

Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 21-34.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. Vol. 105, no 4. P. 21-34.

Научная статья

УДК 639.3.043:577.17

doi:10.33284/2658-3135-105-4-21

Влияние ультрадисперсных частиц сплава Cu-Zn и пробиотического штамма *Bacillus subtilis* на элементный статус стерляди

Азамат Ерсаинович Аринжанов¹

¹Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Аннотация. В работе представлены результаты исследований влияния ультрадисперсных частиц (УДЧ) сплава Cu-Zn и пробиотического штамма *Bacillus subtilis* на элементный статус стерляди (*Acipenser ruthenus*). Установлено, что включение в рацион *Bacillus subtilis* сопровождается повышением в мышечной ткани кальция на 131 % ($P \leq 0,05$), фосфора – на 74 % ($P \leq 0,05$), железа – на 28 % ($P \leq 0,05$), бора – на 100 % ($P \leq 0,05$), марганца – на 50,8 % ($P \leq 0,05$), никеля – на 95 % ($P \leq 0,05$), ванадия – на 100 % ($P \leq 0,05$), кобальта – на 100% ($P \leq 0,05$) и лития – на 133 % ($P \leq 0,01$), на фоне снижения концентрации меди на 36 % ($P \leq 0,05$) и хрома – на 33 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольных значений. При включении в рацион рыб УДЧ сплава Cu-Zn установлено повышение концентрации калия на 52 % ($P \leq 0,05$), магния – на 54,6 % ($P \leq 0,05$), фосфора – на 130 % ($P \leq 0,001$), кальция – на 234 % ($P \leq 0,01$) кремния – на 50,3 % ($P \leq 0,05$), цинка – на 58 % ($P \leq 0,05$), меди – на 24 % ($P \leq 0,05$), бора – на 200 % ($P \leq 0,01$), марганца – на 219 % ($P \leq 0,001$), никеля – на 230 % ($P \leq 0,001$), кобальта – на 100 % ($P \leq 0,05$), ванадия – на 200 % ($P \leq 0,01$) и лития – на 266 % ($P \leq 0,001$) относительно контрольных значений. При совместном введении в рацион УДЧ Cu-Zn и *Bacillus subtilis* констатировали повышение уровня калия на 46 % ($P \leq 0,05$), магния – на 54,2 % ($P \leq 0,05$), фосфора – на 126,7 % ($P \leq 0,001$), кальция – на 220 % ($P \leq 0,01$), бора – на 42,3 % ($P \leq 0,05$), марганца – на 139,3 % ($P \leq 0,01$), никеля – на 155 % ($P \leq 0,01$), ванадия – на 100 % ($P \leq 0,05$), кобальта – на 100 % ($P \leq 0,05$) и лития – на 66,6 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольных значений. В ходе исследований установлена способность исследуемых добавок снижать концентрацию токсических элементов, таких как алюминий, мышьяк и ртуть.

Ключевые слова: рыба, кормление, микроэлементы, *Bacillus subtilis*, медь, цинк

Для цитирования: Аринжанов А.Е. Влияние ультрадисперсных частиц сплава Cu-Zn и пробиотического штамма *Bacillus subtilis* на элементный статус стерляди // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 21-34. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-21>

Original article

Effect of ultrafine particles of Cu-Zn alloy and probiotic strain *Bacillus subtilis* on the elemental status of sterlet

Azamat E Arinzhanov¹

¹Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Abstract. The paper presents the results of studies of the effect of ultrafine particles (UFP) of the Cu-Zn alloy and the probiotic strain *Bacillus subtilis* on the elemental status of the sterlet (*Acipenser ruthenus*). It has been found that the *Bacillus subtilis* inclusion in the diet is accompanied by an increase in calcium by 131% ($P \leq 0.05$), phosphorus by 74% ($P \leq 0.05$), iron by 28% ($P \leq 0.05$), boron 100%

($P \leq 0.05$), manganese 50.8% ($P \leq 0.05$), nickel 95% ($P \leq 0.05$), vanadium 100% ($P \leq 0.05$), cobalt by 100% ($P \leq 0.05$) and lithium by 133% ($P \leq 0.01$) in muscle tissue, against the background of a decrease in the concentration of copper by 36% ($P \leq 0.05$) and chromium by 33% ($P \leq 0.05$), relative to control values. An increase was found in the concentration of potassium by 52% ($P \leq 0.05$), magnesium by 54.6% ($P \leq 0.05$), phosphorus by 130% ($P \leq 0.001$), calcium by 234% ($P \leq 0.01$), silicon by 50.3% ($P \leq 0.05$), zinc by 58% ($P \leq 0.05$), copper by 24% ($P \leq 0.05$), boron by 200% ($P \leq 0.01$), manganese by 219% ($P \leq 0.001$), nickel by 230% ($P \leq 0.001$), cobalt by 100% ($P \leq 0.05$), vanadium by 200% ($P \leq 0.01$) and lithium by 266% ($P \leq 0.001$), relative to the control values, when UFP of Cu-Zn alloy was included in the diet of fish. We stated an increase in the level of potassium by 46% ($P \leq 0.05$), magnesium by 54.2% ($P \leq 0.05$), phosphorus by 126.7% ($P \leq 0.001$), calcium by 220% ($P \leq 0.01$), boron by 42.3% ($P \leq 0.05$), manganese by 139.3% ($P \leq 0.01$), nickel by 155% ($P \leq 0.01$), vanadium by 100% ($P \leq 0.05$), cobalt by 100% ($P \leq 0.05$) and lithium by 66.6% ($P \leq 0.05$), relative to the control values, with the joint introduction of Cu-Zn UFP and *Bacillus subtilis* into the diet. In the course of research, the ability of the studied additives to reduce the concentration of toxic elements such as aluminum, arsenic and mercury was established.

Keywords: fish, feeding, trace elements, *Bacillus subtilis*, copper, zinc

For citation: Arinzhonov AE. Effect of ultrafine particles of Cu-Zn alloy and probiotic strain *Bacillus subtilis* on the elemental status of sterlet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):21-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-21>

Введение.

В настоящее время для стимулирования продуктивности животных и рыбы в качестве биодобавок применяют различные препараты и соединения, в том числе пробиотики (Abd El-Hack ME et al., 2020; El-Saadony MT et al., 2021a) и микроэлементы в ультрадисперсной форме (Sizova E et al., 2020; El-Saadony MT et al., 2021a). Пробиотические препараты уже показали свою эффективность в кормлении гидробионтов и в целом они играют большую роль в развитии аквакультуры (Sumon MAA et al., 2022). Введение пробиотиков в рацион повышает иммунный статус, продуктивность и сохранность рыб (Ringø E et al., 2020; Callaway TR et al., 2021), увеличивает активность пищеварительных ферментов и положительно влияет на микробиоценоз кишечника рыб за счёт продукции антибиотических веществ, препятствующих росту численности патогенов (Liu H et al., 2018).

Ультрадисперсные частицы (УДЧ) металлов обладают рядом свойств, такие как малый размер (Youssef FS et al., 2019), высокая биодоступность (Youssef FS et al., 2019; Hidayat C et al., 2021), скорость поглощения, более низкий антагонизм, высокая площадь поверхности и физическая реактивность (Patra A and Lalhriatpuii M, 2020; Michalak I et al., 2022), которые открывают широкие перспективы в кормопроизводстве (Abdollahi M et al., 2020). Включение УДЧ сопряжено с повышением продуктивности животных (Bakowski M et al., 2018; Mohd Yusof H et al., 2019) и улучшением физиологического состояния (Dawood MAO et al., 2021). Существуют данные, что медь и цинк в ультрадисперсной форме обладают антибактериальными, противовирусными, антипротозойными и антиоксидантными свойствами (Mohd Yusof H et al., 2019; Morsy EA et al., 2021; Hidayat C et al., 2021).

В настоящее время в области кормления животных отмечена перспективность совместного использования пробиотических препаратов с микроэлементами в ультрадисперсной форме, так как применение пробиотических штаммов сопряжено с биодоступностью отдельных минеральных веществ для организма хозяина (Мирошникова Е.П., и др., 2020).

Цель исследования.

Изучить влияние ультрадисперсных частиц сплава Cu-Zn и пробиотического штамма *Bacillus subtilis* на элементный статус стерляди.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Молодь стерляди (*Acipenser ruthenus*) массой 80-90 г, выращенная в условиях ООО «Оренбургский осётр».

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

Схема эксперимента. Исследования выполнены на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета в 2021 г. Для эксперимента методом пар-аналогов было сформировано 4 группы (n=15). Рыбы контрольной группы получали основной рацион (ОР) – сбалансированный по питательным веществам комбикорм для осетровых рыб и содержащий 54 % белка, I опытная группа – ОР с добавлением пробиотического штамма *Bacillus subtilis* (дозировка 25 мг/кг корма), II опытная – ОР с УДЧ сплава Cu-Zn (2,84 мг/кг корма), III опытная – ОР+*Bacillus subtilis* (25 мг/кг корма)+УДЧ сплава Cu-Zn (2,84 мг/кг корма). Продолжительность эксперимента составила 45 суток.

Пробиотический штамм *Bacillus subtilis* – основа пробиотического препарата Ветом 1.1. (свидетельство госрегистрации №: 35/35-Д1-5.3/00248 № КГМ-Д1-1.8/0089 от 25.10.2013 г.); ООО НПФ «Исследовательский центр», г. Новосибирск) с содержанием клеток *Bacillus subtilis* не менее 1×10^9 КОЕ.

УДЧ сплава Cu-Zn (40 %:60 %) получены методом плазмохимического синтеза ($d=55 \pm 15$ нм; $\zeta=31 \pm 0,1$ мВ, $S_{уд}=9 \pm 0,8$ м²/г) (ООО «Передовые порошковые технологии», г. Томск).

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. 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 исследований установлено, что включение в рацион рыб УДЧ сплава Cu-Zn и пробиотического штамма *Bacillus subtilis* как совместно, так и отдельно сопряжено с изменением концентрации химических элементов в мышечной ткани стерляди (табл. 1).

В частности, сравнительный анализ химического состава мышечной ткани показал повышение содержания макроэлементов при введении в рацион рыб исследуемых добавок относительно контрольной группы. Так, в группе с добавлением в рацион *Bacillus subtilis* отмечено достоверное повышение в мышечной ткани кальция и фосфора на 131 % ($P \leq 0,05$) и 74 % ($P \leq 0,05$) соответственно (рис. 1). При включении в рацион рыб УДЧ сплава Cu-Zn наблюдали повышение концентрации калия на 52 % ($P \leq 0,05$), магния – на 54,6 % ($P \leq 0,05$), фосфора – на 130 % ($P \leq 0,001$) и кальция – на 234 % ($P \leq 0,01$) (рис. 2). При совместном введении в рацион УДЧ Cu-Zn и *Bacillus subtilis* констатировали повышение калия на 46 % ($P \leq 0,05$), магния – на 54,2 % ($P \leq 0,05$), фосфора – на 126,7 % ($P \leq 0,001$) и кальция – на 220 % ($P \leq 0,01$) (рис. 3).

Таблица 1. Концентрация химических элементов в мышечной ткани рыб, (M±m), мкг/г
Table 1. The concentration of chemical elements in the muscle tissue of fish, (M±m), mcg/g

Элемент/ <i>Element</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контроль / <i>Control</i>	I	II	III
Макроэлементы / <i>Macroelements</i>				
Ca	3731±373	8636 ± 516*	12468 ± 647**	11942 ± 613**
P	3418 ± 342	5958 ± 396*	7863 ± 486***	7748 ± 575***
K	2171± 210	2207 ± 221	3301 ± 230**	3168 ± 317*
Na	1654 ± 165	1693 ± 169	2026 ± 203	1820 ± 182
Mg	249 ± 25	290 ± 29	385 ± 38*	384 ± 36*
Эссенциальные и условно-эссенциальные элементы / <i>Essential and conditionally essential elements</i>				
Zn	15,57±1,56	17,63±1,76	24,6±2,46*	17,19±1,72
Cu	1,17±0,12	0,75±0,091*	1,45±0,078*	0,99±0,075
Fe	15,56±1,56	19,91±1,99*	18,15±1,81	16,72±1,67
Si	13,77±1,38	8,98±0,9	20,69±2,07*	10,59±1,06
Mn	0,61±0,074	0,92±0,111*	1,95±0,2***	1,46±0,15**
I	0,16±0,019	0,16±0,02	0,17±0,02	0,13±0,014
B	0,07±0,011	0,14±0,016*	0,21±0,025**	0,1±0,012
Cr	0,06±0,009	0,04±0,006*	0,07±0,011	0,04±0,006*
Ni	0,2±0,024	0,39±0,047*	0,66 ± 0,5***	0,51±0,061**
Se	0,12±0,015	0,12±0,014	0,12±0,014	0,11±0,013
V	0,02±0,003	0,04±0,005*	0,06±0,009**	0,04±0,005*
Co	0,01±0,0019	0,02±0,003*	0,02±0,004*	0,02±0,003
Li	0,011±0,0005	0,029±0,002**	0,040±0,002***	0,018±0,001*
Токсические элементы / <i>Toxic microelements</i>				
Al	9,22±0,92	3,91±0,39**	1,94±0,19***	1,56±0,16***
As	0,82±0,098	0,28±0,034***	0,48±0,058*	0,46±0,055*
Sr	7,43±0,74	17,9±4,79	8,98±1,4	9,1±2,31
Pb	0,01±0,002	0,008±0,0017	0,007±0,0014	0,007±0,0013
Hg	0,02±0,002	0,01±0,002*	0,01±0,001*	0,01±0,002*
Cd	0,003±0,0005	0,004±0,0014	0,004±0,002	0,004±0,0003
Sn	0,08±0,013	0,14±0,017	0,05±0,008	0,06±0,009

Примечание: * – P ≤ 0,05; ** – P ≤ 0,01; *** – P ≤ 0,001

Note: * – P ≤ 0.05; ** – P ≤ 0.01; *** – P ≤ 0.001

Установлено достоверное изменение пула целого ряда эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов. В I группе зафиксировано достоверное повышение железа на 28 % (P≤0,05), бора – на 100 % (P≤0,05), марганца – на 50,8 % (P≤0,05), никеля – на 95 % (P≤0,05), ванадия – на 100 % (P≤0,05), кобальта – на 100% (P≤0,05) и лития – на 133 % (P≤0,01), на фоне снижение концентрации меди на 36 % (P≤0,05) и хрома – на 33 % (P≤0,05).

Во II группе установлено повышение кремния на 50,3 % (P≤0,05), цинка – на 58 % (P≤0,05), меди – на 24 % (P≤0,05), бора – на 200 % (P≤0,01), марганца – на 219 % (P≤0,001), никеля – на 230 % (P≤0,001), кобальта – на 100 % (P≤0,05), ванадия – на 200 % (P≤0,01) и лития – на 266 % (P≤0,001).

В III группе наблюдали повышение концентрации бора на 42,3 % (P≤0,05), марганца – на 139,3 % (P≤0,01), никеля – на 155 % (P≤0,01), ванадия – на 100 % (P≤0,05), кобальта – на 100 % (P≤0,05) и лития – на 66,6 % (P≤0,05).

В ходе исследований установлена способность исследуемых добавок снижать концентрацию токсических элементов: Al, As, Hg. Так, в I группе отмечено снижение алюминия на 57,6 % ($P \leq 0,01$), мышьяка – на 65,8 % ($P \leq 0,001$) и ртути – на 50 % ($P \leq 0,05$), во II группе – на 79 % ($P \leq 0,001$), 41,5 % ($P \leq 0,05$) и 50 % ($P \leq 0,05$), в III группе – на 83,1 % ($P \leq 0,001$), 44 % ($P \leq 0,05$) и 50 % ($P \leq 0,05$) соответственно, относительно контрольных значений.

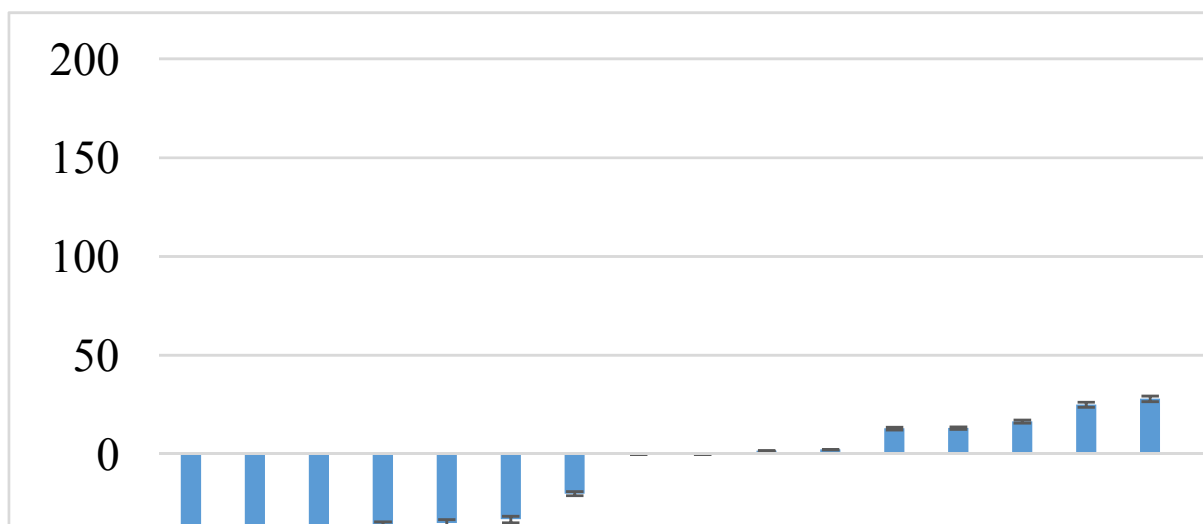


Рис. 1 – Концентрация химических элементов в мышечной ткани рыб I опытной группы относительно контроля, %

Figure 1 – The concentration of chemical elements in the muscle tissue of fish of the I experimental group relative to the control, %

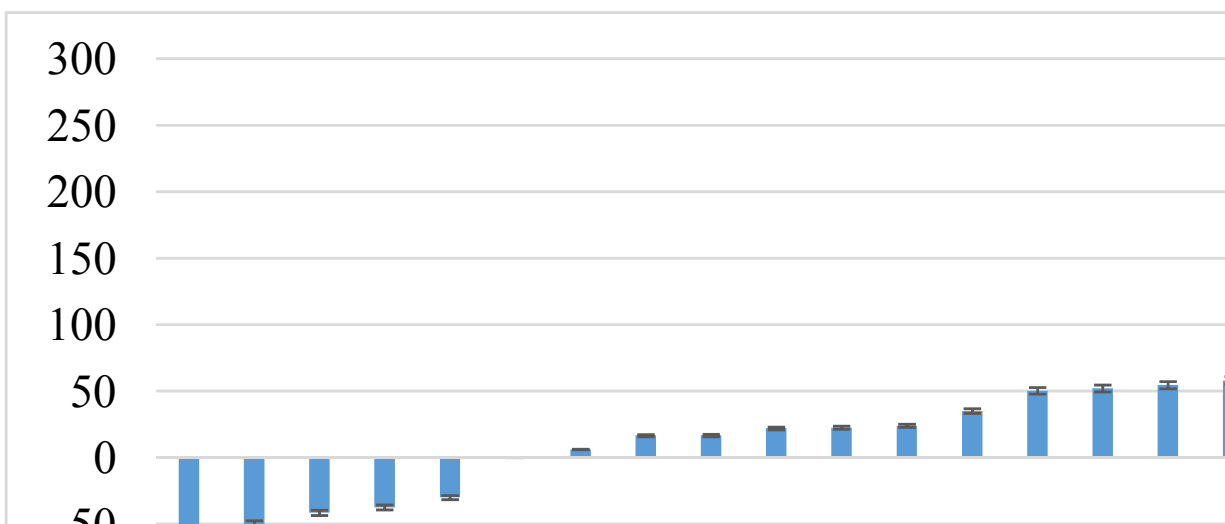


Рис. 2 – Концентрация химических элементов в мышечной ткани рыб II опытной группы относительно контроля, %

Figure 2 – The concentration of chemical elements in the muscle tissue of fish of the II experimental group relative to the control, %

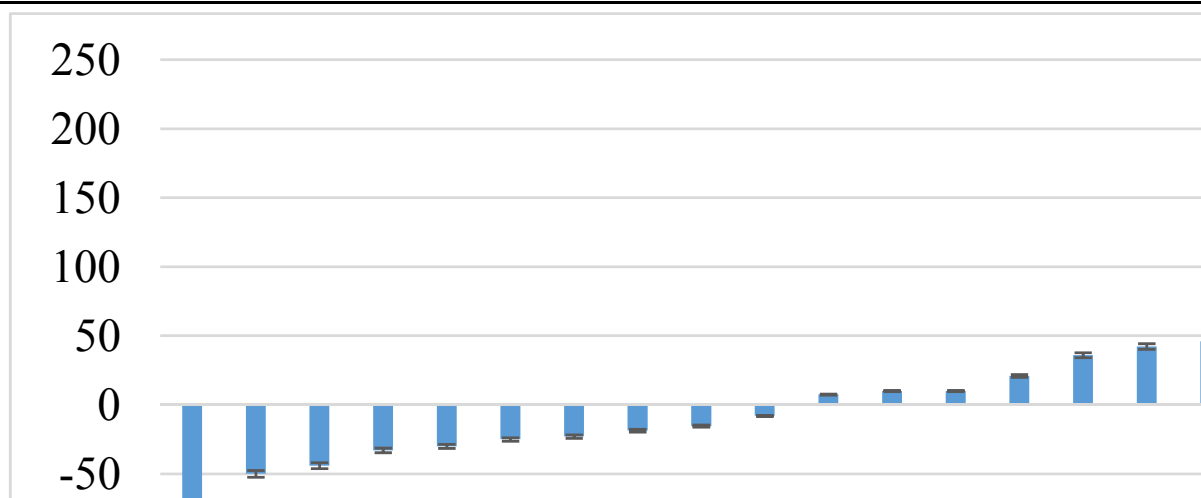


Рис. 3 – Концентрация химических элементов в мышечной ткани рыб III опытной группы относительно контроля, %

Figure 3 – The concentration of chemical elements in the muscle tissue of fish of the III experimental group relative to the control, %

Обсуждение полученных результатов.

На сегодняшний день пробиотический штамм *Bacillus* широко используется в рыбоводстве (Mingmongkolchai S and Panbangred W, 2018; Di J et al., 2019; Olmos J et al., 2020; Ramlucken U et al., 2020). Микроэлементы в ультрадисперсной форме продемонстрировали свою эффективность в питании животных (Sizova E et al., 2020; Nowacka-Wozzuk J, 2020) и рыбы (Аринжанова М.С., 2022). Выбор меди и цинка в качестве микроэлементов обусловлен данными об их роли в развитии культуры *Bacillus* (Dawood MAO, 2022; Dawood MAO et al., 2022). Цинк и медь являются важными микроэлементами, которые служат кофакторами для многочисленных ферментов и проявляют синергетическую активность с противомикробными препаратами (Schmidt MG et al., 2019).

Отмеченное в I опытной группы снижение пула жизненно необходимых микроэлементов – хрома, меди, кремния, цинка согласуется с ранее проведенными исследованиями по воздействию *Bacillus subtilis* на обмен минеральных веществ в организме животных, что связано со способностью бактерий *Bacillus* к извлечению и связыванию ионов металлов из окружающей среды (Kvan OV et al., 2018). Существуют данные о способности пробиотических штаммов к инкорпорации и последующему выведению отдельных элементов из организма животных (Hoseinifar SH et al., 2018; Gonzalez-Palacios C et al., 2020). *Bacillus subtilis* участвует в гомеостазе не только меди и цинка (Falcón García C et al., 2020), но и железа (Xu J and Cotruvo JA Jr, 2022), кобальта и марганца (Paruthiyil S et al., 2020; Pi H et al, 2020). Воздействие *Bacillus subtilis* на уровень микроэлементов связано с секрецией внеклеточных полимерных веществ, повышающих антибиотические свойства бактерий (Falcón García C et al., 2020).

При этом важным представляется роль бактерий *Bacillus* в повышении ряда химических элементов в организме животных через изменение эндогенных потерь (Skrypnik K and Suliburska J, 2018; Кван О.В. и др., 2020). Установленное повышение во II группе ряда эссенциальных и условно-эссенциальных элементов: калия, магния, фосфора, кальция, кремния, цинка, меди, бора, марганца, никеля, кобальта, ванадия и лития согласуется с данными о способности микроэлементов-антагонистов в ультрадисперсной форме снижать минеральный антагонизм, уменьшая их выведение из организма (Duffy LL et al., 2018; Hassan S et al., 2020; Patra A and Lalhriatpuii M, 2020; Arinzhonov AE et al., 2021). Антагонизм минералов может вызывать изменения в абсорбции, транспортировке и выведении различных микроэлементов, что приводит к минеральному дисбалансу. Кроме того, микроэлементы в ультрадисперсной форме имеют различные механизмы поглощения

(Michalak I et al., 2022), обусловленные их высокой биодоступностью (Fisinin et al., 2018), и снижают антагонистические эффекты в первую очередь двухвалентных катионов (Cholewińska E et al., 2018; Ramiah SK et al., 2019; Lee J et al., 2020).

Особого внимания заслуживают результаты совместном использовании УДЧ Cu-Zn и *Bacillus subtilis* в питании рыб на содержание химических элементов. Полученные результаты подтверждают способность пробиотиков совместно с микроэлементами проявлять синергетический эффект и повышать элементный статус организма (Malyar RM et al., 2019) и эффективность кормления в целом (Reczyńska D et al., 2019; Ianni A et al., 2019).

Между тем важными и перспективными результатами являются данные по снижению содержания токсических элементов (Al, As, Hg) в мышечной ткани рыбы при скармливании *Bacillus subtilis* и УДЧ Cu-Zn, как совместно, так и отдельно. Способность пробиотиков снижать концентрацию токсических элементов в организме описана ранее для кадмия, свинца, мышьяка и ртути (Alotaibi BS et al., 2021) и связана с повышением активности антиоксидантных ферментов, участвующих в выведении токсических элементов из организма (Мирошникова Е.П. и др., 2022).

Влияние же УДЧ Cu-Zn на обмен токсических элементов можно объяснить антагонистическими взаимодействиями и способностью микроэлементов в ультрадисперсной форме вытеснять токсические элементы из мест связывания (Denet E et al., 2020) и влиянием УДЧ на микрофлору кишечника (Swart E et al., 2020; Utembe W et al., 2022). Кроме того, цинк в организме уменьшает выработку свободных радикалов, и тем самым оказывает прямое антиоксидантное действие (Abedini M et al., 2018).

Заключение.

Таким образом, включение в рацион стерляди *Bacillus subtilis* и УДЧ Cu-Zn, как совместно, так и отдельно сопряжено с селективными изменениями обмена химических элементов в организме рыб и сопровождается повышением концентрации Ca, P, B, Mn, Ni, V, Co и Li в мышечной ткани, а также способствует снижению содержания токсических элементов: Al, As, Hg.

Список источников

1. Аринжанова М.С. Ультрадисперсные препараты металлов-микроэлементов: опыт использования и перспективы применения в аквакультуре (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 1. С. 8-30. [Arinzhanova MS. Ultrafine preparations of trace metals: experience of use and prospects for use in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):8-30. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-8
2. Влияние комплекса ультрадисперсных металлов-микроэлементов и пробиотического препарата на обмен веществ и интерьерные особенности цыплят-бройлеров / Е.П. Мирошникова, Е.А. Русакова, О.В. Кван, Ш.Г. Рахматуллин // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 1. С. 33-46. [Miroshnikova EP, Rusakova EA, Kwan OV, Rakhmatullin ShG. The effect of a complex of ultrafine metal microelements and a probiotic preparation on metabolism and interior peculiarities of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(1):33-46. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-33
3. Влияние пробиотического штамма *Bifidobacterium longum* на содержание химических элементов в биологических тканях цыплят-бройлеров при минералдефицитной диете / О.В. Кван, Е.В. Шейда, Г.К. Дускаев, Ш.Г. Рахматуллин // Аграрный вестник Урала. 2020. № S14. С. 28-34. [Kwan OV, Sheyda EV, Duskaev GK, Rakhmatullin ShG. Effect of the probiotic strain *Bifidobacterium longum* on the content of chemical elements in biological tissues of broiler chickens with a mineral-deficient diet. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;S14:28-34. (In Russ.)]. doi: 10.32417/1997-4868-2021-14-28-34
4. Оценка элементного статуса карпа, выращиваемого на рационе с включением пробиотических препаратов / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Киякова, М.С. Зуева // Техноло-

гии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 1. С. 83-88. [Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. Technologies for the Food and Processing Industry of AIC – healthy food. 2022;1:83-88. (In Russ.)].

5. Abd El-Hack ME, El-Saadony MT, Shafi ME, Qattan SYA, Batiha GE, Khafaga AF, Abdel-Moneim AE, Alagawany M. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl). 2020;104(6):1835-1850. doi: 10.1111/jpn.13454

6. Abdollahi M, Rezaei J, Fazaeli H. Performance, rumen fermentation, blood minerals, leukocyte and antioxidant capacity of young Holstein calves receiving high-surface ZnO instead of common ZnO. Arch Anim Nutr. 2020;74(3):189-205. doi: 10.1080/1745039X.2019.1690389

7. Abedini M, Shariatmadari F, Torshizi MAK, Ahmadi H. Effects of zinc oxide nanoparticles on performance, egg quality, tissue zinc content, bone parameters, and antioxidative status in laying hens. Biol Trace Elem Res. 2018;184(1):259-267. doi: 10.1007/s12011-017-1180-2

8. Alotaibi BS, Khan M, Shamim S. Unraveling the underlying heavy metal detoxification mechanisms of *Bacillus* species. Microorganisms. 2021;9(8):1628. doi: 10.3390/microorganisms9081628

9. Arinzhanov AE, Miroshnikova EP, Kilyakova YV. Effect of different doses of trace element antagonist nanopreparations (Fe and Co) on fish elemental status. Trace Elements and Electrolytes. 2021;38(3):135-136.

10. Bąkowski M, Kiczorowska B, Samolińska W, Klebaniuk R, Lipiec A. Silver and zinc nanoparticles in animal nutrition – a review. Ann Anim Sci. 2018;18(4):879-898. doi:10.2478/aoas-2018-0029

11. Callaway TR, Lillehoj H, Chuanchuen R, Gay CG. Alternatives to antibiotics: a symposium on the challenges and solutions for animal health and production. Antibiotics (Basel). 2021;10(5):471. doi: 10.3390/antibiotics10050471

12. Cholewińska E, Ognik K, Fotschki B, Zduńczyk Z, Juśkiewicz J. Comparison of the effect of dietary copper nanoparticles and one copper (II) salt on the copper biodistribution and gastrointestinal and hepatic morphology and function in a rat model. PLoS One. 2018;13(5):e0197083. doi: 10.1371/journal.pone.0197083

13. Dawood MAO, Alagawany M, Sewilam H. The role of zinc microelement in aquaculture: a review. Biol Trace Elem Res. 2022;200(8):3841-3853. doi: 10.1007/s12011-021-02958-x

14. Dawood MAO, Basuini MFE, Yilmaz S, Abdel-Latif HMR, Kari ZA, Abdul Razab MKA, Ahmed HA, Alagawany M, Gewaily MS. Selenium nanoparticles as a natural antioxidant and metabolic regulator in aquaculture: a review. Antioxidants (Basel). 2021;10(9):1364. doi: 10.3390/antiox10091364

15. Dawood MAO. dietary copper requirements for aquatic animals: a review. Biol Trace Elem Res. 2022;200(12):5273-5282. doi: 10.1007/s12011-021-03079-1

16. Denet E, Espina-Benitez MB, Pitault I, Pollet T, Blaha D, Bolzinger MA, Rodriguez-Nava V, Briançon S. Metal oxide nanoparticles for the decontamination of toxic chemical and biological compounds. Int J Pharm. 2020;583:119373. doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.119373

17. Di J, Chu Z, Zhang S, Huang J, Du H, Wei Q. Evaluation of the potential probiotic *Bacillus subtilis* isolated from two ancient sturgeons on growth performance, serum immunity and disease resistance of *Acipenser dabryanus*. Fish Shellfish Immunol. 2019;93:711-719. doi: 10.1016/j.fsi.2019.08.020

18. Duffy LL, Osmond-McLeod MJ, Judy J, King T. Investigation into the antibacterial activity of silver, zinc oxide and copper oxide nanoparticles against poultry-relevant isolates of *Salmonella* and *Campylobacter*. Food Control. 2018;92:293-300. doi: 10.1016/j.foodcont.2018.05.008

19. El-Saadony MT, Alagawany M, Patra AK, Kar I, Tiwari R, Dawood MAO, Dhama K, Abdel-Latif HMR. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. Fish Shellfish Immunol. 2021a;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007

20. El-Saadony MT, Saad AM, Taha TF, Najjar AA, Zabermaawi NM, Nader MM, AbuQamar SF, El-Tarabily KA, Salama A. Selenium nanoparticles from *Lactobacillus paracasei* HM1 capable of antag-

onizing animal pathogenic fungi as a new source from human breast milk. Saudi J Biol Sci. 2021b;28(12):6782-6794. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.07.059

21. Falcón García C, Kretschmer M, Lozano-Andrade CN, Schönleitner M, Dragoš A, Kovács ÁT, Lieleg O. Metal ions weaken the hydrophobicity and antibiotic resistance of *Bacillus subtilis* NCIB 3610 biofilms. npj Biofilms Microbiomes. 2020;6:1. doi: 10.1038/s41522-019-0111-8

22. Fisinin VI, Miroshnikov SA, Sizova EA, Ushakov AS, Miroshnikova EP. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. World's Poultry Science Journal. 2018;74(3):523-540. doi:10.1017/S0043933918000491

23. González-Palacios C, Fregeneda-Grandes JM, Aller-Gancedo JM. Possible mechanisms of action of two pseudomonas fluorescens isolates as probiotics on saprolegniosis control in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). Animals (Basel). 2020;10(9):1507. doi: 10.3390/ani10091507

24. Hassan S, Hassan FU, Rehman MS. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects. Biol Trace Elem Res. 2020;195(2):591-612. doi: 10.1007/s12011-019-01862-9

25. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phytogenic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. Trop Anim Sci J. 2021;44(1):90-99. doi: 10.5398/tasj.2021.44.1.90

26. Hoseinifar SH, Sun YZ, Wang A, Zhou Z. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives. Front Microbiol. 2018;9:2429. doi: 10.3389/fmicb.2018.02429

27. Ianni A, Innosa D, Martino C, Grotta L, Bennato F, Martino G. Zinc supplementation of Friesian cows: Effect on chemical-nutritional composition and aromatic profile of dairy products. J Dairy Sci. 2019;102(4):2918-2927. doi: 10.3168/jds.2018-15868

28. Kvan OV, Gavrish IA, Lebedev SV, Korotkova AM, Miroshnikova EP, Serdaeva VA, Bykov AV, Davydova NO. Effect of probiotics on the basis of *Bacillus subtilis* and *Bifidobacterium longum* on the biochemical parameters of the animal organism. Environ Sci Pollut Res Int. 2018;25(3):2175-2183. doi: 10.1007/s11356-017-0534-9

29. Lee J, Hosseindoust A, Kim M, Kim K, Choi Y, Lee S, Lee S, Cho H, Kang WS, Chae B. Biological evaluation of hot-melt extruded nano-selenium and the role of selenium on the expression profiles of selenium-dependent antioxidant enzymes in chickens. Biol Trace Elem Res. 2020;194(2):536-544. doi: 10.1007/s12011-019-01801-8

30. Liu H, Li J, Guo X, Liang Y, Wang W. Yeast culture dietary supplementation modulates gut microbiota, growth and biochemical parameters of grass carp. Microb Biotechnol. 2018;11(3):551-565. doi: 10.1111/1751-7915.13261

31. Malyar RM, Li H, Enayatullah H, Hou L, Ahmad Farid R, Liu D, Akhter Bhat J, Miao J, Gan F, Huang K, Chen X. Zinc-enriched probiotics enhanced growth performance, antioxidant status, immune function, gene expression, and morphological characteristics of Wistar rats raised under high ambient temperature. 3 Biotech. 2019;9(8):291. doi: 10.1007/s13205-019-1819-0

32. Michalak I, Dziergowska K, Alagawany M, Farag MR, El-Shall NA, Tuli HS, Emran TB, Dhama K. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of livestock animals and poultry. Vet Q. 2022;42(1):68-94. doi: 10.1080/01652176.2022.2073399

33. Mingmongkolchai S, Panbangred W. *Bacillus* probiotics: an alternative to antibiotics for livestock production. J Appl Microbiol. 2018;124(6):1334-1346. doi: 10.1111/jam.13690

34. Mohd Yusof H, Mohamad R, Zaidan UH, Abdul Rahman NA. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. J Anim Sci Biotechnol. 2019;10:57. doi: 10.1186/s40104-019-0368-z53

35. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. Biol Trace Elem Res. 2021;199(12):4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4

36. Nowacka-Woszuk J. Nutrigenomics in livestock-recent advances. *J Appl Genet.* 2020;61(1):93-103. doi: 10.1007/s13353-019-00522-x
37. Olmos J, Acosta M, Mendoza G, Pitones V. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Arch Microbiol.* 2020;202(3):427-435. doi: 10.1007/s00203-019-01757-2
38. Paruthiyil S, Pinochet-Barros A, Huang X, Helmann JD. *Bacillus subtilis* TerC family proteins help prevent manganese intoxication. *J Bacteriol.* 2020;202(2):e00624-19. doi: 10.1128/JB.00624-19
39. Patra A, Lalhriatpuii M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding-a review. *Biol Trace Elem Res.* 2020;197(1):233-253. doi: 10.1007/s12011-019-01959-1
40. Pi H, Wendel BM, Helmann JD. Dysregulation of magnesium transport protects *Bacillus subtilis* against manganese and cobalt intoxication. *J Bacteriol.* 2020;202(7):e00711-19. doi: 10.1128/JB.00711-19
41. Ramiah SK, Awad EA, Mookiah S, Idrus Z. Effects of zinc oxide nanoparticles on growth performance and concentrations of malondialdehyde, zinc in tissues, and corticosterone in broiler chickens under heat stress conditions. *Poult Sci.* 2019;98(9):3828-3838. doi: 10.3382/ps/pez093
42. Ramlucken U, Ramchuran SO, Moonsamy G, Lalloo R, Thantsha MS, Jansen van Rensburg C. A novel *Bacillus* based multi-strain probiotic improves growth performance and intestinal properties of *Clostridium perfringens* challenged broilers. *Poult Sci.* 2020;99(1):331-341. doi: 10.3382/ps/pez496
43. Reczyńska D, Witek B, Jarczak J, Czopowicz M, Mickiewicz M, Kaba J, Zwierzchowski L, Bagnicka E. The impact of organic vs. inorganic selenium on dairy goat productivity and expression of selected genes in milk somatic cells. *J Dairy Res.* 2019;86(1):48-54. doi: 10.1017/S0022029919000037
44. Ringø E, Van Doan H, Lee SH, Soltani M, Hoseinifar SH, Harikrishnan R, Song SK. Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: interesting supplementation for aquaculture. *J Appl Microbiol.* 2020;129(1):116-136. doi: 10.1111/jam.14628
45. Schmidt MG, Attaway HH, Fairey SE, Howard J, Mohr D, Craig S. Self-disinfecting copper beds sustain terminal cleaning and disinfection effects throughout patient care. *Appl Environ Microbiol.* 2019;86(1):e01886-19. doi: 10.1128/AEM.01886-19
46. Sizova E, Miroshnikov S, Lebedev S, Usha B, Shabunin S. Use of nanoscale metals in poultry diet as a mineral feed additive. *Anim Nutr.* 2020;6(2):185-191. doi: 10.1016/j.aninu.2019.11.007
47. Skrypnik K, Suliburska J. Association between the gut microbiota and mineral metabolism. *J Sci Food Agric.* 2018;98(7):2449-2460. doi: 10.1002/jsfa.8724
48. Sumon MAA, Sumon TA, Hussain MA, Lee SJ, Jang WJ, Sharifuzzaman SM, Brown CL, Lee EW, Hasan MT. Single and multi-strain probiotics supplementation in commercially prominent finfish aquaculture: review of the current knowledge. *J Microbiol Biotechnol.* 2022;32(6):681-698. doi: 10.4014/jmb.2202.02032
49. Swart E, Dvorak J, Hernádi S, Goodall T, Kille P, Spurgeon D, Svendsen C, Prochazkova P. The effects of in vivo exposure to copper oxide nanoparticles on the gut microbiome, host immunity, and susceptibility to a bacterial infection in earthworms. *Nanomaterials (Basel).* 2020;10(7):1337. doi: 10.3390/nano10071337
50. Utembe W, Tlotleng N, Kamng'ona AW. A systematic review on the effects of nanomaterials on gut microbiota. *Curr Res Microb Sci.* 2022;3:100118. doi: 10.1016/j.crmicr.2022.100118
51. Xu J, Cotruvo JA Jr. Iron-responsive riboswitches. *Curr Opin Chem Biol.* 2022;68:102135. doi: 10.1016/j.cbpa.2022.102135
52. Youssef FS, El-Banna HA, Elzorba HY, Galal AM. Application of some nanoparticles in the field of veterinary medicine. *Int J Vet Sci Med.* 2019;7(1):78-93. doi: 10.1080/23144599.2019.1691379

References

1. Arinzhanova MS. Ultrafine preparations of trace metals: experience of use and prospects for use in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):8-30. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-8
2. Miroshnikova EP, Rusakova EA, Kwan OV, Rakhmatullin ShG. The effect of a complex of ultrafine metal microelements and a probiotic preparation on metabolism and interior peculiarities of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(1):33-46. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-33
3. Kvan OV, Sheyda EV, Duskaev GK, Rakhmatullin ShG. Effect of the probiotic strain *Bifidobacterium longum* on the content of chemical elements in biological tissues of broiler chickens with a mineral-deficient diet. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;S14:28-34. doi: 10.32417/1997-4868-2021-14-28-34
4. Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC – Healthy Food*. 2022;1:83-88.
5. Abd El-Hack ME, El-Saadony MT, Shafi ME, Qattan SYA, Batiha GE, Khafaga AF, Abdel-Moneim AE, Alagawany M. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2020;104(6):1835-1850. doi: 10.1111/jpn.13454
6. Abdollahi M, Rezaei J, Fazaeli H. Performance, rumen fermentation, blood minerals, leukocyte and antioxidant capacity of young Holstein calves receiving high-surface ZnO instead of common ZnO. *Arch Anim Nutr*. 2020;74(3):189-205. doi: 10.1080/1745039X.2019.1690389
7. Abedini M, Shariatmadari F, Torshizi MAK, Ahmadi H. Effects of zinc oxide nanoparticles on performance, egg quality, tissue zinc content, bone parameters, and antioxidative status in laying hens. *Biol Trace Elem Res*. 2018;184(1):259-267. doi: 10.1007/s12011-017-1180-2
8. Alotaibi BS, Khan M, Shamim S. Unraveling the underlying heavy metal detoxification mechanisms of *Bacillus* species. *Microorganisms*. 2021;9(8):1628. doi: 10.3390/microorganisms9081628
9. Arinzhanov AE, Miroshnikova EP, Kilyakova YV. Effect of different doses of trace element antagonist nanopreparations (Fe and Co) on fish elemental status. *Trace Elements and Electrolytes*. 2021;38(3):135-136.
10. Bąkowski M, Kiczorowska B, Samolińska W, Klebaniuk R, Lipiec A. Silver and zinc nanoparticles in animal nutrition – a review. *Ann Anim Sci*. 2018;18(4):879-898. doi:10.2478/aoas-2018-0029
11. Callaway TR, Lillehoj H, Chuanchuen R, Gay CG. Alternatives to antibiotics: a symposium on the challenges and solutions for animal health and production. *Antibiotics (Basel)*. 2021;10(5):471. doi: 10.3390/antibiotics10050471
12. Cholewińska E, Ognik K, Fotschki B, Zduńczyk Z, Juśkiewicz J. Comparison of the effect of dietary copper nanoparticles and one copper (II) salt on the copper biodistribution and gastrointestinal and hepatic morphology and function in a rat model. *PLoS One*. 2018;13(5):e0197083. doi: 10.1371/journal.pone.0197083
13. Dawood MAO, Alagawany M, Sewilam H. The role of zinc microelement in aquaculture: a review. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(8):3841-3853. doi: 10.1007/s12011-021-02958-x
14. Dawood MAO, Basuini MFE, Yilmaz S, Abdel-Latif HMR, Kari ZA, Abdul Razab MKA, Ahmed HA, Alagawany M, Gewaily MS. Selenium nanoparticles as a natural antioxidant and metabolic regulator in aquaculture: a review. *Antioxidants (Basel)*. 2021;10(9):1364. doi: 10.3390/antiox10091364
15. Dawood MAO. dietary copper requirements for aquatic animals: a review. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(12):5273-5282. doi: 10.1007/s12011-021-03079-1
16. Denet E, Espina-Benitez MB, Pitault I, Pollet T, Blaha D, Bolzinger MA, Rodriguez-Nava V, Briçon S. Metal oxide nanoparticles for the decontamination of toxic chemical and biological compounds. *Int J Pharm*. 2020;583:119373. doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.119373
17. Di J, Chu Z, Zhang S, Huang J, Du H, Wei Q. Evaluation of the potential probiotic *Bacillus subtilis* isolated from two ancient sturgeons on growth performance, serum

immunity and disease resistance of *Acipenser dabryanus*. Fish Shellfish Immunol. 2019;93:711-719. doi: 10.1016/j.fsi.2019.08.020

18. Duffy LL, Osmond-McLeod MJ, Judy J, King T. Investigation into the antibacterial activity of silver, zinc oxide and copper oxide nanoparticles against poultry-relevant isolates of *Salmonella* and *Campylobacter*. Food Control. 2018;92:293-300. doi: 10.1016/j.foodcont.2018.05.008

19. El-Saadony MT, Alagawany M, Patra AK, Kar I, Tiwari R, Dawood MAO, Dhama K, Abdel-Latif HMR. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. Fish Shellfish Immunol. 2021a;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007

20. El-Saadony MT, Saad AM, Taha TF, Najjar AA, Zabermaawi NM, Nader MM, AbuQamar SF, El-Tarabily KA, Salama A. Selenium nanoparticles from *Lactobacillus paracasei* HM1 capable of antagonizing animal pathogenic fungi as a new source from human breast milk. Saudi J Biol Sci. 2021b;28(12):6782-6794. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.07.059

21. Falcón García C, Kretschmer M, Lozano-Andrade CN, Schönleitner M, Dragoș A, Kovács ÁT, Lieleg O. Metal ions weaken the hydrophobicity and antibiotic resistance of *Bacillus subtilis* NCIB 3610 biofilms. npj Biofilms Microbiomes. 2020;6:1. doi: 10.1038/s41522-019-0111-8

22. Fisinin VI, Miroshnikov SA, Sizova EA, Ushakov AS, Miroshnikova EP. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. World's Poultry Science Journal. 2018;74(3):523-540. doi:10.1017/S0043933918000491

23. González-Palacios C, Fregeneda-Grandes JM, Aller-Gancedo JM. Possible mechanisms of action of two pseudomonas fluorescens isolates as probiotics on saprolegniosis control in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). Animals (Basel). 2020;10(9):1507. doi: 10.3390/ani10091507

24. Hassan S, Hassan FU, Rehman MS. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects. Biol Trace Elem Res. 2020;195(2):591-612. doi: 10.1007/s12011-019-01862-9

25. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phytogenic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. Trop Anim Sci J. 2021;44(1):90-99. doi: 10.5398/tasj.2021.44.1.90

26. Hoseinifar SH, Sun YZ, Wang A, Zhou Z. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives. Front Microbiol. 2018;9:2429. doi: 10.3389/fmicb.2018.02429

27. Ianni A, Innosa D, Martino C, Grotta L, Bennato F, Martino G. Zinc supplementation of Friesian cows: Effect on chemical-nutritional composition and aromatic profile of dairy products. J Dairy Sci. 2019;102(4):2918-2927. doi: 10.3168/jds.2018-15868

28. Kvan OV, Gavrish IA, Lebedev SV, Korotkova AM, Miroshnikova EP, Serdaeva VA, Bykov AV, Davydova NO. Effect of probiotics on the basis of *Bacillus subtilis* and *Bifidobacterium longum* on the biochemical parameters of the animal organism. Environ Sci Pollut Res Int. 2018;25(3):2175-2183. doi: 10.1007/s11356-017-0534-9

29. Lee J, Hosseindoust A, Kim M, Kim K, Choi Y, Lee S, Lee S, Cho H, Kang WS, Chae B. Biological evaluation of hot-melt extruded nano-selenium and the role of selenium on the expression profiles of selenium-dependent antioxidant enzymes in chickens. Biol Trace Elem Res. 2020;194(2):536-544. doi: 10.1007/s12011-019-01801-8

30. Liu H, Li J, Guo X, Liang Y, Wang W. Yeast culture dietary supplementation modulates gut microbiota, growth and biochemical parameters of grass carp. Microb Biotechnol. 2018;11(3):551-565. doi: 10.1111/1751-7915.13261

31. Malyar RM, Li H, Enayatullah H, Hou L, Ahmad Farid R, Liu D, Akhter Bhat J, Miao J, Gan F, Huang K, Chen X. Zinc-enriched probiotics enhanced growth performance, antioxidant status, immune function, gene expression, and morphological characteristics of Wistar rats raised under high ambient temperature. 3 Biotech. 2019;9(8):291. doi: 10.1007/s13205-019-1819-0

32. Michalak I, Dziergowska K, Alagawany M, Farag MR, El-Shall NA, Tuli HS, Emran TB, Dhama K. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of live-stock animals and poultry. *Vet Q.* 2022;42(1):68-94. doi: 10.1080/01652176.2022.2073399
33. Mingmongkolchai S, Panbangred W. *Bacillus* probiotics: an alternative to antibiotics for live-stock production. *J Appl Microbiol.* 2018;124(6):1334-1346. doi: 10.1111/jam.13690
34. Mohd Yusof H, Mohamad R, Zaidan UH, Abdul Rahman NA. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2019;10:57. doi: 10.1186/s40104-019-0368-z53
35. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199(12):4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4
36. Nowacka-Wozzuk J. Nutrigenomics in livestock-recent advances. *J Appl Genet.* 2020;61(1):93-103. doi: 10.1007/s13353-019-00522-x
37. Olmos J, Acosta M, Mendoza G, Pitones V. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Arch Microbiol.* 2020;202(3):427-435. doi: 10.1007/s00203-019-01757-2
38. Paruthiyil S, Pinochet-Barros A, Huang X, Helmann JD. *Bacillus subtilis* TerC family proteins help prevent manganese intoxication. *J Bacteriol.* 2020;202(2):e00624-19. doi: 10.1128/JB.00624-19
39. Patra A, Lalhriatpuii M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding-a review. *Biol Trace Elem Res.* 2020;197(1):233-253. doi: 10.1007/s12011-019-01959-1
40. Pi H, Wendel BM, Helmann JD. Dysregulation of magnesium transport protects *Bacillus subtilis* against manganese and cobalt intoxication. *J Bacteriol.* 2020;202(7):e00711-19. doi: 10.1128/JB.00711-19
41. Ramiah SK, Awad EA, Mookiah S, Idrus Z. Effects of zinc oxide nanoparticles on growth performance and concentrations of malondialdehyde, zinc in tissues, and corticosterone in broiler chickens under heat stress conditions. *Poult Sci.* 2019;98(9):3828-3838. doi: 10.3382/ps/pez093
42. Ramlucken U, Ramchuran SO, Moonsamy G, Lalloo R, Thantsha MS, Jansen van Rensburg C. A novel *Bacillus* based multi-strain probiotic improves growth performance and intestinal properties of *Clostridium perfringens* challenged broilers. *Poult Sci.* 2020;99(1):331-341. doi: 10.3382/ps/pez496
43. Reczyńska D, Witek B, Jarczak J, Czopowicz M, Mickiewicz M, Kaba J, Zwierzchowski L, Bagnicka E. The impact of organic vs. inorganic selenium on dairy goat productivity and expression of selected genes in milk somatic cells. *J Dairy Res.* 2019;86(1):48-54. doi: 10.1017/S0022029919000037
44. Ringø E, Van Doan H, Lee SH, Soltani M, Hoseinifar SH, Harikrishnan R, Song SK. Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: interesting supplementation for aquaculture. *J Appl Microbiol.* 2020;129(1):116-136. doi: 10.1111/jam.14628
45. Schmidt MG, Attaway HH, Fairey SE, Howard J, Mohr D, Craig S. Self-disinfecting copper beds sustain terminal cleaning and disinfection effects throughout patient care. *Appl Environ Microbiol.* 2019;86(1):e01886-19. doi: 10.1128/AEM.01886-19
46. Sizova E, Miroshnikov S, Lebedev S, Usha B, Shabunin S. Use of nanoscale metals in poultry diet as a mineral feed additive. *Anim Nutr.* 2020;6(2):185-191. doi: 10.1016/j.aninu.2019.11.007
47. Skrypnik K, Suliburska J. Association between the gut microbiota and mineral metabolism. *J Sci Food Agric.* 2018;98(7):2449-2460. doi: 10.1002/jsfa.8724
48. Sumon MAA, Sumon TA, Hussain MA, Lee SJ, Jang WJ, Sharifuzzaman SM, Brown CL, Lee EW, Hasan MT. Single and multi-strain probiotics supplementation in commercially prominent finfish aquaculture: review of the current knowledge. *J Microbiol Biotechnol.* 2022;32(6):681-698. doi: 10.4014/jmb.2202.02032

49. Swart E, Dvorak J, Hernádi S, Goodall T, Kille P, Spurgeon D, Svendsen C, Prochazkova P. The effects of in vivo exposure to copper oxide nanoparticles on the gut microbiome, host immunity, and susceptibility to a bacterial infection in earthworms. *Nanomaterials (Basel)*. 2020;10(7):1337. doi: 10.3390/nano10071337

50. Utembe W, Tlotleng N, Kamng'ona AW. A systematic review on the effects of nanomaterials on gut microbiota. *Curr Res Microb Sci*. 2022;3:100118. doi: 10.1016/j.crmicr.2022.100118

51. Xu J, Cotruvo JA Jr. Iron-responsive riboswitches. *Curr Opin Chem Biol*. 2022;68:102135. doi: 10.1016/j.cbpa.2022.102135

52. Youssef FS, El-Banna HA, Elzorba HY, Galal AM. Application of some nanoparticles in the field of veterinary medicine. *Int J Vet Sci Med*. 2019;7(1):78-93. doi: 10.1080/23144599.2019.1691379

Информация об авторах:

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.

Information about the authors:

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.

Статья поступила в редакцию 07.11.2022; одобрена после рецензирования 18.11.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 07.11.2022; approved after reviewing 18.11.2022; accepted for publication 12.12.2022.