for the increase in cholesterol level of low-density lipoproteins and atherosclerosis of the intima of arteries // Clinical laboratory diagnostics. 2013. No. 2. P. 3-10.

5. Chimonina I.V., Zhukavina A.A. The influence of palm oil on human health (critical analysis) // World of science, culture, education. 2015. No. 2(51). P. 321-324.

6. Anikin A.Yu. Differentiation of saturated fatty acids // Effective animal husbandry. 2016. No. 9(130). P. 30-31.

7. Dmitriev A.S., Prytkov Yu.N. Changes in hematological indices in chickens up to 6 months of age when they are fed various forms of fat // Innovations and investments. 2013. No. 7. P. 268-272.

8. Esaulova L.A., Elizarova T.I. The effectiveness of the use of protected feed fats in the rations of dairy cows in the farms of the Voronezh region // Materials of Intern. scientific-practical conf., dedicated. The 90th anniversary of the Faculty of Veterinary Medicine and Livestock Technology, held at the base of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I. Voronezh, 2016. P. 103-106.

9. The relationship of fatty acid composition of lipids and the level of essential microelements in the diet of horses / G.M. Rashidova, T.Yu. Khvorostova, Yu.F. Mishanin, etc. // Modern achievements in the study of natural food additives: collection of materials of intern. scientific-tech. Internet-conf. Krasnodar: Publishing house: Kuban. state tech. university, 2014. P. 118-122.

10. Lyashchuk A.V. The trace element composition of the skeleton bones under conditions of excessive use of palm oil in white rats of different age // Ukrainian morphological almanac named after Professor V.G. Kovesnikov. 2017. Vol. 15. No. 2. P. 25-31.

11. Effect of dietary *Garcinia cambogia* extract on serum essential minerals (calcium, phosphorus, magnesium) and trace elements (iron, copper, zinc) in rats fed with high-lipid diet / F.E. Gürsel, A. Ateş, T. Bilal, A. Altiner // Biological Trace Element Research. 2012. Vol. 148(3). P. 378-382.

12. Chepelev N.A., Kharlamov I.S. Mineral metabolism in cows using chelated microelement compounds // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2013. No. 9. P. 64-66.

13. Kirnos I.O., Dubozarov V.M. Efficiency of the use of the Ministry of Internal Affairs during the period of penance / Modern technologies and breeding aspects of the development of animal husbandry in Russia: Proceedings of the 3rd Intern. scientific-practical conf. Dubrovtsy, 2005. P. 10-11.
14. Kuznetsov S.G. Minerals for animals // Animal Husbandry of Russia. 2003. No. 5. P. 22-28.
15. The balance of nitrogen, calcium and phosphorus exchange in the body of bulls using diets containing finely dispersed metals particles / M.Ya. Kurilkina, T.N. Kholodilina, D.M. Muslyumova and others // Animal Husbandry and Fodder Production. 2018. Vol. 101. No. 1. P. 116-122.
16. The method of preparation of the feed additive for young cattle: Pat. 2634052 Ros. Federation / B.S. Nurzhanov, G.K. Duskayev, A.F. Rysaev et al. Claims 18.11.16: publ. 23.10.17. Bul. No. 30.
17. Mineral fat feed supplement for cattle: Pat. 2500174 Ros. Federation / B.H. Galiev, N.M. Shirnina, O.N. Shirnina et al. Claims 14.08.12; publ. 10.12.13. Bul. No. 34.
18. Morphobiochemical indicators of blood of bulls, kept on diets with inclusion of a complex of highly disperse metals / M.Ya. Kurilkina, T.N. Kholodilina, D.M. Muslyumova and others // Animal Husbandry and Fodder Production. 2018. Vol. 101. No. 2. P. 131-136.
19. Chuluunbat O. Correction of alimentary anemia of cattle of the Mongol and Kalmyk breeds with «stone oil» // Scientific problems and technological aspects of the modernization of the agro-industrial complex and the development of rural areas of the Baikal region: materials of scientific-practical. conf., dedicated to the Day of Russian science and the 85th anniversary of the establishment of FSBEI of HE «Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippova». Ulan-Ude, 2016. P. 100-104.
20. Krasnoperov A.S., Malkov S.V. Influence of the feed additive based on silicon dioxide on the immunological parameters of calves c dyspepsia // Ecological and biological problems of using natural resources in agriculture: IV Intern. scientific-practical conf. young scientists and specialists. Yekaterinburg, 2018. P. 213-220.
21. Sadakova R.V. The use of diatomite in agriculture // Youth and Science. 2015. No. 2. P. 49.
22. Fisin V., Surai P. Natural minerals in animal and poultry feeding // Animal Husbandry of Russia. 2008. No. 9. P. 62-63.
23. Miroshnikov S.A., Sizova E.A. Nanomaterials in animal husbandry (review) // Herald of Beef Cattle Breeding. 2017. No. 3(99). P. 7-22.
24. Efficiency of «protected» fat in animal rations / S.A. Miroshnikov, A.I. Grechushkin, A.M. Miroshnikov, S.V. Lebedev // Bulletin of the Orenburg State University. 2005. No. 2 (Bioelementology). P. 47-49.
25. The effect of trace elements on the morphofunctional indicators of the thyroid gland / S.V. Notova, E.S. Barysheva, S.V. Lebedev, V.S. Polyakova, N.V. Malysheva, M.G. Korneev // Bulletin of the Orenburg State University. 2006. No. 2 (Bioelementology). P. 64-67.
26. Mineral status of the organism of animals against the background of different nutrient security / S.V. Lebedev, Sh.G. Rakhmatullin, A.I. Grechushkin, E.A. Sizova // Bulletin of the Orenburg State University. 2009. No. 6(100). P. 201-203.
27. Nesterov D.V., Sipailova O.Yu., Lebedev S.V. The effect of sulphate and microparticles of zinc on the exchange of toxic elements in the bone tissue of broiler chickens // Bulletin of the Orenburg State University. 2012. No. 6(142). P. 176-179.
28. Lebedev S.V., Barysheva E.S., Malysheva N.V. The degree of accumulation and peculiarities of the interaction of toxic and essential elements in the organism of laboratory animals (experimental studies) // Bulletin of the Orenburg State University. 2006. No. 2 (Bioelementology). P. 33-35.
29. Lebedev S.V. Peculiarities of influence of CD, I, SE and ZN microelements additional introduction into ration of laying hens on macroelementary structure of eggs // Bulletin of the Orenburg State University. 2009. No. 12(106). P. 96-98.
30. Indicators of non-specific adaptation reaction of laboratory animals with different levels of thyroid function / S.V. Miroshnikov, S.V. Lebedev, A.A. Barabash et al. // Bulletin of the Orenburg State University. 2011. No. 1(120). P. 141-143.

31. The elemental status of the organism of broiler chickens against the background of various concentrations of metabolizable energy in the diet / S.A. Miroshnikov, S.V. Lebedev, E.A. Sizova, Sh.G. Rakhmatullin // *Problems of biology of productive animals*. 2009. No. 3. P. 63-68.
32. Ebbinge B. Advanced technologies in feeding ruminants // *Chief Zootechnician*. 2007. No. 5. P. 25-27.
33. On the prospects of nanopreparations based on alloys of antagonist microelements (on the example of Fe and Co) / E.A. Sizova, S.A. Miroshnikov, S.V. Lebedev et al. // *Agricultural Biology*. 2016 51(4). P. 553-562.
34. Technogenic nanomaterials in agrobiocenoses: prospects and risks: monograph / E.A. Sizova, S.V. Notova, S.V. Lebedev, T.D. Deryabina, A.M. Korotkova, D.B. Kosyan, I.S. Miroshnikov, E.V. Yausheva, E.P. Miroshnikova, I.A. Gavrish, E.A. Rusakova, E.V. Sheyda. Orenburg: OGU, 2016. 248 c.
35. The role of insufficient copper in lipid synthesis and fatty-liver disease / Austin Morrell, Savannah Tallino, Lei Yu, Jason L. Burkhead // *IUBMB Life*. 2017. Apr. 69(4). P. 263-270. Published online 2017 Mar 8. doi: 10.1002/iub.1613.
36. Hill G.M. Minerals and mineral utilization in swine // *Sustainable swine nutrition* / L.I. Chiba, editor. Oxford, U.K.: Blackwell Publishing Ltd, 2013. P. 186-189.
37. McDowell L.R. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press, Inc., Harcourt Brace Jovanovich: San Diego, CA, USA, 1992.
38. Stahly T.S., Cromwell G.L., Monegue H.J. Effects of the dietary inclusion of copper and (or) antibiotics on the performance of weanling pigs // *Journal of Animal Science*. 1980. 51. P. 1347-1351.
39. Influence of dietary zinc oxide and copper sulfate on the gastrointestinal ecosystem in newly weaned piglets / O. Hojberg, N. Canibe, H.D. Poulsen, M.S. Hedemann, B.B. Jensen // *Appl Environ Microbiol*. 2005. 71. P. 2267-2277.
40. Gehlert D.R. Role of hypothalamic neuropeptide Y in feeding and obesity // *Neuropeptides*. 1999. 33. P. 329-338.
41. Effects of organic acids on growth performance, gastrointestinal pH, intestinal microbial populations and immune responses of weaned pigs / Z. Li, G. Yi, J. Yin, P. Sun, D. Li, C. Knight // *Asian Australas Journal Animal Science*. 2008. 21. P. 252-261.
42. Growth performance and intestinal morphology responses in early weaned pigs to supplementation of antibiotic-free diets with an organic copper complex and spray-dried plasma protein in sanitary and nonsanitary environments / J. Zhao, A.F. Harper, M.J. Estienne, K.E. Webb, Jr., A.P. McElroy, D.M. Denbow // *Journal of Animal Science*. 2007. 85. P. 1302-1310.
43. Chouinard-Watkins R., Plourde M. Fatty acid metabolism in carriers of apolipoprotein E epsilon 4 allele: is it contributing to higher risk of cognitive decline and coronary heart disease? // *Nutrients*. 2014. Oct 20. 6(10). P. 4452-4471. doi: 10.3390/nu6104452.
44. Wintergerst E.S., Maggini S., Hornig D.H. Contribution of selected vitamins and trace elements to immune function // *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2007. 51. P. 301-323.
45. Oluyinka Abiona Olukosi, Sandra van Kuijk, Yanming Han Copper and zinc sources and levels of zinc inclusion influence growth performance, tissue trace mineral content, and carcass yield of broiler chickens // *Poult Science Journal*. 2018. Nov. 97(11). P. 3891-3898.
46. Effect of complexed trace minerals on cumulus-oocyte complex recovery and in vitro embryo production in beef cattle / F.G. Dantas, S.T. Reese, R.V. Oliveira Filho, R.S. Carvalho, G.A. Franco, C.R. Abbott, R.R. Payton, J.L. Edwards, J.R. Russell, J.K. Smith, K.G. Pohler // *Journal of Animal Science*. 2019. Jan 14.
47. Prasad A.S., Oberleas D., Miller E.R. Biochemical effects of zinc deficiency: changes in activities of zinc-dependent enzymes and ribonucleic acid and deoxyribonucleic acid content of tissues // *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*. 1971. 77. P. 144-152.
48. Zinc-methionine improves growth performance of starter pigs / T.L. Ward, G.A. Asche, G.F. Louis, D.S. Pollman // *Journal of Animal Science*. 1996. 74(Suppl. 1). P. 182.

49. The effect of zinc oxide supplementation on the stability of the intestinal flora with special reference to composition of coliforms in weaned pigs / M. Katouli, L. Melin, M. Jensen-Waern, P. Walgren, R. Mollby // *Journal of Applied*. 1999. 87. P. 564-573.
50. Effect of pharmacological intakes of zinc and copper on growth performance, circulating cytokines and gut microbiota of newly weaned piglets challenged with coliform lipopolysaccharides / H. Namkung, J. Gong, H. Yu, C.F.M. de Lange // *Canadian Journal of Animal Science*. 2006. 86. P. 511-522.
51. Yausheva E., Miroshnikov S., Sizova E. Intestinal microbiome of broiler chickens after use of nanoparticles and metal salts // *Environmental science and pollution research international*. 2018. Jun. 25(18). P. 18109-18120. doi: 10.1007/s11356-018-1991-5. Epub 2018 Apr 24.
52. Comparative toxicity of nanoparticulate ZnO, bulk ZnO, and ZnCl₂ to a freshwater microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): the importance of particle solubility / N.M. Franklin, N.J. Rogers, S.C. Apte, G.E. Batley, G.E. Gadd, P.S. Casey // *Environmental Science & Technology*. 2007. 41. P. 8484-8490.
53. Mittal A.K., Chisti Y., Banerjee U.C. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts // *Biotechnology Advances*. 2013. 31(2). P. 346-356. doi: 10.1016/j.biotechadv.2013.01.003.
54. Kim B.Y.S., Rutka J.T., Chan W.C.W. Nanomedicine // *New England Journal of Medicine*. 2010. 363. P. 2434-2443. doi: 10.1056/NEJMr0912273.
55. Iskandarov M.I., Fedorov A.I., Iskandarova S.S. Study of the effect of highly dispersed metals on metabolic and hematological parameters in experimental animals // *Current State and Prospects for Research on Infectious and Protozoal Pathology of Animals, Fish and Bees: Materials of the Intern. scientific-practical conf. M., 2008*. P. 138-141.
56. Emerick R.J., Kayongo-Male H. Interactive effects of dietary silicon, copper and zinc in the rat // *Journal of Nutritional Biochemistry*. 1990. 1(1). P. 35-40.
57. Oberlis D., Harland B., Skalny A. The biological role of macro- and microelements in humans and animals. SPb.: Science, 2008. 544 p.
58. Pakholkov N., Luchka V., Dzen O. The influence of organic and inorganic forms of chromium on the cellulolytic and amylolytic activity of rumen microorganisms // *Peredgirie and girske zemleobstvo i tvarinnitstvo*. 2013. No. 55-1. P. 165-169.
59. Influence of various chromium compounds on physiological, morpho-biochemical parameters, and digestive enzymes activity in Wistar rats / S. Lebedev, I. Gavrish, E. Rusakova, O. Kvan, I. Gubaidullina // *Trace elements and electrolytes*, 2018. V. 35(4). P. 242-245. <https://doi.org/10.5414/TEX0155419>. Web of Science, Q3.
60. The effect of ultrafine chromium particles and chromium picolinate on hematological blood parameters of laboratory animals / S.V. Lebedev, I.A. Gavrish, O.V. Kvan, E.A. Rusakova, I.Z. Gubaidullina // *Technologies of living systems*. 2018. No. 4. P. 56-61. doi: 10.18127/j20700997-201804-07.
61. The activity of digestive enzymes and the number of digestive juices in calves when used in the diet of different quality protein / G.I. Levakhin, I.S. Miroshnikov, V.A. Ryazanov, V.V. Grechkina // *Herald of Orenburg State Agrarian University*. 2018. No. 6(74). P. 244-248.
62. The impact of ultrafine chromium particles of different dosages on the elemental status of broiler chickens / I.Z. Gubaidullina, I.A. Gavrish, I.V. Markova, A.S. Mustafina // *Herald of Orenburg State Agrarian University*. 2018. No. 6(74). P. 263-266.
63. The effect of various sources of protein in the diet on the absorption of nutrients in the gastrointestinal tract of an animal / S.V. Lebedev, I.V. Markova, G.I. Levakhin, I.Z. Gubaidullina, E.V. Sheyda // *Herald of Orenburg State Agrarian University*. 2018. No. 6(74). P. 205-208.
64. Effect of chromium nanoparticles on digestive enzymes activity and morphological and biochemical parameters of calf blood / S.V. Lebedev, O.V. Kvan, I.Z. Gubaidullina, I.A. Gavrish, V.V. Grechkina, B. Momčilović, N.I. Ryabov // *Animal Husbandry and Fodder Production*. Vol. 101. No. 4. P. 136-142.
65. Digestion of nutrients in different sections of the gastrointestinal tract depending on protein quality in the calves diet / S.V. Lebedev, O.V. Kvan, E.V. Sheyda, I.V. Markova, I.Z. Gubaidullina, V.V. Grechkina, V.L. Korolyov // *Animal Husbandry and Fodder Production*. Vol. 101. No. 4. P. 158-163.

66. Kuznetsov S.G., Kalashnik V.I. The efficiency of the use of premixes in the feeding of dairy cows // Zootekhniya. 2002. No. 2. P. 14-18.

67. Krokhina V.A., Ilyukhina L.A., Khrenov A.A. Compound feed, additives and premixes in feeding highly productive cows // New in feeding highly productive animals. M.: Agropromizdat, 1989. P. 65-73.

Нуржанов Баер Серекпаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-79, e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Левахин Юрий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-79, e-mail: vniims.or@mail.ru

Рязанов Виталий Александрович, научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-79, e-mail: vniims.or@mail.ru, vita7456@yandex.ru

Джуламанов Ержан Брэлевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции мясного скота ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

Поберухин Михаил Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-78

Поступила в редакцию 28 февраля 2019 года