

БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 639.3.043:577.17

doi:10.33284/2658-3135-105-4-49

Влияние фитобиотиков на обмен эссенциальных элементов в организме рыб

Елена Петровна Мирошникова¹, Азамат Ерсайнович Аринжанов², Юлия Владимировна Килякова³

^{1,2,3}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

²arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

³fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

Аннотация. В работе представлены результаты исследований влияния фитобиотиков Пробиоцид®-Фито (ООО «БИОТРОФ», Россия), Интебио (ООО «БИОТРОФ», Россия), Бутитан (ООО «СИВЕТРА-АГРО», Россия) на обмен эссенциальных элементов в мышечной ткани рыб. Установлено, что введение в рацион рыб исследуемых фитобиотиков сопряжено с изменением концентрации эссенциальных элементов в мышечной ткани рыб. При введении в рацион фитобиотика Бутитана отмечено достоверное повышение концентрации кальция на 135% ($P \leq 0,001$), калия – на 46% ($P \leq 0,05$), магния – на 30% ($P \leq 0,05$), фосфора – на 57,8% ($P \leq 0,01$), меди – на 93,7% ($P \leq 0,01$), никеля – на 200% ($P \leq 0,01$), ванадия – на 133% ($P \leq 0,05$), марганца – на 108% ($P \leq 0,01$), кобальта – на 100% ($P \leq 0,01$) и цинка – на 55,8% ($P \leq 0,01$) относительно контрольных значений. При включении в рацион фитобиотика Интебио установлено повышение кальция на 51% ($P \leq 0,05$), меди – на 88,6% ($P \leq 0,01$), никеля – на 200% ($P \leq 0,01$), ванадия – на 100% ($P \leq 0,05$), марганца – на 45,6% ($P \leq 0,05$) и йода – на 166% ($P \leq 0,01$). Присутствие фитобиотика Пробиоцид®-Фито в рационе рыб способствовало достоверному повышению в мышечной ткани кальция на 58,6% ($P \leq 0,01$), меди – на 54,4% ($P \leq 0,05$), никеля – на 200% ($P \leq 0,01$), ванадия – на 166% ($P \leq 0,001$), марганца – на 45,6% ($P \leq 0,05$). Повышение ряда эссенциальных элементов происходило на фоне снижения концентрации бора, кремния, лития и может быть связано с антагонистическими взаимодействиями между ионами металлов и составляющих рацион компонентов, которые могут выступать в качестве конкурента для комплексообразования металлов.

Ключевые слова: рыбы, кормление, фитобиотики, фитобиотические препараты, микроэлементы, элементный статус

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-26-00281.

Для цитирования: Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., Килякова Ю.В. Влияние фитобиотиков на обмен эссенциальных элементов в организме рыб // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 49-58. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-49>

BIOELEMENTOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND CROP PRODUCTION

Original article

Influence of phytobiotics on the exchange of essential elements in the body of fish

Elena P Miroshnikova¹, Azamat E Arinzhanov², Yulia V Kilyakova³

^{1,2,3}Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

²arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

³fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

Abstract. The paper presents the results of studies of the effect of phytobiotics Probiocid®-Phyto (LLC BIOTROF, Russia), Intebio (LLC BIOTROF, Russia), Butitan (LLC SIVETRA-AGRO, Russia) on

the exchange of essential elements in the muscle tissue of fish. It has been established that the introduction of the studied phytobiotics into the diet of fish is associated with a change in the concentration of essential elements in the muscle tissue of fish. With the introduction of the phytobiotic Butitan into the diet, a significant increase in the concentration of calcium was noted by 135% ($P \leq 0.001$), potassium - by 46% ($P \leq 0.05$), magnesium - by 30% ($P \leq 0.05$), phosphorus - by 57.8% ($P \leq 0.01$), copper - by 93.7% ($P \leq 0.01$), nickel - by 200% ($P \leq 0.01$), vanadium - by 133% ($P \leq 0.05$), manganese - by 108% ($P \leq 0.01$), cobalt - by 100% ($P \leq 0.01$) and zinc - by 55.8% ($P \leq 0.01$) relative to the control values. When the phytobiotic Intebio was included in the diet, an increase in calcium was found by 51% ($P \leq 0.05$), copper - by 88.6% ($P \leq 0.01$), nickel - by 200% ($P \leq 0.01$), vanadium - by 100% ($P \leq 0.05$), manganese - by 45.6% ($P \leq 0.05$) and iodine - by 166% ($P \leq 0.01$). The presence of the phytobiotic Probiocide®-Phyto in the diet of fish contributed to a significant increase in calcium in muscle tissue by 58.6% ($P \leq 0.01$), copper - by 54.4% ($P \leq 0.05$), nickel - by 200% ($P \leq 0.01$), vanadium - by 166% ($P \leq 0.001$), manganese - by 45.6% ($P \leq 0.05$). An increase in a number of essential elements occurred together with a decrease in the concentration of boron, silicon, and lithium and may be associated with antagonistic interactions between metal ions and components of the diet, which can act as a competitor for metal complexation.

Keywords: fish, nutrition, phytobiotics, phytobiotic preparations, trace elements, elemental status

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-26-00281.

For citation: Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Influence of phytobiotics on the exchange of essential elements in the body of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):49-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-49>

Введение.

Фитобиотики, также известные как фитохимические вещества или фитопрепараты, обладают широким спектром биологической активности и стали альтернативами антибиотикам во многих странах в связи с запретом последних в кормлении животных (Holanda DM et al., 2021).

Многочисленными исследованиями установлен стимулирующий эффект фитобиотиков на продуктивность животных за счёт улучшения переваривания и всасывания питательных веществ корма с усилением функций кишечника и активации антиоксидантных защитных систем организма (Tedeschi LO et al., 2021; Kikusato M, 2021).

Фитобиотики могут иметь в своем составе эфирные масла, фенольные соединения, дубильные вещества, алкалоиды, полипептиды, полисахариды. Они способны индуцировать иммуномодулирующие и антистрессовые функции, стимулировать аппетит, а также обладают потенциалом ингибировать патогенные бактерии (Ren H et al., 2019; Estaiano de Rezende RA et al., 2021).

В настоящее время механизмы действия фитобиотиков на элементный статус установлены в основном для животных (Дускаев Г.К. и др., 2019) и птицы (Багиров В.А. и др., 2018), а в области аквакультуры такие работы единичны (Negisho T et al., 2020; da Silva Pierri B et al., 2021).

Цель исследования.

Оценить влияние фитобиотиков Пробиоцид®-Фито, Интебио и Бутитан на обмен эссенциальных элементов в мышечной ткани рыб.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Годовики карпа ропшинской породы, выращенные в условиях ООО «Ирикля-рыба».

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследо-

ваний были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования выполнены в условиях аквариумного стенда на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета. Для эксперимента было отобрано 120 рыб и методом пар-аналогов сформированы 4 группы (n=30). Рыбы контрольной группы получали основной рацион (ОР) – комбикорм «КРК-110» (ОАО «Оренбургский кормовой завод», Россия). Опытные группы получали дополнительно в рацион фитобиотики: I опытная – ОР+Бутитан (ООО «СИВЕТРА-АГРО», Россия) дозой 0,5 г/кг корма, II – ОР+ Интебио (ООО «БИОТРОФ», Россия) дозой 0,5 г/кг корма, III – ОР+ Пробиоцид®-Фито (ООО «БИОТРОФ», Россия) дозой 2 г/кг корма.

Оборудование и технические средства. Элементный состав мышечной ткани рыб был изучен в испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины», г. Москва (Registration Certificate of ISO 9001:2000, Number 4017 – 5.04.06) с использованием атомно-эмиссионной (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрии (МС-ИСП). Озольнение биосубстратов проводилось с использованием микроволновой системы разложения MD-2000. Оценка содержания элементов в полученной золе осуществлялась с использованием масс-спектрометра Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и атомно-эмиссионного спектрометра Optima 2000 V (Perkin Elmer, США).

Статистическая обработка. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Данные представлены в виде: среднее (M) ± стандартная ошибка среднего (m). Определение достоверности различий определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

В результате экспериментальных исследований установлено, что введение в рацион рыб фитобиотических кормовых добавок сопряжено с изменением концентрации химических элементов в мышечной ткани рыб. В частности, при введении в рацион фитобиотика Бутитана установлено достоверное повышение пула макроэлементов: кальция – на 135 % ($P \leq 0,001$), фосфора – на 57,8 % ($P \leq 0,01$), калия – на 46 % ($P \leq 0,05$) и магния – на 30 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольных значений (рис. 1). При введении фитобиотиков Интебио и Пробиоцид®-Фито отмечено повышение только кальция на 51 % ($P \leq 0,05$) и 58,6% ($P \leq 0,01$) соответственно.

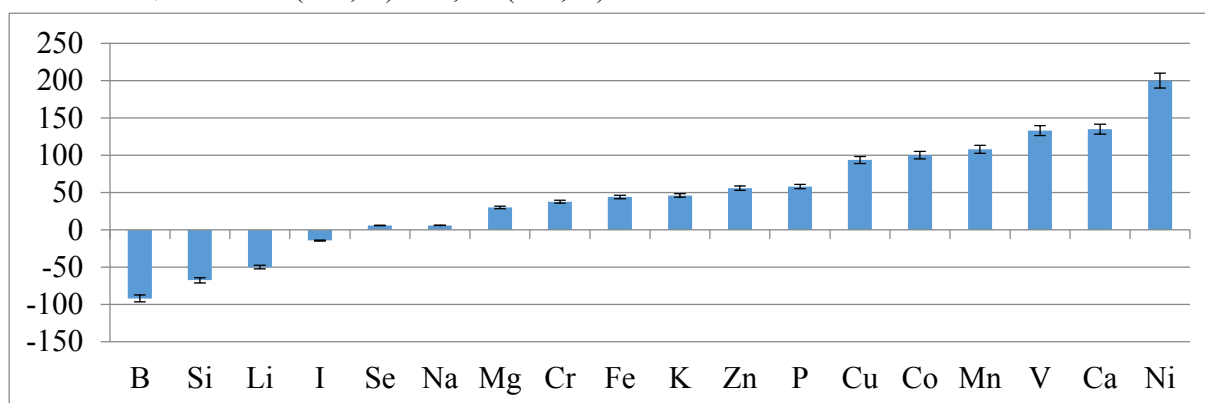


Рис. 1 – Уровень эссенциальных элементов в мышечной ткани рыб I опытной группы относительно контроля, %

Figure 1 – The level of essential elements in the muscle tissue of fish from the I experimental group relative to the control, %

Анализ концентрации эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов выявил определённые закономерности. Добавление в рацион рыб исследуемых фитобиотиков сопровождалось достоверным увеличением концентрации меди, никеля, ванадия, марганца на фоне снижения концентрации бора, кремния и лития.

Так, при добавлении в рацион Бутитана в мышечной ткани рыб зафиксировано повышение пула никеля на 200 % ($P \leq 0,01$), ванадия – на 133 % ($P \leq 0,05$), марганца – на 108 % ($P \leq 0,01$), меди – на 93,7 % ($P \leq 0,01$) на фоне снижения пула бора на 92 % ($P \leq 0,001$), кремния – на 67,7 % ($P \leq 0,01$), лития – на 50 % ($P \leq 0,01$) относительно контрольных значений (рис. 1). Кроме того, в данной группе наблюдали повышение Co на 100 % ($P \leq 0,01$) и Zn – на 55,8 % ($P \leq 0,01$).

При включении в рацион фитобиотика Интебио установлено повышение меди на 88,6 % ($P \leq 0,01$), никеля – на 200 % ($P \leq 0,01$), ванадия – на 100 % ($P \leq 0,05$), марганца – на 45,6 % ($P \leq 0,05$), а также йода – на 166 % ($P \leq 0,01$) и отмечено снижение концентрации бора на 90 % ($P \leq 0,001$), кремния – на 70 % ($P \leq 0,001$), лития – на 80 % ($P \leq 0,01$) и хрома – на 50 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольных значений (рис. 2).

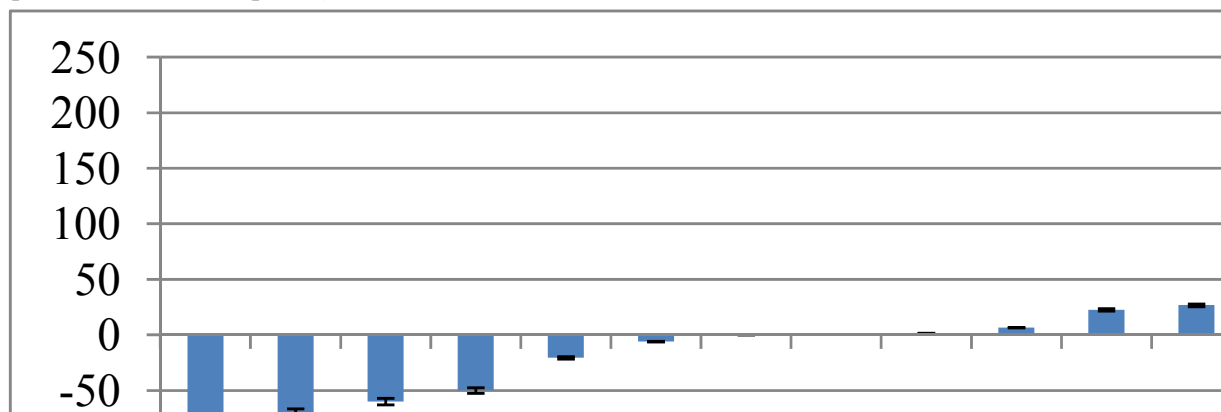


Рис. 2 – Уровень эссенциальных элементов в мышечной ткани рыб II опытной группы относительно контроля, %

Figure 2 – The level of essential elements in the muscle tissue of fish from the II experimental group relative to the control, %

Присутствие фитобиотика Пробиоцид®-Фито в рационе рыб способствовало достоверному повышению в мышечной ткани меди на 54,4 % ($P \leq 0,05$), никеля – на 200 % ($P \leq 0,01$), ванадия – на 166 % ($P \leq 0,001$), марганца – на 45,6 % ($P \leq 0,05$), на фоне снижения бора на 94 % ($P \leq 0,001$), кремния – на 71 % ($P \leq 0,001$) и лития – на 80 % ($P \leq 0,01$) относительно контрольных значений (рис. 3).

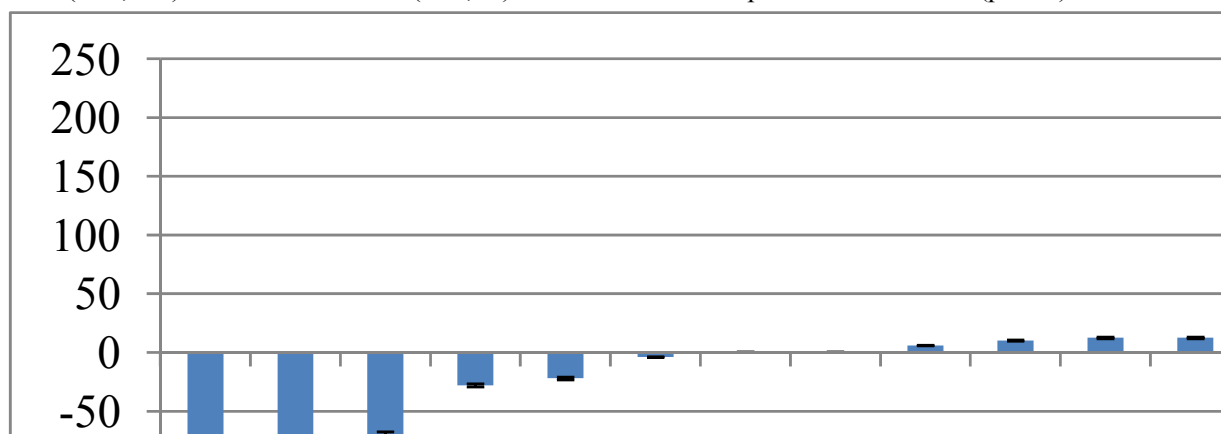


Рис. 3 – Уровень эссенциальных элементов в мышечной ткани рыб III опытной группы относительно контроля, %

Figure 3 – The level of essential elements in the muscle tissue of fish from the III experimental group relative to the control, %

Обсуждение полученных результатов.

Фитобиотики Интебио и Пробиоцид®-Фито, использованные в нашем исследовании, изготовлены на основе смеси эфирных масел и показали свою эффективность в качестве кормовых добавок в птицеводстве (Егоров И.А. и др., 2019) и свиноводстве (Багно О.А. и др., 2018; Белооков А.А. и др., 2021). Бутитан же продемонстрировал свою перспективность в кормлении птицы (Буряков Н.П. и др., 2021). В состав него входит экстракт древесины сладкого каштана *Castanea Sativa Mill.*, группа полифенольных соединений, богатых эллаговой и галловой кислотами, и бутират кальция.

Установлено, что биологически активные вещества фитобиотиков могут влиять на элементный статус животных, улучшая минеральный обмен в органах и тканях, и тем самым способствовать эффективному использованию питательных веществ в кормах (Мирошникова Е.П. и др., 2020). Существуют данные, что некоторые соединения фитопрепаратов способны хелатировать ионы переходных металлов (Kim SW et al., 2022).

Дефицит любого необходимого питательного вещества, в том числе и микроэлементов, может отрицательно сказаться на здоровье, нарушая метаболические функции и повышая восприимчивость к болезням (El-Sharawy ME et al., 2022). Минеральные вещества обладают структурной, физиологической, каталитической и регуляторной функциями у животных (Wang J and Wang WX, 2018). Макроэлементы играют важную роль в кислотно-щелочном балансе, структурных и регуляторных функциях. Микроэлементы служат компонентами ферментов, коферментов и гормонов (Espinosa CD and Stein HH, 2021).

В отличие от теплокровных животных, рыбы являются пойкилотермными, поэтому их температура тела и скорость метаболизма зависят от температуры воды, и это имеет практические последствия для кормления, обмена веществ и здоровья рыб (Assan D et al., 2021). Рыбы способны поддерживать тонкий баланс между тканевыми уровнями микроэлементов за счёт гомеостаза, интегрируя различные процессы поглощения и выведения (Negisho T et al., 2020).

Установленное нами повышение содержания кальция в мышечной ткани рыб можно связать с наличием данного элемента в самих препаратах. Повышение концентрации калия, магния и фосфора в I группе подтверждают данные о способности фитобиотиков влиять на баланс макроэлементов в теле гидробионтов (Dawood MAO et al., 2022).

Повышение концентрации марганца, никеля, меди и цинка согласуется с данными о способности фитопрепаратов влиять на биодоступность данных элементов для организма за счёт повышения эффективности абсорбции микроэлементов из корма (Багно О.А., и др., 2018; Yu X et al., 2018). Известно, что цинк и медь являются важными компонентами антимикробной защиты (Vesold AN et al., 2018; Scarpellini E et al, 2022). Медь и никель входят в состав ряда металлоферментов (Wang C et al, 2020). Медь играет большую роль в окислительно-восстановительных реакциях, транспорте кислорода, защите от окислительного стресса, включая клеточное дыхание (Wang P et al, 2020). Кроме того, медь активно участвует в развитии и функции Т- и В-клеток, нейтрофилов и макрофагов (Espinosa CD and Stein HH, 2021).

Выявленное же снижение бора, кремния, лития в мышечной ткани рыб может быть связано с антагонистическим взаимодействием между ионами металлов и составляющих рацион компонентов, которые могут выступать в качестве конкурента для комплексообразования металлов. Кроме того, снижение концентрации микроэлементов может быть обусловлено способностью компонентов фитопрепаратов, в частности эфирных масел, изменять проницаемость бактериальных мембран и высвободить ионы металлов.

Заключение.

Таким образом, включение в рацион рыб фитобиотиков Пробиоцид®-Фито, Интебио и Бутитан сопряжено с селективными изменениями обмена эссенциальных элементов в организме и способствует повышению в мышечной ткани ряда эссенциальных элементов: кальция, фосфора, меди, цинка, никеля, ванадия, марганца и кобальта.

Список источников

1. Включение экстракта *Quercus cortex* в рацион бройлеров изменяет их убойные показатели и биохимический состав мышечной ткани / В.А. Багиров, Г.К. Дускаев, Н.М. Казачкова, Ш.Г. Рахматуллин, Е.В. Яушева, Д.Б. Косян, Ш.А. Макаев, Х.Б. Дусаева // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т.53. № 4. С. 799-810. [Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of *Quercus cortex* extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2018;53(4):799-810. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799rus doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng
2. Влияние экстракта *Quercus cortex* и ультрадисперсных частиц Fe и Cu на обмен химических элементов в организме цыплят-бройлеров / Е.П. Мирошникова, О.В. Кван, Е.В. Шейда, Е.А. Русакова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2020. Т. 103. № 3. С. 24-35. [Miroshnikova EP, Kwan OV, Sheyda EV, Rusakova EA. Effect of *Quercus cortex* extract and ultrafine particles of Fe and Cu on the exchange of chemical elements in body of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(3):24-35. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-24
3. Замещение кормовых антибиотиков в рационах. Сообщение II. Микробиота кишечника и продуктивность мясных кур (*Gallus Gallus L.*) на фоне фитобиотика / И.А. Егоров, Т.А. Егорова, Т.Н. Ленкова, В.Г. Вертипрахов, В.А. Манукян, И.Н. Никонов, А.А. Грозина, В.А. Филиппова, Е.А. Ёылдырым, Л.А. Ильина, А.В. Дубровин, Г.Ю. Лаптев // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т.54. № 4. С. 798-809. [Egorov IA, Egorova TA, Lenkova TN, Vertiprakhov VG, Manukyuan VA, Nikonov IN, Grozina AA, Filippova VA, Yildirim EA, Ilyina LA, Dubrovin AV, Laptev GYu. Poultry diets without antibiotics. II. Intestinal microbiota and performance of broiler (*Gallus gallus L.*) breeders fed diets with a phytobiotic. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2019;54(4):798-809. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.798rus doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.798eng
4. Зоотехнические показатели выращивания цыплят-бройлеров при использовании в кормлении экстракта из древесины сладкого каштана / Н.П. Буряков, А.С. Заикина, М.А. Бурякова, М. Шаабан, А. Ю. Загарин // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2021. № 3(188). С. 3-12. [Buryakov NP, Zaikina AS, Buryakova MA, Shaaban M, Zagarin AYU. Live-stock indicators of broiler chickens rearing when use in feeding of sweet chestnut wood extract. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2021;3(188):3-12. (*In Russ.*)]. doi: 10.33920/sel-05-2103-01
5. Применение фитобиотиков в свиноводстве / А.А. Белооков, О.В. Белоокова, Е.В. Чухутин, О.В. Горелик // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2021. № 11(196). С. 50-56. [Belookov AA, Belookova OV, Chukhutina EV, Gorelik OV. The application of phytobiotics in pig breeding. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2021;11(196):50-56. (*In Russ.*)]. doi:10.33920/sel-05-2111-06
6. Способ снижения эндогенных потерь эссенциальных элементов (Co, I, Zn) из организма животных: пат. 2700617 Рос. Федерация / Г.К. Дускаев, С.А. Мирошников, О.Н. Кван, И.А. Гавриш, Ш.Г. Рахматуллин, Б.С. Нуржанов, Б.Г. Рогачёв, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов. Заявл. 15.06.2018; опубл. 18.09.2019, Бюл. № 26. [Duskaev GK, Miroshnikov SA, Kwan ON, Gavrish IA, Rakhmatullin ShG, Nurzhanov BS, Rogachev BG, Zavialov OA, Frolov AN. Sposob snizheniya endogennykh poter' essentsial'nykh elementov (Co, I, Zn) iz organizma zhiivotnykh: pat. 2700617 Ros. Federatsiya. Zayavl. 15.06.2018; opubl. 18.09.2019, Byul № 26. (*In Russ.*)].
7. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных / О.А. Багно, О.Н. Прохоров, С.А. Шевченко, А.И. Шевченко, Т.В. Дядичкина // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 4. С.687-697. [Bagno OA, Prokhorov ON, Shevchenko SA, Shevchenko AI, Dyadichkina TV. Use of phytobiotics in farm animal feeding. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2018;53(4):687-697. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.687rus doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.687eng

8. Assan D, Huang Y, Mustapha UF, Addah MN, Li G, Chen H. Fish feed intake, feeding behavior, and the physiological response of apelin to fasting and refeeding. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021;12:798903. doi: 10.3389/fendo.2021.798903
9. Besold AN, Gilston BA, Radin JN, Ramsomair C, Culbertson EM, Li CX, Cormack BP, Chazin WJ, Kehl-Fie TE, Culotta VC. Role of calprotectin in withholding zinc and copper from candida albicans. *Infect Immun*. 2018;86(2):e00779-17. doi: 10.1128/IAI.00779-17
10. da Silva Pierri B, Dafré AL, Silva AD, Cadorin DI, Mattos JJ, Bascunã V LAF, Pettigrew JE, Fracalossi DM. Dietary supplementation with increasing doses of an organic micromineral complex on juvenile Nile tilapia: Effects on the antioxidant defense system and tissue deposition. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2021;260:111039. doi: 10.1016/j.cbpa.2021.111039
11. Dawood MAO, El Basuini MF, Yilmaz S, Abdel-Latif HMR, Alagawany M, Kari ZA, Abdul Razab MKA, Hamid NKA, Moonmanee T, Van Doan H. Exploring the roles of dietary herbal essential oils in aquaculture: a review. *Animals (Basel)*. 2022;12(7):823. doi: 10.3390/ani12070823
12. El-Sharawy ME, Mahmoud AA, Soliman AA, Amer AA, Mahmoud MA, Alkafafy M, Dawood MAO. Studying the Influence of copper on the growth behavior, antioxidative status, and histology of the intestine and liver of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(3):1331-1338. doi: 10.1007/s12011-021-02717-y
13. Espinosa CD, Stein HH. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *J Anim Sci Biotechnol*. 2021;12(1):13. doi: 10.1186/s40104-020-00533-3
14. Estaiano de Rezende RA, Soares MP, Sampaio FG, Cardoso IL, Ishikawa MM, Lima Dal-lago BS, Rantin FT, Teixeira Duarte MC. Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish Shellfish Immunol*. 2021;114:293-300. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.010
15. Holanda DM, Kim YI, Parnsen W, Kim SW. Phytobiotics with adsorbent to mitigate toxicity of multiple mycotoxins on health and growth of pigs. *Toxins (Basel)*. 2021;13(7):442. doi: 10.3390/toxins13070442
16. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Anim Biosci*. 2021;34(3):345-353. doi: 10.5713/ab.20.0842
17. Kim SW, Kim DB, Kim HS. Neuroprotective effects of tannic acid in the postischemic brain via direct chelation of Zn²⁺. *Anim Cells Syst (Seoul)*. 2022;26(4):183-191. doi: 10.1080/19768354.2022.2113915
18. Negisho T, Gameda G, Du Laing G, Wakjira M, Janssens GPJ. Diversity in micromineral distribution within the body of ornamental fish species. *Biol Trace Elem Res*. 2020;197(1):279-284. doi: 10.1007/s12011-019-01983-1
19. Ren H, Vahjen W, Dadi T, Saliu EM, Boroogeni FG, Zentek J. Synergistic effects of probiotics and phytobiotics on the intestinal microbiota in young broiler chicken. *Microorganisms*. 2019;7(12):684. doi: 10.3390/microorganisms7120684
20. Scarpellini E, Balsiger LM, Maurizi V, Rinninella E, Gasbarrini A, Giostra N, Santori P, Abenavoli L, Rasetti C. Zinc and gut microbiota in health and gastrointestinal disease under the COVID-19 suggestion. *Biofactors*. 2022;48(2):294-306. doi: 10.1002/biof.1829
21. Tedeschi LO, Muir JP, Naumann HD, Norris AB, Ramírez-Restrepo CA, Mertens-Talcott SU. Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Front Vet Sci*. 2021;8:628445. doi: 10.3389/fvets.2021.628445
22. Wang C, Zhang R, Wei X, Lv M, Jiang Z. Metalloimmunology: The metal ion-controlled immunity. *Adv Immunol*. 2020;145:187-241. doi: 10.1016/bs.ai.2019.11.007
23. Wang J, Wang W-X. Understanding the micro-elemental nutrition in the larval stage of marine fish: A multi-elemental stoichiometry approach. *Aquaculture*. 2018;488:189-198. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.12.036
24. Wang P, Yuan Y, Xu K, Zhong H, Yang Y, Jin S, Yang K, Qi X. Biological applications of copper-containing materials. *Bioact Mater*. 2021;6(4):916-927. doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.09.017

25. Yu X, Han J, Li H, Zhang Y, Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *J Anim Sci Biotechnol.* 2018;9:73. doi: 10.1186/s40104-018-0289-2

References

1. Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of Quercus cortex extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2018;53(4):799-810. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng
2. Mirosnikova EP, Kwan OV, Sheyda EV, Rusakova EA. Effect of Quercus cortex extract and ultrafine particles of Fe and Cu on the exchange of chemical elements in body of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2020;103(3):24-35. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-24
3. Egorov IA, Egorova TA, Lenkova TN, Vertiprakhov VG, Manukyan VA, Nikonov IN, Grozina AA, Filippova VA, Yildirim EA, Ilyina LA, Dubrovin AV, Laptev GYu. Poultry diets without antibiotics. II. Intestinal microbiota and performance of broiler (*Gallus gallus* L.) breeders fed diets with a phytobiotic. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2019;54(4):798-809. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.798eng
4. Buryakov NP, Zaikina AS, Buryakova MA, Shaaban M, Zagarin AYu. Livestock indicators of broiler chickens rearing when use in feeding of sweet chestnut wood extract. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production.* 2021;3(188):3-12. doi: 10.33920/sel-05-2103-01
5. Belookov AA, Belookova OV, Chukhutin EV, Gorelik OV. The application of phytobiotics in pig breeding. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production.* 2021;11(196):50-56. doi: 10.33920/sel-05-2111-06
6. Duskaev GK, Mirosnikov SA, Kwan ON, Gavrish IA, Rakhmatullin ShG, Nurzhanov BS, Rogachev BG, Zavialov OA, Frolov AN. Method for reducing endogenous losses of essential elements (Co, I, Zn) from animals body: pat. 2700617 Rus. Federation. Applied for 15.06.2018; published 18.09.2019, Bulletin No. 26.
7. Bagno OA, Prokhorov ON, Shevchenko SA, Shevchenko AI, Dyadichkina TV. Use of phytobiotics in farm animal feeding. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2018;53(4):687-697. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.687eng
8. Assan D, Huang Y, Mustapha UF, Addah MN, Li G, Chen H. Fish feed intake, feeding behavior, and the physiological response of apelin to fasting and refeeding. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021;12:798903. doi: 10.3389/fendo.2021.798903
9. Besold AN, Gilston BA, Radin JN, Ramsomair C, Culbertson EM, Li CX, Cormack BP, Chazin WJ, Kehl-Fie TE, Culotta VC. Role of calprotectin in withholding zinc and copper from candida albicans. *Infect Immun.* 2018;86(2):e00779-17. doi: 10.1128/IAI.00779-17
10. da Silva Pierri B, Dafré AL, Silva AD, Cadorin DI, Mattos JJ, Bascunã V LAF, Pettigrew JE, Fracalossi DM. Dietary supplementation with increasing doses of an organic micromineral complex on juvenile Nile tilapia: Effects on the antioxidant defense system and tissue deposition. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2021;260:111039. doi: 10.1016/j.cbpa.2021.111039
11. Dawood MAO, El Basuini MF, Yilmaz S, Abdel-Latif HMR, Alagawany M, Kari ZA, Abdul Razab MKA, Hamid NKA, Moonmanee T, Van Doan H. Exploring the roles of dietary herbal essential oils in aquaculture: a review. *Animals (Basel)*. 2022;12(7):823. doi: 10.3390/ani12070823
12. El-Sharawy ME, Mahmoud AA, Soliman AA, Amer AA, Mahmoud MA, Alkafafy M, Dawood MAO. Studying the Influence of copper on the growth behavior, antioxidative status, and histology of the intestine and liver of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biol Trace Elem Res.* 2022;200(3):1331-1338. doi: 10.1007/s12011-021-02717-y

13. Espinosa CD, Stein HH. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2021;12(1):13. doi: 10.1186/s40104-020-00533-3
14. Estaiano de Rezende RA, Soares MP, Sampaio FG, Cardoso IL, Ishikawa MM, Lima Dal-lago BS, Rantin FT, Teixeira Duarte MC. Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish Shellfish Immunol.* 2021;114:293-300. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.010
15. Holanda DM, Kim YI, Parnsen W, Kim SW. Phytobiotics with adsorbent to mitigate toxicity of multiple mycotoxins on health and growth of pigs. *Toxins (Basel).* 2021;13(7):442. doi: 10.3390/toxins13070442
16. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Anim Biosci.* 2021;34(3):345-353. doi: 10.5713/ab.20.0842
17. Kim SW, Kim DB, Kim HS. Neuroprotective effects of tannic acid in the postis-chemic brain via direct chelation of Zn²⁺. *Anim Cells Syst (Seoul).* 2022;26(4):183-191. doi: 10.1080/19768354.2022.2113915
18. Negisho T, Gameda G, Du Laing G, Wakjira M, Janssens GPJ. Diversity in micro-mineral distribution within the body of ornamental fish species. *Biol Trace Elem Res.* 2020;197(1):279-284. doi: 10.1007/s12011-019-01983-1
19. Ren H, Vahjen W, Dadi T, Saliu EM, Borojoni FG, Zentek J. Synergistic effects of probiotics and phytobiotics on the intestinal microbiota in young broiler chicken. *Microorganisms.* 2019;7(12):684. doi: 10.3390/microorganisms7120684
20. Scarpellini E, Balsiger LM, Maurizi V, Rinninella E, Gasbarrini A, Giostra N, Santori P, Abe-navoli L, Rasetti C. Zinc and gut microbiota in health and gastrointestinal disease under the COVID-19 suggestion. *Biofactors.* 2022;48(2):294-306. doi: 10.1002/biof.1829
21. Tedeschi LO, Muir JP, Naumann HD, Norris AB, Ramírez-Restrepo CA, Mertens-Talcott SU. Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Front Vet Sci.* 2021;8:628445. doi: 10.3389/fvets.2021.628445
22. Wang C, Zhang R, Wei X, Lv M, Jiang Z. Metalloimmunology: The metal ion-controlled im-munity. *Adv Immunol.* 2020;145:187-241. doi: 10.1016/bs.ai.2019.11.007
23. Wang J, Wang W-X. Understanding the micro-elemental nutrition in the larval stage of marine fish: A multi-elemental stoichiometry approach. *Aquaculture.* 2018;488:189-198. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.12.036
24. Wang P, Yuan Y, Xu K, Zhong H, Yang Y, Jin S, Yang K, Qi X. Biological applications of copper-containing materials. *Bioact Mater.* 2021;6(4):916-927. doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.09.017
25. Yu X, Han J, Li H, Zhang Y, Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *J Anim Sci Biotechnol.* 2018;9:73. doi: 10.1186/s40104-018-0289-2

Информация об авторах:

Елена Петровна Мирошникова, доктор биологических наук, профессор, заведующий ка-федрой «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный уни-верситет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-987-862-98-86.

Азамат Ерсайнович Аринжанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

Юлия Владимировна Килякова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра «Био-технология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

Information about the authors:

Elena P Miroshnikova, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-987-862-98-86.

Azamat E Arinzhanov, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-922-806-33-43.

Yulia V Kilyakova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-961-920-40-64.

Статья поступила в редакцию 07.11.2022; одобрена после рецензирования 17.11.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 07.11.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication 12.12.2022.