

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 1. С. 48-66.  
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 1. 48-66.

Научная статья  
УДК 639.3:577.17  
doi:10.33284/2658-3135-106-1-48

**Биологическое действие ультрадисперсных частиц SiO<sub>2</sub>, пробиотического препарата Бифидобиом и комплекса микроэлементов на организм карпа**

Мария Сергеевна Аринжанова<sup>1</sup>, Елена Петровна Мирошникова<sup>2</sup>, Азамат Ерсанович Аринжанов<sup>3</sup>, Юлия Владимировна Килякова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской Академии наук, Оренбург, Россия

<sup>2,3,4</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>marymiroshnikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1898-9307>

<sup>2</sup>elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

<sup>3</sup>arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

<sup>4</sup>fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследований по изучению влияния ультрадисперсных частиц диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>), пробиотического препарата Бифидобиом (*Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium adolescentis*) и микроэлементов (йод, селен, цинк) в составе рациона карпа на динамику роста и морфобиохимические показатели. В ходе исследований установлен синергизм действия добавок при совместном скармливании, в частности, во II и III опытных группах, в рационе которых присутствуют УДЧ SiO<sub>2</sub> и бифидобактерии, выявлено повышение массы рыбы на 9 % (P≤0,05) и 16,4 % (P≤0,05) относительно контроля соответственно. Изучение гематологических показателей крови выявило повышение во всех опытных группах гемоглобина на 6,9-16,2 % (P≤0,05), глюкозы – на 24,4-56,5 % (P≤0,001), общего билирубина – в 2,2-5,4 раза, мочевины – на 26,9-42,3 % относительно контрольных значений, также установлено повышение эритроцитов во II опытной группе на 43,9 % (P≤0,01), тромбоцитов в III опытной группе – на 41,3 % (P≤0,05), тромбоциты в I и III опытных группах – в 2 и 3,3 раза соответственно. Кроме того, в I и II опытной группе зафиксировано увеличение активности аланинаминотрансферазы на 18,75-25,2 % (P≤0,05), а во II и III опытной группе – снижение активности аспартатаминотрансферазы на 82,9-85,1 % (P≤0,05) относительно контрольных значений. Введение испытуемых препаратов изменяет минеральный профиль рыбы, а именно отмечено снижение концентрации железа в I опытной группе на 64,4 % (P≤0,01), во II опытной группе – на 50,2 % (P≤0,05) и повышение его уровня в III опытной группе на 72,9 % (P≤0,05), также выявлено снижение концентрации фосфора в I опытной группе на 15,3 % (P≤0,01) и его повышение во II опытной группе – на 12,9 % (P≤0,01) относительно контроля.

**Ключевые слова:** карп, кормление, микроэлементы, ультрадисперсные частицы, диоксид кремния, пробиотики, йод, селен, цинк

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

**Для цитирования:** Биологическое действие ультрадисперсных частиц SiO<sub>2</sub>, пробиотического препарата Бифидобиом и комплекса микроэлементов на организм карпа / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 1. С. 48-66. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-66>

Original article

**Biological effect of ultrafine particles of SiO<sub>2</sub>, probiotic preparation Bifidobiom and a complex of microelements on the body of carp**

Maria S Arinzhanova<sup>1</sup>, Elena P Mirosnikova<sup>2</sup>, Azamat E Arinzhanov<sup>3</sup>, Julia V Kilyakova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>2,3,4</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>marymiroshnikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1898-9307>

<sup>2</sup>elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

<sup>3</sup>arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

<sup>4</sup>fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

**Abstract.** The paper presents the results of studies on the effect of ultrafine particles of silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>), the probiotic preparation Bifidobiom (*Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*,

*Bifidobacterium adolescentis*) and microelements (iodine, selenium, zinc) in the carp diet on growth dynamics and morphobiochemical parameters. In the course of the research, the synergism of the action of additives during joint feeding was established, in particular, in the II and III experimental groups, in the diet of which UHF SiO<sub>2</sub> and bifidobacteria are present, an increase in fish weight by 9% ( $P \leq 0.05$ ) and 16.4% ( $P \leq 0.05$ ), relative to control, respectively. The study of hematological blood parameters revealed an increase in all experimental groups of hemoglobin by 6.9-16.2% ( $P \leq 0.05$ ), glucose by 24.4-56.5% ( $P \leq 0.001$ ), total bilirubin by 2.2-5.4 times, urea by 26.9-42.3%, relative to the control values, an increase in erythrocytes in the II experimental group by 43.9% ( $P \leq 0.01$ ), platelets in the III experimental group by 41, 3% ( $P \leq 0.05$ ), thrombocrit in I and III experimental groups by 2 and 3.3 times, respectively. In addition, in experimental groups I and II, an increase in alanine aminotransferase activity by 18.75-25.2% ( $P \leq 0.05$ ) was recorded, and in experimental groups II and III, a decrease in aspartate aminotransferase activity by 82.9-85.1% ( $P \leq 0.05$ ), relative to control values. The introduction of the test preparations changes the mineral profile of fish, namely, a decrease in the concentration of iron in the I experimental group by 64.4% ( $P \leq 0.01$ ), in the II experimental group by 50.2% ( $P \leq 0.05$ ) and its increase level in the III experimental group by 72.9% ( $P \leq 0.05$ ), also revealed a decrease in the concentration of phosphorus in the I experimental group by 15.3% ( $P \leq 0.01$ ) and its increase in the II experimental group by 12.9% ( $P \leq 0.01$ ), relative to control.

**Keywords:** carp, feeding, trace elements, ultrafine particles, silicon dioxide, probiotics, iodine, selenium, zinc

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

**For citation:** Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of SiO<sub>2</sub>, probiotic preparation Bifidobiom and a complex of microelements on the body of carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):48-66. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-48>

## **Введение.**

Потребление рыбы и рыбопродуктов быстро растёт как в развитых, так и в развивающихся странах. Несомненно, в условиях стагнации вылова рыбы в сочетании с ростом её потребления на душу населения, во всём мире спрос на рыбу может быть удовлетворен только за счёт устойчивого развития аквакультуры (Naylor RL et al., 2021).

Выращивание рыбы связано со многими стрессовыми факторами, непосредственно влияющими на её физиологическое состояние (Abdel-Tawwab M et al., 2019). Качество корма считается одним из важных факторов, определяющих способность рыб сопротивляться болезням, оказывающих стимулирующее действие на организм и позволяющих повысить их продуктивность (Canosa LF and Bertucci JJ, 2020).

В последние годы внедрению минеральных веществ в кормовые рационы уделяется всё большее внимание учёных и практиков. Для коррекции состава готовых кормов для рыб в качестве добавок часто используют комплексные органоминеральные хелатирующие соединения металлов (Fe, Mg, Zn, Se, I, Cu) (Adéyèmi AD et al., 2020; Pereira SA et al., 2020). Эти микроэлементы оказывают прямое влияние на иммунную функцию клеток кишечника и усвояемость (Lall SP and Kaushik SJ, 2021).

Исследования в области минерального питания показали важность для организма рыб таких микроэлементов, как цинк, йод и селен. Цинк действует как кофактор металлоферментов, участвующих в обмене веществ, регулирует метаболизм нуклеиновых кислот, синтез белка и антиоксидантные ферменты рыб, влияя на стрессоустойчивость и репродуктивные показатели (Rohani MF et al., 2022). Йод и селен необходимы для нормального функционирования щитовидной железы и поддержания тиреоидного метаболизма (Granby K et al., 2020). Кроме того, селен действует как кофактор в образовании селенопротеинов (Mechlaoui M et al., 2019).

Одним из многообещающих направлений науки является использование микроэлементов в ультрадисперсной форме, которые благодаря своим уникальным свойствам подходят для разработки лекарственных препаратов, вакцин, биодобавок и т. д. (Patra A and Lalhriatpuii M, 2020). Микроэлементы в ультрадисперсной форме усиливают связывание бактерий, разрушение клеточных мембран, ингибирование активности ферментов и синтеза ДНК (Fan X et al., 2021).

Доказано, что микроэлементы в ультрадисперсной форме обладают большей биодоступностью, чем неорганические оксиды, сульфаты и карбонаты, которые традиционно добавляются в корма (Adegbeye MJ et al., 2019; Bhagat S and Singh S, 2022). Кроме того, ультрадисперсные частицы известны своими антибактериальными, противогрибковыми, противовирусными, антипротозойными, антиоксидантными свойствами и могут представлять собой альтернативу антибиотикам, способствующим здоровью и росту животных (Mohd Yusof H et al., 2019).

Кремний (Si) является важным условно-эссенциальным микроэлементом и третьим по распространённости микроэлементом в организме человека (Squitti R et al., 2019; Saghiri MA et al., 2022). Многие данные указывают на то, что Si обладает фармакологическими эффектами и играет важную роль для здоровья организма, включая минерализацию костей, синтез коллагена, старение кожи, целостность волос и ногтей, атеросклероз и другие заболевания (Rondanelli M et al., 2021).

УДЧ кремния размером от 5 до 1000 нм являются одними из широко используемых наноматериалов в промышленности, технике и биомедицине (Huang Y et al., 2022; Hosseinpour S et al., 2020; Kulasza M and Skuza L, 2021). В частности, синтетический аморфный диоксид кремния (известный как E551) – это разработанный наноматериал, который использовался в качестве пищевой добавки более полувека (Zaiter T et al., 2022).

В настоящее время из-за угрозы антибиотикорезистентности хорошо зарекомендовали себя пробиотические препараты. В аквакультуре пробиотики продемонстрировали благотворное влияние на рост рыбы, метаболизм питательных веществ, иммунные реакции, а также на микробиоту кишечника и профилактику заболеваний (Borges N et al., 2021; Daliri EB et al., 2021). Пробиотики включают широкий спектр бактерий, дрожжей, микроводорослей и бактериофагов, которые добавляют в воду или включают в кормовой рацион (Amenyogbe E et al., 2020; Hasan KN and Banerjee G, 2020).

На сегодняшний день одним из многообещающих альтернатив антибиотикам являются совместное использование УДЧ микроэлементов и пробиотических штаммов бактерий в питании рыб и животных. В результате повышается биодоступность питательных веществ корма, жизнеспособность и стабильность полезных микроорганизмов в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) и т. д. (Sabio L et al., 2021; Alkushi AG et al., 2022).

#### **Цель исследования.**

Изучение влияния УДЧ диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>), пробиотического препарата Бифидобиом и комплекса микроэлементов (йод, селен, цинк) на продуктивность карпа, морфологические и биохимические параметры крови.

#### **Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Годовики карпа ропшинской породы *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) со средней массой 50±2,5 г.

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 были проведены на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета в 2022 году. Для эксперимента методом пар-аналогов были сформированы 4 группы (n=25): контрольная и три опытных. Контрольной группе скармливали основной рацион (ОР), I опытная группа – ОР+микроэлементы: йод (доза 0,1 мг/кг корма)+селен (0,2 мг/кг)+цинк (1,36 мг/кг); II опытная – ОР+УДЧ SiO<sub>2</sub> (доза 200 мг/кг корма)+пробиотик Бифидобиом (доза 0,7 мг/кг корма); III опытная – ОР+УДЧ SiO<sub>2</sub> (200 мг/кг)+пробиотик Бифидобиом (0,7 мг/кг)+микроэлементы: йод (0,1 мг/кг)+селен (0,2 мг/кг)+цинк (1,36 мг/кг). Продолжительность эксперимента – 56 суток.

В качестве ОР был использован комбикорм КРК-110 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», г. Оренбург). УДЧ SiO<sub>2</sub> (диаметр – 388±117 нм, удельная поверхность – 10<sup>9</sup> м<sup>2</sup>/г) получены методом плазмохимического синтеза (ООО «Плазмотерм», г. Москва). УДЧ наносились путём опрыскивания тонкого слоя корма после 30 мин диспергирования препарата в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т при частоте 35 кГц (f-35 кГц, N-300 Вт, A-10 мкА). Пробиотический препарат Бифидобиом (Провита-Лактис, Оренбургская область, г. Бугуруслан): не менее 1×10<sup>10</sup> КОЕ/г *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium adolescentis*.

Дозировки УДЧ SiO<sub>2</sub> и пробиотика Бифидобиом выбраны на основе ранее проведённых исследований, в которых отражён положительный эффект влияния УДЧ SiO<sub>2</sub> (Аринжанова М.С. и др., 2022) и пробиотического штамма рода *Bifidobacterium* (Аринжанов А.Е. и др., 2022) в кормлении карпа.

Используемые препараты микроэлементов в органической форме, йод (ООО «ВТФ» Владимирская область, пос. Вольгинский), селен (ООО «Квадрат-С», г. Москва) и цинк (ООО «Квадрат-С», г. Москва), были применены в рекомендуемых дозировках для рыб (Simakov G et al., 2020).

Динамика живой массы изучалась путём еженедельного индивидуального взвешивания рыбы утром до кормления.

Образцы крови отбирали (n=5) в конце эксперимента путём отсечения хвостового стебля в вакуумные пробирки с ЭДТА-К3, для биохимических исследований – в вакуумные пробирки с активатором свёртывания.

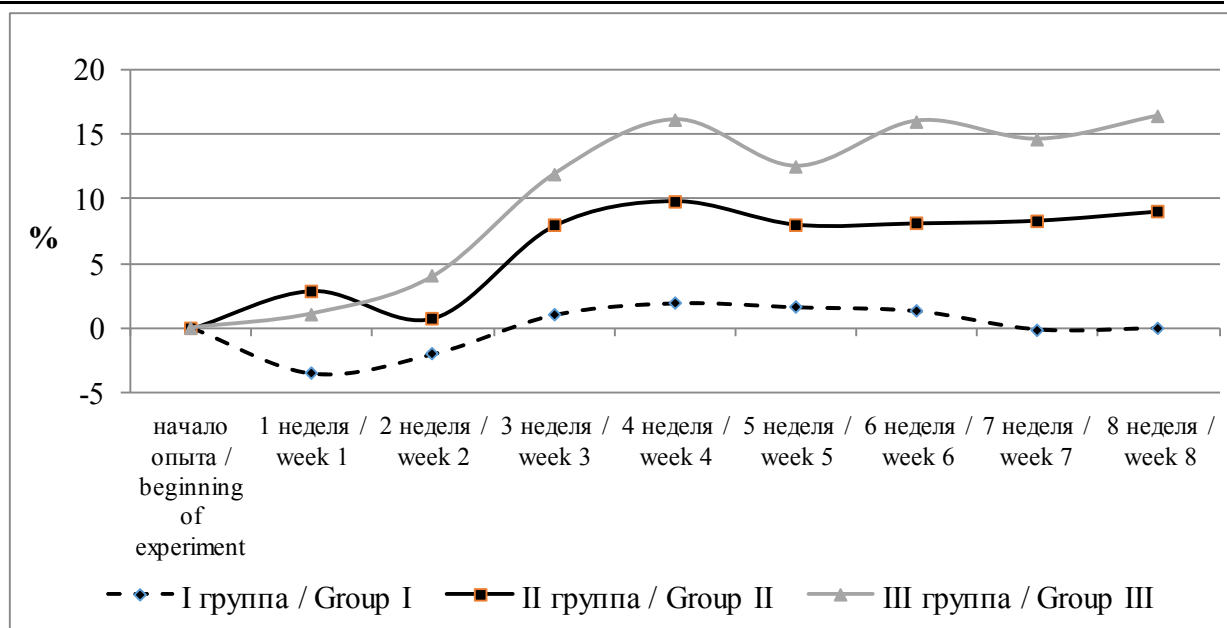
**Оборудование и технические средства.** Морфологические и биохимические показатели крови оценивались в ЦКП ФНЦ БСТ РАН <https://цкп-бст.рф> по стандартным методикам с помощью автоматического гематологического анализатора URIT-2900 Vet Plus, (URIT Medial Electronic Co., Китай) и автоматического биохимического анализатора CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd.», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии («ДИАКОН-ДС», Россия; «Randox Laboratories Ltd», Великобритания). Для контроля живой массы рыбы применяли весы ВАТ 1. («Veit» electronics», Чехия).

**Статистическая обработка.** Полученные данные обрабатывали 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≤0,05.

### **Результаты исследования.**

В результате исследований установлено, что включение в рацион рыб микроэлементов (йод, селен и цинк) существенно не повлияло на интенсивность роста рыбы относительно контрольной группы (рис. 1).

Включение в рацион УДЧ SiO<sub>2</sub> совместно с пробиотиком Бифидобиом оказало продуктивное влияние на рост рыбы, начиная с третьей недели эксперимента. Отмечалось повышение массы рыбы относительно контроля: на третьей неделе – на 7,9 % (P≤0,05), на четвёртой – на 9,8 % (P≤0,05), на пятой – на 8 % (P≤0,05), на шестой – на 8,1 % (P≤0,05), на седьмой – на 8,3 % (P≤0,05) и на восьмой – на 9 % (P≤0,05), так, к концу эксперимента средняя масса рыбы II опытной группы составила 116,9 г.



**Рис. 1 – Разница живой массы рыб опытных групп по сравнению с контрольной, %**  
**Figure 1 – Difference in live weight of fish from experimental groups compared to control, %**

Наилучшую динамику роста наблюдали в III опытной группе при включении в рацион рыб УДЧ SiO<sub>2</sub> совместно с Бифидобиом и микроэлементами. Так, на третьей неделе зафиксировано повышение массы рыбы относительно контроля на 11,9 % ( $P \leq 0,05$ ), на четвертой – на 16,1 % ( $P \leq 0,01$ ), на пятой – на 12,5 % ( $P \leq 0,01$ ), на шестой – на 16,0 % ( $P \leq 0,01$ ), на седьмой – на 14,6 % ( $P \leq 0,01$ ) и на восьмой – на 16,4 % ( $P \leq 0,01$ ), к концу опыта средняя масса рыбы III опытной группы составила 125 г.

Адекватно оценить функциональное состояние организма можно по морфобиохимическим показателям крови. Нами были выявлены определённые изменения в составе крови подопытной рыбы. В ходе анализа морфологических показателей крови рыб установлено повышение содержания гемоглобина во всех опытных группах относительно контроля на 6,9-16,2 % ( $P \leq 0,05$ ) (табл. 1). При этом уровень эритроцитов был выше контроля лишь во II опытной группе на 43,9 % ( $P \leq 0,01$ ).

Анализ количества тромбоцитов в крови рыб показал их повышение только в III опытной группе на 41,3 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контроля. При этом средний объём тромбоцитов был выше контроля во II опытной группе на 63,2% ( $P \leq 0,05$ ) и в III опытной группе – на 52,6 % ( $P \leq 0,05$ ), а показатель тромбокрита был выше контроля в I и III опытных группах в 2 и 3,3 раза соответственно.

Количество лейкоцитов, средний объём эритроцитов, ширина распределения эритроцитов, гематокрит и уровень лимфоцитов во всех опытных группах не имели достоверных различий и были приближены к контрольным значениям. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) во всех группах находилось на одном уровне – 4 мм/ч.

Анализ биохимических параметров сыворотки крови установил более существенные изменения показателей опытных групп относительно контрольных значений (табл. 2). В опытных группах зафиксировано повышение содержания глюкозы на 24,4-56,5 % ( $P \leq 0,001$ ) относительно контроля. При этом повышение содержания общего белка отмечалось только в III опытной группе – на 27,6 % ( $P \leq 0,05$ ).

Таблица 1. Морфологический состав крови карпа  
Table 1. Morphological composition of blood of carp

Наименование показателей / <i>Indicators</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контроль / <i>control</i>	I	II	III
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л / <i>Leukocytes, 10<sup>9</sup>/l</i>	104,1 ± 3,6	103,8 ± 7,4	100,4 ± 5,5	101,8 ± 5,9
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л / <i>Erythrocytes, 10<sup>12</sup>/l</i>	0,41 ± 0,03	0,41 ± 0,06	0,59 ± 0,04**	0,42 ± 0,05
Тромбоциты, 10 <sup>9</sup> /л / <i>Trombocytes, 10<sup>9</sup>/l</i>	74,3 ± 12,5	70,6 ± 9,2	69,3 ± 11,0	105 ± 14,6*
Средний объем тромбоцитов, фл / <i>Mean platelet volume, fl</i>	5,7 ± 1,6	8,1 ± 0,4	9,3 ± 0,3*	8,7 ± 0,3*
Тромбокрит, % / <i>Thrombocrit, %</i>	0,03 ± 0,006	0,06 ± 0,01*	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,015*
Гемоглобин, г/л / <i>Hemoglobin, g/l</i>	132,3 ± 3,1	141,3 ± 3,4*	152 ± 7,8*	153,7 ± 7,1*
Гематокрит, % / <i>Hematocrit, %</i>	7,2 ± 0,8	7,1 ± 0,7	10,2 ± 1,3	6,1 ± 0,9
Средний объем эритроцитов, фл / <i>Mean corpuscular volume, fl</i>	172,3 ± 10,7	181 ± 10,5	174 ± 9,5	166 ± 8,5
Ширина распределения эритроцитов, % / <i>Width of erythrocytes distribution, %</i>	55,8 ± 3,6	62,8 ± 3,8	55,7 ± 4,1	65,6 ± 7,3
Лимфоциты, 10 <sup>9</sup> /л / <i>Lymphocytes, 10<sup>9</sup>/l</i>	102,3 ± 8,0	101,1 ± 7,8	99 ± 8,5	104 ± 9,3
СОЭ, мм/ч / <i>ESR, mm/h</i>	4,0 ± 0,57	4,0 ± 0,38	4,0 ± 0,25	4,0 ± 0,48

Примечание: \* – P ≤ 0,05; \*\* – P ≤ 0,01 в сравнении с контрольной группой

Note: \* – P ≤ 0.05; \*\* – P ≤ 0.01 compared to the control group

Таблица 2. Биохимический состав сыворотки крови карпа  
Table 2. Biochemical composition of blood serum of carp

Наименование показателей / <i>Indicators</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контроль / <i>control</i>	I	II	III
Глюкоза, ммоль/л / <i>Glucose, mmol/l</i>	4,02 ± 0,17	5 ± 0,21**	5,54 ± 0,23**	6,29 ± 0,31***
Общий белок, г/л / <i>Total protein, g/l</i>	27,5 ± 2,5	31,9 ± 2,0	22,54 ± 1,6	35,1 ± 2,2*
Альбумин, г/л / <i>Albumin, g/l</i>	9,3 ± 0,6	9,3 ± 1,0	10 ± 0,6	8,7 ± 1,2
АЛТ, Ед/л / <i>ALT, U/l</i>	165,3 ± 9,1	196,3 ± 11,1*	206,9 ± 8,3*	154,4 ± 9,5
АСТ, Ед/л / <i>AST, U/l</i>	420,3 ± 20,5	431,9 ± 14,1	357,7 ± 22,3*	348,3 ± 16,7*
Билирубин общий, мкмоль/л / <i>Total bilirubin, μmol/l</i>	0,92 ± 0,09	3,39 ± 0,45**	5,0 ± 1,0**	1,95 ± 0,4*
Холестерин, ммоль/л / <i>Cholesterol, μmol/l</i>	3,0 ± 0,35	2,89 ± 0,38	2,58 ± 0,44	2,44 ± 0,52
Триглицериды, ммоль/л / <i>Triglycerides, mmol/l</i>	2,02 ± 0,2	3,4 ± 0,45**	2,16 ± 0,17	2,03 ± 0,3
Мочевина, ммоль/л / <i>Urea, mmol/l</i>	2,6 ± 0,2	3,3 ± 0,27*	3,3 ± 0,25*	3,7 ± 0,31*
Креатинин, мкмоль/л / <i>Creatinine, μmol/l</i>	76,4 ± 4,5	76,4 ± 6,7	71,4 ± 5,0	80,2 ± 8,9
Мочевая кислота, мкмоль/л / <i>Uric acid, μmol/l</i>	199 ± 22,5	246,3 ± 22,7	297 ± 30,05*	114,7 ± 18,8*
Железо, мкмоль/л / <i>Iron, μmol/l</i>	57 ± 8,0	20,2 ± 7,9**	28,6 ± 8,6*	98,6 ± 17,1*
Магний, ммоль/л / <i>Magnesium, mmol/l</i>	1,66 ± 0,15	1,18 ± 0,21	1,3 ± 0,25	1,21 ± 0,26
Кальций, ммоль/л / <i>Calcium, mmol/l</i>	3,7 ± 0,2	3,6 ± 0,2	3,7 ± 0,15	3,7 ± 0,15
Фосфор, ммоль/л / <i>Phosphorus, mmol/l</i>	6,4 ± 0,15	5,42 ± 0,22**	7,23 ± 0,20**	6,5 ± 0,20

Примечание: \* – P ≤ 0,05; \*\* – P ≤ 0,01; \*\*\* – P ≤ 0,001 в сравнении с контрольной группой

Note: \* – P ≤ 0.05; \*\* – P ≤ 0.01; \*\*\* – P ≤ 0.001 compared to the control group

Кроме того, в опытных группах констатировали повышение содержания общего билирубина и мочевины относительно контрольных значений в 2,2-5,4 раза и на 26,9-42,3 % соответственно. Повышение мочевой кислоты установлено только во II опытной группе на 49 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контроля.

Уровень триглицеридов был достоверно выше контроля лишь в I опытной группе на 68,3 % ( $P \leq 0,01$ ).

Анализ трансаминаз установил увеличение активности аланинаминотрансферазы (АЛТ) в I опытной группе на 18,75 % ( $P \leq 0,05$ ) и во II опытной группе – на 25,2 % ( $P \leq 0,05$ ) и снижение активности аспаргатаминотрансферазы (АСТ) во II опытной группе на 85,1 % ( $P \leq 0,05$ ) и в III опытной группе – на 82,9 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контрольных значений.

Анализ минеральных компонентов сыворотки крови выявил снижение концентрации железа в I и II опытной группе на 64,4 % ( $P \leq 0,01$ ) и 50,2 % ( $P \leq 0,05$ ) соответственно, а в III опытной группе этот показатель был выше контроля на 72,9 % ( $P \leq 0,05$ ). Концентрация фосфора в I опытной группе была ниже контроля на 15,3 % ( $P \leq 0,01$ ), а во II опытной группе – выше на 12,9 % ( $P \leq 0,01$ ).

### **Обсуждение полученных результатов.**

Пробиотики, отдельно или в сочетании с различными биодобавками, могут повышать фагоцитарную, лизоцимную, комплементарную, дыхательную активность и экспрессию различных цитокинов у рыб, в том числе и с микроэлементами в различной форме (Kouhkan M et al., 2020; Ruiz ML et al., 2020; Suphoronski SA et al., 2021).

В настоящее время микроэлементы в ультрадисперсной форме открывают широкие возможности для разработки новых подходов повышения качества и биодоступности кормовых добавок (Jampilek J et al., 2019). Выбор бифидобактерий в исследованиях обусловлен данными их иммуностимулирующей активности (Abdolalipour E et al., 2020; Lee SH et al., 2021) и положительном влиянии на переваривание питательных веществ (Shen ZH et al., 2018; Ringø E et al., 2018). УДЧ кремния продемонстрировали свою безопасность (Akhter F et al., 2022) и перспективность использования в качестве стимуляторов обменных процессов, способных повысить продуктивность рыб (Alandiyany MN et al., 2022). Йод, селен и цинк необходимы организму для нормального роста и обмена веществ, и они являются катализатором для многих ферментативных систем (Saffari S et al., 2018).

Установленное повышение продуктивности роста рыб только в группах, в рационе которых присутствуют УДЧ  $\text{SiO}_2$  и бифидобактерии, во II и III опытных группах – на 9 % ( $P \leq 0,05$ ) и 16,4 % ( $P \leq 0,01$ ) соответственно относительно контроля, может свидетельствовать о синергизме действия УДЧ  $\text{SiO}_2$ , пробиотических штаммов *Bifidobacterium* и микроэлементов (Dangi P et al., 2023). Подобный эффект обусловлен тем, что кремний в ультрадисперсной форме способствует повышению переваривания и поглощения питательных веществ посредством контролируемой инкапсуляции и высвобождения питательных веществ из желудочно-кишечного тракта во внутреннюю среду организма, и как следствие повышает усвояемость корма и, следовательно, рост рыбы (Pieszka M et al., 2019; Bashar A et al., 2021). Бифидобактерии в свою очередь повышают усвояемость питательных веществ за счёт повышения активности пищеварительных ферментов, в частности увеличивая доступность экзоферментов в пищеварительном тракте (Sahandi J et al., 2019), а также улучшая пищеварительный процесс за счёт увеличения полезной микрофлоры желудочно-кишечного тракта с последующим влиянием на переваривание и всасывание (Noor Z et al., 2020).

При этом лучшая динамика роста рыбы, зафиксированная в III опытной группе, связана с добавлением в рацион микроэлементов (йод, селен, цинк), которые активно используются бифидобактериями для продуцирования бактериоцинов и ферментов (Tachibana L et al., 2020). Кроме того, пробиотические штаммы бактерий способны увеличивать абсорбцию этих микроэлементов из ЖКТ (Ghodrati M et al., 2021).

Широкий спектр исследований в области кормления рыб различными биодобавками (Syed Raffic Ali S et al., 2018; Saffari S et al., 2018; Ghodrati M et al., 2021; Afshari A et al., 2021) позволяют выделить связь между продуктивностью роста и гематологическими показателями рыбы.

Влияние исследуемых добавок на обменные процессы в организме рыб подтверждают данные морфологического состава крови (Esmaeili M, 2021), в частности, установленное повышение уровня гемоглобина, эритроцитов, тромбоцитов и тромбокрит в опытных группах согласуется с данными гематостимулирующего эффекта кремния (Selvarajan V et al., 2020; Mahboub HH et al., 2022) и пробиотических штаммов бактерий (Salam MA et al., 2021; El-Saadony MT et al., 2021), и повышение морфологических параметров крови непосредственно связано с интенсивным ростом рыбы (Ghodrati M et al., 2021). Показатель СОЭ говорит об отсутствии каких-либо патологических процессов в организме рыб подопытных групп.

Общий белок выполняет широкий спектр функций, включая поддержание осмотического давления, рН, транспортировку различных метаболитов и тесное взаимодействие с иммунитетом. Считается, что повышение уровня общего белка связано со стимуляцией иммунной системы организма (Hedayati et al., 2018; Mişe Yonar S, 2019). Установленное повышение количества общего белка в III опытной группе свидетельствует о более высоком уровне метаболических процессов в организме карпов, потреблявших комплекс исследуемых добавок (Opiyo MA et al., 2019; Явников Н.В., 2020; Hosseini H et al., 2022), за счёт активизации гуморального иммунитета на фоне УДЧ кремния, а также комплекса микроэлементов (Alandiyjany MN et al., 2022).

Отмеченное повышение концентрации глюкозы во всех опытных группах можно рассматривать как позитивное действие исследуемых добавок на метаболизм организма в целом (Мирошников С.А. и др., 2020), является следствием активации обменных реакций и говорит о высокой резистентности организма, что согласуется с литературными данными (Kondera E et al., 2020; Gayed MA et al., 2021). Глюкоза играет большую роль в метаболизме эритроцитов, так как энергия клетки обеспечивается реакцией гликолиза и пентозофосфатным путем (Kosmachevskaya OV et al., 2021).

Зафиксированное повышение уровня АЛТ в I и II опытных группах может быть связано с нарушениями процессов перекисного окисления липидов в печени, обусловленное интенсивным ростом рыбы, при котором выбрасывается большое количество продуктов метаболизма (Мирошникова Е.П., и др., 2018). Однако существуют данные, что повышение АЛТ может свидетельствовать о функциональных нарушениях печени, связанных с изменениями микробиоценоза желудочно-кишечного тракта (Линецкая О.И. и др., 2018; Ibrahim RE, 2019), но значения АСТ, альбумина и холестерина не подтверждают этого (Ashouri G et al., 2018; Seibel H et al., 2021). Аналогичные эффекты наблюдались и в других исследованиях (Saravanan K et al., 2021; Tachibana L et al., 2020). Одной из вероятных причин увеличения АЛТ может быть изменение проницаемости плазматической мембраны в клетках печени, что косвенно подтверждает повышение общего билирубина в опытных группах в 2,2-5,4 раза (Veisi RS et al., 2021).

Установленное повышение уровня мочевины в крови рыб является регуляторным механизмом поддержания положительного азотного баланса в целях снижения негативного влияния аммиака на организм (Xu M et al., 2019).

Действие исследуемых добавок на содержание железа и фосфора в сыворотке крови были неоднозначными. Так, в I опытной группе (ОР+микроэлементы) констатировали снижение их уровня относительно контрольных значений, во II опытной группе (ОР+УДЧ SiO<sub>2</sub>+Бифидобиом) наблюдали снижение концентрации железа и повышение фосфора, а в III опытной группе (ОР+УДЧ SiO<sub>2</sub>+Бифидобиом+микроэлементы) уже установлено повышение концентрации железа. Подобная картина согласуется с ранее проведёнными исследованиями (Мирошникова Е.П., и др., 2020) и связана со способностью микроэлементов и пробиотических штаммов бактерий влиять на абсорбцию и транспортировку минеральных веществ в организме (Michalak I et al., 2022; Mugwan-ya M et al., 2022).



**Заключение.**

Совместное использование в рационе карпа УДЧ SiO<sub>2</sub>, пробиотика Бифидобиом и комплекса микроэлементов (йод, селен, цинк) оказывает ростостимулирующий эффект по сравнению с их отдельным включением и сопряжено с улучшением ряда гематологических показателей рыб: гемоглобин, тромбоциты, общий белок, глюкоза и железо.

**Список источников**

1. Биологическое действие ультрадисперсных частиц диоксида кремния и комплекса аминокислот на организм карпа / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Киякова // Ветеринария и кормление. 2022. № 5. С. 4-7. [Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of silicon dioxide and amino acid complex on the body of carp. *Veterinary and Feeding*. 2022;5:4-7. (*In Russ.*)]. doi: 10.30917/АТТ-VK-1814-9588-2022-5-1
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. Гематологические параметры молоди стерляди на фоне совместного использования культуры *Bacillus subtilis* и наночастиц сплава Cu-Zn / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Киякова, М.С. Мирошникова, К.А. Маленкина, И.С. Мирошников // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 3. С. 100-109. [Miroshnikova EP, Arinjanov AY, Kilyakova YV, Miroshnikova MS, Malenkina KA, Miroshnikov IS. Hematological parameters of young sterlet against the background of the combined use of *Bacillus subtilis* and Cu-Zn alloy nanoparticles. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(3):100-109. (*In Russ.*)].
4. Линецкая О.И., Нургалеева Е.А., Эткина Э.И. Динамика биохимических параметров крови крыс препубертатного возраста на фоне углеводного типа питания с дополнительной коррекцией микробиома желудочно-кишечного тракта биотиком // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2018. Т. 6. № 3. С. 366-373. [Linetskaya OI, Nurgaleeva EA, Etkina EI. Dynamics of biochemical parameters of blood of prepubescent age rats kept on carbohydrate type of food with additional correction of the microbiome of digestive tract by biotic. *Science of the young (Eruditio Juvenium)*. 2018;6(3):366-373. (*In Russ.*)]. doi: 10.23888/НМЖ201863366-373
5. Мирошников С.А., Мустафина А.С., Губайдуллина И.З. Оценка действия ультрадисперсного оксида кремния на организм цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 1. С. 20-32. [Miroshnikov SA, Mustafina AS, Gubaidullina IZ. Evaluation of action of ultrafine silicon oxide on the body of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(1):20-32. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-20
6. Способ коррекции микробиома кишечника для повышения резистентности организма рыб: пат. 2785408 Рос. Федерация / А.Е. Аринжанов, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Киякова, М.С. Аринжанова. Заявл. 17.10.2022; опубл. 07.12.2022, Бюл. № 34. [Arinzhanov AE, Miroshnikova EP, Kiliakova IV, Arinzhanova MS. Method for correcting the intestinal microbiome to increase the resistance of the fish organism: pat. 2785408 Ros. Federatsiya, Zayavl. 17.10.2022; opubl. 07.12.2022, Byul. № 34. (*In Russ.*)].
7. Явников Н.В. Опыт применения функциональных кормов с пробиотическими культурами при выращивании карпа // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2020. № 3(60). С. 86-92. [Yavnikov NV. Experience of application of functional feeds with probiotic cultures for carp rearing. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*. 2020;3(60):86-92. (*In Russ.*)]. doi: 10.34655/bgsha.2020.60.3.013

8. Abdel-Tawwab M, Monier MN, Hoseinifar SH, Faggio C. Fish response to hypoxia stress: growth, physiological, and immunological biomarkers. *Fish Physiol Biochem.* 2019;45(3):997-1013. doi: 10.1007/s10695-019-00614-9
9. Abdolalipour E, Mahooti M, Salehzadeh A, Torabi A, Mohebbi SR, Gorji A, Ghaemi A. Evaluation of the antitumor immune responses of probiotic *Bifidobacterium bifidum* in human papillomavirus-induced tumor model. *Microb Pathog.* 2020;145:104207. doi: 10.1016/j.micpath.2020.104207
10. Adegbeye MJ, Elghandour MMY, Barbabosa-Pliego A, Monroy JC, Mellado M, Ravi Kanth Reddy P, Salem AZM. Nanoparticles in equine nutrition: mechanism of action and application as feed additives. *J Equine Vet Sci.* 2019;78:29-37. doi: 10.1016/j.jevs.2019.04.001
11. Adéyèmi AD, Kayodé APP, Chabi IB, Odouaro OBO, Nout MJR, Linnemann AR. Screening local feed ingredients of Benin, West Africa, for fish feed formulation. *Aquaculture Reports.* 2020;17:100386. doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100386
12. Afshari A, Sourinejad I, Gharaei A, Johari SA, Ghasemi Z. The effects of diet supplementation with inorganic and nanoparticulate iron and copper on growth performance, blood biochemical parameters, antioxidant response and immune function of snow trout *Schizothorax zarudnyi* (Nikolskii, 1897). *Aquaculture.* 2021;539:736638. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736638
13. Akhter F, Rao AA, Abbasi MN, Wahocho SA, Mallah MA, Anees-ur-Rehman H, Chandio Z. A comprehensive review of synthesis, applications and future prospects for silica nanoparticles (SNPs). *Silicon.* 2022;14:8295-8310. doi: 10.1007/s12633-021-01611-5
14. Alandiyjany MN, Kishawy ATY, Abdelfattah-Hassan A, Eldoumani H, Elazab ST, El-Mandrawy SAM, Saleh AA, ElSawy NA, Attia YA, Arisha AH, Ibrahim D. Nano-silica and magnetized-silica mitigated lead toxicity: Their efficacy on bioaccumulation risk, performance, and apoptotic targeted genes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquat Toxicol.* 2022;242:106054. doi: 10.1016/j.aquatox.2021.106054
15. Alkushi AG, Abdelfattah-Hassan A, Eldoumani H, Elazab ST, Mohamed SAM, Metwally AS, S El-Shetry E, Saleh AA, ElSawy NA, Ibrahim D. Probiotics-loaded nanoparticles attenuated colon inflammation, oxidative stress, and apoptosis in colitis. *Sci Rep.* 2022;12(1):5116. doi: 10.1038/s41598-022-08915-5
16. Amenyogbe E, Chen G, Wang Z, Huang J, Huang B, Li H. The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: present study, limitations and future directions: a review. *Aquac Int.* 2020;28:1017-1041. doi: 10.1007/s10499-020-00509-0
17. Ashouri G, Mahboobi Soofiani N, Hoseinifar SH, Jalali SAH, Morshedi V, Van Doan H, Torfi Mozanzadeh M. Combined effects of dietary low molecular weight sodium alginate and *Pediococcus acidilactici* MA18/5M on growth performance, haematological and innate immune responses of Asian sea bass (*Lates calcalifer*) juveniles. *Fish Shellfish Immunol.* 2018;79:34-41. doi: 10.1016/j.fsi.2018.05.009
18. Bashar A, Hasan NA, Haque MM, Rohani MF, Hossain MS. Effects of dietary silica nanoparticle on growth performance, protein digestibility, hematology, digestive morphology, and muscle composition of Nile tilapia, *Oreochromis Niloticus*. *Front Mar Sci.* 2021;8:706179. doi: 10.3389/fmars.2021.706179
19. Bhagat S, Singh S. Nanominerals in nutrition: Recent developments, present burning issues and future perspectives. *Food Res Int.* 2022;160:111703. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111703
20. Borges N, Keller-Costa T, Sanches-Fernandes G, Louvado A, Gomes N, Costa R. Bacteriome structure, function, and probiotics in fish larviculture: The good, the bad, and the gaps. *Annu Rev Anim Biosci.* 2021;9:423-452. doi: 10.1146/annurev-animal-062920-113114
21. Canosa LF, Bertucci JI. Nutrient regulation of somatic growth in teleost fish. The interaction between somatic growth, feeding and metabolism. *Mol Cell Endocrinol.* 2020;518:111029. doi: 10.1016/j.mce.2020.111029
22. Daliri EB, Ofosu FK, Xiuqin C, Chelliah R, Oh DH. Probiotic effector compounds: Current knowledge and future perspectives. *Front Microbiol.* 2021;12:655705. doi: 10.3389/fmicb.2021.655705
23. Dangi P, Chaudhary N, Chaudhary V, Viridi AS, Kajla P, Khanna P, Jha SK, Jha NK, Alkhanani MF, Singh V, Haque S. Nanotechnology impacting probiotics and prebiot-

ics: a paradigm shift in nutraceuticals technology. *Int J Food Microbiol.* 2023;388:110083. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110083

24. 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.* 2021;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007

25. Esmaili M. Blood performance: a new formula for fish growth and health. *Biology (Basel).* 2021;10(12):1236. doi: 10.3390/biology10121236

26. Fan X, Yang F, Nie C, Ma L, Cheng C, Haag R. Biocatalytic nanomaterials: a new pathway for bacterial disinfection. *Adv Mater.* 2021;33(33):e2100637. doi: 10.1002/adma.202100637

27. Gayed MA, Elabd H, Tageldin M, Abbass A. Probiotic Zado® (*Ruminococcus Flavefaciens*) boosts hematology, immune, serum proteins, and growth profiles in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol Rep.* 2021;2:100021. doi: 10.1016/j.fsirep.2021.100021

28. Ghodrati M, Islami HR, Shekarabi SPH, Masouleh AS, Mehrgan MS. Combined effects of enzymes and probiotics on hemato-biochemical parameters and immunological responses of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Fish Shellfish Immunol.* 2021;112:116-124. doi: 10.1016/j.fsi.2021.03.003

29. Granby K, Amlund H, Valente LMP, Dias J, Adoff G, Sousa V, Marques A, Sloth JJ, Larsen BK. Growth performance, bioavailability of toxic and essential elements and nutrients, and biofortification of iodine of rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) fed blends with sugar kelp (*Saccharina latisima*). *Food Chem Toxicol.* 2020;141:111387. doi: 10.1016/j.fct.2020.111387

30. Hasan KN, Banerjee G. Recent studies on probiotics as beneficial mediator in aquaculture: review. *J Basic Appl Zool.* 2020;81:53. doi: 10.1186/s41936-020-00190-y

31. Hedayati A, Darabitarab F, Bagheri T, Hedayati E, Van Doan H. Histopathological impairment of common carp (*Cyprinus carpio*) induced through povidone-iodine exposure. *Microsc Res Tech.* 2018;81(11):1257-1260. doi: 10.1002/jemt.23131

32. Hosseini H, Pooyanmehr M, Foroughi A, Esmaili M, Ghiasi F, Lorestany R. Remarkable positive effects of figwort (*Scrophularia striata*) on improving growth performance, and immunohematological parameters of fish. *Fish Shellfish Immunol.* 2022;120:111-121. doi: 10.1016/j.fsi.2021.11.020

33. Hosseinpour S, Walsh LJ, Xu C. Biomedical application of mesoporous silica nanoparticles as delivery systems: a biological safety perspective. *J Mater Chem B.* 2020;8(43):9863-9876. doi: 10.1039/d0tb01868f

34. Huang Y, Li P, Zhao R, Zhao L, Liu J, Peng S, Fu X, Wang X, Luo R, Wang R, Zhang Z. Silica nanoparticles: Biomedical applications and toxicity. *Biomed Pharmacother.* 2022;151:113053. doi: 10.1016/j.biopha.2022.113053

35. Ibrahim RE, El-Houseiny W, Behairy A, Mansour MF, Abd-Elhakim YM. Ameliorative effects of *Moringa oleifera* seeds and leaves on chlorpyrifos-induced growth retardation, immune suppression, oxidative stress, and DNA damage in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture.* 2019;505:225-234. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.02.050

36. Jampilek J, Kos J, Kralova K. Potential of nanomaterial applications in dietary supplements and foods for special medical purposes. *Nanomaterials (Basel).* 2019;9(2):296. doi: 10.3390/nano9020296

37. Kondera E, Bojarski B, Ługowska K, Kot B, Witeska M. Effects of oxytetracycline and gentamicin therapeutic doses on hematological, biochemical and hematopoietic parameters in *Cyprinus carpio* juveniles. *Animals (Basel).* 2020;10(12):2278. doi: 10.3390/ani10122278

38. Kosmachevskaya OV, Novikova NN, Topunov AF. Carbonyl stress in red blood cells and hemoglobin. *Antioxidants.* 2021;10(2):253. doi: 10.3390/antiox10020253

39. Kouhkan M, Ahangar P, Babaganjeh LA, Allahyari-Devin M. Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using *Lactobacillus casei* subsp. *casei* and its anticancer and antibacterial activities. *Curr Nanosci.* 2020;16(1):101-111. doi: 10.2174/1573413715666190318155801

40. Kulasza M, Skuza L. Changes of gene expression patterns from aquatic organisms exposed to metal nanoparticles. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(16):8361. doi: 10.3390/ijerph18168361

41. Lall SP, Kaushik SJ. Nutrition and metabolism of minerals in fish. *Animals (Basel)*. 2021;11(9):2711. doi: 10.3390/ani11092711

42. Lee SH, Cho SY, Yoon Y, Park C, Sohn J, Jeong JJ, Jeon BN, Jang M, An C, Lee S, Kim YY, Kim G, Kim S, Kim Y, Lee GB, Lee EJ, Kim SG, Kim HS, Kim Y, Kim H, Yang HS, Kim S, Kim S, Chung H, Moon MH, Nam MH, Kwon JY, Won S, Park JS, Weinstock GM, Lee C, Yoon KW, Park H. *Bifidobacterium bifidum* strains synergize with immune checkpoint inhibitors to reduce tumour burden in mice. *Nat Microbiol*. 2021;6(3):277-288. doi: 10.1038/s41564-020-00831-6

43. Mahboub HH, Shahin K, Mahmoud SM, Altohamy DE, Husseiny WA, Mansour DA, Shalaby SI, Gaballa MMS, Shaalan M, Alkafafy M, Rahman ANA. Silica nanoparticles are novel aqueous additive mitigating heavy metals toxicity and improving the health of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquat Toxicol*. 2022;249:106238. doi: 10.1016/j.aquatox.2022.106238

44. Mechlaoui M, Dominguez D, Robaina L, Geraert P-A, Kaushik S, Saleh R, Briens M, Montero D, Izquierdo M. Effects of different dietary selenium sources on growth performance, liver and muscle composition, antioxidant status, stress response and expression of related genes in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*. 2019;507:251-259. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.037

45. 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

46. Mişe Yonar S. Growth performance, haematological changes, immune response, antioxidant activity and disease resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diet supplemented with ellagic acid. *Fish Shellfish Immunol*. 2019;95:391-398. doi: 10.1016/j.fsi.2019.10.056

47. 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-z

48. Mugwanya M, Dawood MAO, Kimera F, Sewilam H. Updating the role of probiotics, prebiotics, and synbiotics for tilapia aquaculture as leading candidates for food sustainability: a review. *Probiotics Antimicrob Proteins*. 2022;14(1):130-157. doi: 10.1007/s12602-021-09852-x

49. Naylor RL, Hardy RW, Buschmann AH, Bush SR, Cao L, Klinger DH, Little DC, Lubchenco J, Shumway SE, Troell M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 2021;591(7851):551-563. doi: 10.1038/s41586-021-03308-6

50. Noor Z, Noor M, Khan I, Khan SA. Evaluating the lucrative role of probiotics in the aquaculture using microscopic and biochemical techniques. *Microsc Res Tech*. 2020;83(3):310-317. doi: 10.1002/jemt.23416

51. Opiyo MA, Jumbe J, Ngugi CC, Charo-Karisa H. Different levels of probiotics affect growth, survival and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in low input ponds. *Scientific African*. 2019;4(2):e00103. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00103

52. 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

53. Pereira SA, Jesus GFA, Pereira GV, Silva BC, Sá LS, Martins ML, Mouriño JLP. The chelating mineral on organic acid salts modulates the dynamics and richness of the intestinal microbiota of a silver catfish *Rhamdia quelen*. *Curr Microbiol*. 2020;77(8):1483-1495. doi: 10.1007/s00284-020-01962-z

54. Pieszka M, Bederska-Łojewska D, Szczurek P, Pieszka M. The membrane interactions of nano-silica and its potential application in animal nutrition. *Animals (Basel)*. 2019;9(12):1041. doi: 10.3390/ani9121041

55. Ringø E, Hoseinifar SH, Ghosh K, Doan HV, Beck BR, Song SK. Lactic acid bacteria in finfish-an update. *Front Microbiol*. 2018;9:1818. doi: 10.3389/fmicb.2018.01818

56. Rohani MF, Bristy AA, Hasan J, Hossain MK, Shahjahan M. Dietary zinc in association with vitamin e promotes growth performance of Nile tilapia. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(9):4150-4159. doi: 10.1007/s12011-021-03001-9

57. Rondanelli M, Faliva MA, Peroni G, Gasparri C, Perna S, Riva A, Petrangolini G, Tartara A. Silicon: A neglected micronutrient essential for bone health. *Exp Biol Med* (Maywood). 2021;246(13):1500-1511. doi: 10.1177/1535370221997072
58. Ruiz ML, Owatari MS, Yamashita MM, Ferrarezi JVS, Garcia P, Cardoso L, Martins ML, Mouriño JLP. Histological effects on the kidney, spleen, and liver of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed different concentrations of probiotic *Lactobacillus plantarum*. *Trop Anim Health Prod*. 2020;52(1):167-176. doi: 10.1007/s11250-019-02001-1
59. Sabio L, Sosa A, Delgado-López JM, Dominguez-Vera JM. Two-sided antibacterial cellulose combining probiotics and silver nanoparticles. *Molecules*. 2021;26(10):2848. doi: 10.3390/molecules26102848
60. Saffari S, Keyvanshokoo S, Zakeri M, Johari SA, Pasha-Zanoosi H, Mozanzadeh MT. Effects of dietary organic, inorganic, and nanoparticulate selenium sources on growth, hemato-immunological, and serum biochemical parameters of common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiol Biochem*. 2018;44(4):1087-1097. doi: 10.1007/s10695-018-0496-y
61. Saghiri MA, Vakhnovetsky J, Vakhnovetsky A. Functional role of inorganic trace elements in dentin apatite-Part II: Copper, manganese, silicon, and lithium. *J Trace Elem Med Biol*. 2022;72:126995. doi: 10.1016/j.jtemb.2022.126995
62. Sahandi J, Jafaryan H, Soltani M, Ebrahimi P. The use of two bifidobacterium strains enhanced growth performance and nutrient utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Probiotics Antimicrob Proteins*. 2019;11(3):966-972. doi: 10.1007/s12602-018-9455-2
63. Salam MA, Islam MA, Paul SI, Rahman MM, Rahman ML, Islam F, Rahman A, Shaha DC, Alam MS, Islam T. Gut probiotic bacteria of *Barbonymus gonionotus* improve growth, hematological parameters and reproductive performances of the host. *Sci Rep*. 2021;11(1):10692. doi: 10.1038/s41598-021-90158-x
64. Saravanan K, Sivaramakrishnan T, Praveenraj J, Kiruba-Sankar R, Haridas H, Kumar S, Varghese B. Effects of single and multi-strain probiotics on the growth, hemato-immunological, enzymatic activity, gut morphology and disease resistance in Rohu, *Labeo rohita*. *Aquaculture*. 2021;540:736749. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736749
65. Seibel H, Baßmann B, Rebl A. Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Front Vet Sci*. 2021;8:616955. doi: 10.3389/fvets.2021.616955
66. Selvarajan V, Obuobi S, Ee PLR. Silica nanoparticles-a versatile tool for the treatment of bacterial infections. *Front Chem*. 2020;8:602. doi: 10.3389/fchem.2020.00602
67. Shen ZH, Zhu CX, Quan YS, Yang ZY, Wu S, Luo WW, Tan B, Wang XY. Relationship between intestinal microbiota and ulcerative colitis: Mechanisms and clinical application of probiotics and fecal microbiota transplantation. *World J Gastroenterol*. 2018;24(1):5-14. doi: 10.3748/wjg.v24.i1.5
68. Simakov G, Nikiforov-Nikishin AL, Nikiforov-Nikishin DL, Beketov SV, Kochetkov NI, Klimov VA. Histological changes in the liver, intestines and kidneys of *Clarias gariepinus* when using feed with chelated compounds. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(3):2380-2391. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.03.331
69. Squitti R, Negrouk V, Perera M, Llabre MM, Ricordi C, Rongioletti MCA, Mendez AJ. Serum copper profile in patients with type 1 diabetes in comparison to other metals. *J Trace Elem Med Biol*. 2019;56:156-161. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.08.011
70. Suphoronski SA, de Souza FP, Chideroli RT, Mantovani Favero L, Ferrari NA, Ziemniczak HM, Gonçalves DD, Lopera Barrero NM, Pereira UP. Effect of *Enterococcus faecium* as a water and/or feed additive on the gut microbiota, hematologic and immunological parameters, and resistance against francisellosis and streptococcosis in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Front Microbiol*. 2021;12:743957. doi: 10.3389/fmicb.2021.743957
71. Syed Raffic Ali S, Ambasankar K, Praveena PE, Nandakumar S, Saiyad Musthafa M. Effect of dietary prebiotic inulin on histology, immuno-haematological and biochemical parameters of Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquac Res*. 2018;49:2732-2740. doi: 10.1111/are.13734

72. Tachibana L, Telli GS, de Carla Dias D, Gonçalves GS, Ishikawa CM, Cavalcante RB, Natori MM, Hamed SB, Ranzani-Paiva MJT. Effect of feeding strategy of probiotic *Enterococcus faecium* on growth performance, hematologic, biochemical parameters and non-specific immune response of Nile tilapia. *Aquac Rep.* 2020;16:100277. doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100277

73. Veisi RS, Hedayati A, Mazandarani M, Nodeh AJ, Bagheri T. Dietary beet molasses enhanced immunity system of common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to copper nano oxide, CuO-NP. *Aquac Rep.* 2021;19:100589. doi: 10.1016/j.aqrep.2021.100589

74. Xu M, Wang T, Wang J, Wan W, Wang Z, Guan D, Sun H. An evaluation of mixed plant protein in the diet of Yellow River carp (*Cyprinus carpio*): growth, body composition, biochemical parameters, and growth hormone/insulin-like growth factor 1. *Fish Physiol Biochem.* 2019;45(4):1331-1342. doi: 10.1007/s10695-019-00641-6

75. Zaiter T, Cornu R, Millot N, Herbst M, Pellequer Y, Moarbess G, Martin H, Diab-Assaf M, Béduneau A. Size effect and mucus role on the intestinal toxicity of the E551 food additive and engineered silica nanoparticles. *Nanotoxicology.* 2022;16(2):165-182. doi: 10.1080/17435390.2022.2063084

### References

1. Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of silicon dioxide and amino acid complex on the body of carp. *Veterinary and Feeding.* 2022;5:4-7. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-5-1

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. Miroshnikova EP, Arinjanov AY, Kilyakova YV, Miroshnikova MS, Malenkina KA, Miroshnikov IS. Hematological parameters of young sterlet against the background of the combined use of *Bacillus subtilis* and Cu-Zn alloy nanoparticles. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2018;101(3):100-109.

4. Linetskaya OI, Nurgaleeva EA, Etkina EI. Dynamics of biochemical parameters of blood of prepubescent age rats kept on carbohydrate type of food with additional correction of the microbiome of digestive tract by biotic. *Science of the Young (Eruditio Juvenium).* 2018;6(3):366-373. doi: 10.23888/HMJ201863366-373

5. Miroshnikov SA, Mustafina AS, Gubaidullina IZ. Evaluation of action of ultrafine silicon oxide on the body of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2020;103(1):20-32. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-20

6. Arinzhanov AE, Miroshnikova EP, Kiliakova IV, Arinzhanova MS. Method for correcting the intestinal microbiome to increase the resistance of the fish organism: pat. 2785408 Rus. Federation, Filing 17.10.2022; Publ. 07.12.2022, Bull. Number 34.

7. Yavnikov NV. Experience of application of functional feeds with probiotic cultures for carp rearing. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov.* 2020;3(60):86-92. doi: 10.34655/bgsha.2020.60.3.013

8. Abdel-Tawwab M, Monier MN, Hoseinifar SH, Faggio C. Fish response to hypoxia stress: growth, physiological, and immunological biomarkers. *Fish Physiol Biochem.* 2019;45(3):997-1013. doi: 10.1007/s10695-019-00614-9

9. Abdolalipour E, Mahooti M, Salehzadeh A, Torabi A, Mohebbi SR, Gorji A, Ghaemi A. Evaluation of the antitumor immune responses of probiotic *Bifidobacterium bifidum* in human papillomavirus-induced tumor model. *Microb Pathog.* 2020;145:104207. doi: 10.1016/j.micpath.2020.104207

10. Adegbeye MJ, Elghandour MMY, Barbabosa-Pliego A, Monroy JC, Mellado M, Ravi Kanth Reddy P, Salem AZM. Nanoparticles in equine nutrition: mechanism of action and application as feed additives. *J Equine Vet Sci.* 2019;78:29-37. doi: 10.1016/j.jevs.2019.04.001

11. Adéyèmi AD, Kayodé APP, Chabi IB, Odouaro OBO, Nout MJR, Linnemann AR. Screening local feed ingredients of Benin, West Africa, for fish feed formulation. *Aquaculture Reports*. 2020;17:100386. doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100386
12. Afshari A, Sourinejad I, Gharaei A, Johari SA, Ghasemi Z. The effects of diet supplementation with inorganic and nanoparticulate iron and copper on growth performance, blood biochemical parameters, antioxidant response and immune function of snow trout *Schizothorax zarudnyi* (Nikolskii, 1897). *Aquaculture*. 2021;539:736638. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736638
13. Akhter F, Rao AA, Abbasi MN, Wahocho SA, Mallah MA, Anees-ur-Rehman H, Chandio Z. A comprehensive review of synthesis, applications and future prospects for silica nanoparticles (SNPs). *Silicon*. 2022;14:8295-8310. doi: 10.1007/s12633-021-01611-5
14. Alandiyjany MN, Kishawy ATY, Abdelfattah-Hassan A, Eldoumani H, Elazab ST, El-Mandrawy SAM, Saleh AA, ElSawy NA, Attia YA, Arisha AH, Ibrahim D. Nano-silica and magnetized-silica mitigated lead toxicity: Their efficacy on bioaccumulation risk, performance, and apoptotic targeted genes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquat Toxicol*. 2022;242:106054. doi: 10.1016/j.aquatox.2021.106054
15. Alkushi AG, Abdelfattah-Hassan A, Eldoumani H, Elazab ST, Mohamed SAM, Metwally AS, S El-Shetry E, Saleh AA, ElSawy NA, Ibrahim D. Probiotics-loaded nanoparticles attenuated colon inflammation, oxidative stress, and apoptosis in colitis. *Sci Rep*. 2022;12(1):5116. doi: 10.1038/s41598-022-08915-5
16. Amenyogbe E, Chen G, Wang Z, Huang J, Huang B, Li H. The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: present study, limitations and future directions: a review. *Aquac Int*. 2020;28:1017-1041. doi: 10.1007/s10499-020-00509-0
17. Ashouri G, Mahboobi Soofiani N, Hoseinifar SH, Jalali SAH, Morshedi V, Van Doan H, Torfi Mozanzadeh M. Combined effects of dietary low molecular weight sodium alginate and *Pediococcus acidilactici* MA18/5M on growth performance, haematological and innate immune responses of Asian sea bass (*Lates calcalifer*) juveniles. *Fish Shellfish Immunol*. 2018;79:34-41. doi: 10.1016/j.fsi.2018.05.009
18. Bashar A, Hasan NA, Haque MM, Rohani MF, Hossain MS. Effects of dietary silica nanoparticle on growth performance, protein digestibility, hematology, digestive morphology, and muscle composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Front Mar Sci*. 2021;8:706179. doi: 10.3389/fmars.2021.706179
19. Bhagat S, Singh S. Nanominerals in nutrition: Recent developments, present burning issues and future perspectives. *Food Res Int*. 2022;160:111703. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111703
20. Borges N, Keller-Costa T, Sanches-Fernandes G, Louvado A, Gomes N, Costa R. Bacteriome structure, function, and probiotics in fish larviculture: The good, the bad, and the gaps. *Annu Rev Anim Biosci*. 2021;9:423-452. doi: 10.1146/annurev-animal-062920-113114
21. Canosa LF, Bertucci JI. Nutrient regulation of somatic growth in teleost fish. The interaction between somatic growth, feeding and metabolism. *Mol Cell Endocrinol*. 2020;518:111029. doi: 10.1016/j.mce.2020.111029
22. Daliri EB, Ofosu FK, Xiuqin C, Chelliah R, Oh DH. Probiotic effector compounds: Current knowledge and future perspectives. *Front Microbiol*. 2021;12:655705. doi: 10.3389/fmicb.2021.655705
23. Dangi P, Chaudhary N, Chaudhary V, Viridi AS, Kajla P, Khanna P, Jha SK, Jha NK, Alkhanani MF, Singh V, Haque S. Nanotechnology impacting probiotics and prebiotics: a paradigm shift in nutraceuticals technology. *Int J Food Microbiol*. 2023;388:110083. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110083
24. 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*. 2021;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007
25. Esmaeili M. Blood performance: a new formula for fish growth and health. *Biology (Basel)*. 2021;10(12):1236. doi: 10.3390/biology10121236
26. Fan X, Yang F, Nie C, Ma L, Cheng C, Haag R. Biocatalytic nanomaterials: a new pathway for bacterial disinfection. *Adv Mater*. 2021;33(33):e2100637. doi: 10.1002/adma.202100637

27. Gayed MA, Elabd H, Tageldin M, Abbass A. Probiotic Zado® (*Ruminococcus Flavefaciens*) boosts hematology, immune, serum proteins, and growth profiles in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol Rep.* 2021;2:100021. doi: 10.1016/j.fsirep.2021.100021
28. Ghodrati M, Islami HR, Shekarabi SPH, Masouleh AS, Mehrgan MS. Combined effects of enzymes and probiotics on hemato-biochemical parameters and immunological responses of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Fish Shellfish Immunol.* 2021;112:116-124. doi: 10.1016/j.fsi.2021.03.003
29. Granby K, Amlund H, Valente LMP, Dias J, Adoff G, Sousa V, Marques A, Sloth JJ, Larsen BK. Growth performance, bioavailability of toxic and essential elements and nutrients, and biofortification of iodine of rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) fed blends with sugar kelp (*Saccharina latisima*). *Food Chem Toxicol.* 2020;141:111387. doi: 10.1016/j.fct.2020.111387
30. Hasan KN, Banerjee G. Recent studies on probiotics as beneficial mediator in aquaculture: review. *J Basic Appl Zool.* 2020;81:53. doi: 10.1186/s41936-020-00190-y
31. Hedayati A, Darabitabar F, Bagheri T, Hedayati E, Van Doan H. Histopathological impairment of common carp (*Cyprinus carpio*) induced through povidone-iodine exposure. *Microsc Res Tech.* 2018;81(11):1257-1260. doi: 10.1002/jemt.23131
32. Hosseini H, Pooyanmehr M, Foroughi A, Esmaeili M, Ghiasi F, Lorestany R. Remarkable positive effects of figwort (*Scrophularia striata*) on improving growth performance, and immunohematological parameters of fish. *Fish Shellfish Immunol.* 2022;120:111-121. doi: 10.1016/j.fsi.2021.11.020
33. Hosseinpour S, Walsh LJ, Xu C. Biomedical application of mesoporous silica nanoparticles as delivery systems: a biological safety perspective. *J Mater Chem B.* 2020;8(43):9863-9876. doi: 10.1039/d0tb01868f
34. Huang Y, Li P, Zhao R, Zhao L, Liu J, Peng S, Fu X, Wang X, Luo R, Wang R, Zhang Z. Silica nanoparticles: Biomedical applications and toxicity. *Biomed Pharmacother.* 2022;151:113053. doi: 10.1016/j.biopha.2022.113053
35. Ibrahim RE, El-Houseiny W, Behairy A, Mansour MF, Abd-Elhakim YM. Ameliorative effects of *Moringa oleifera* seeds and leaves on chlorpyrifos-induced growth retardation, immune suppression, oxidative stress, and DNA damage in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture.* 2019;505:225-234. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.02.050
36. Jampilek J, Kos J, Kralova K. Potential of nanomaterial applications in dietary supplements and foods for special medical purposes. *Nanomaterials (Basel).* 2019;9(2):296. doi: 10.3390/nano9020296
37. Kondera E, Bojarski B, Ługowska K, Kot B, Witeska M. Effects of oxytetracycline and gentamicin therapeutic doses on hematological, biochemical and hematopoietic parameters in *Cyprinus carpio* juveniles. *Animals (Basel).* 2020;10(12):2278. doi: 10.3390/ani10122278
38. Kosmachevskaya OV, Novikova NN, Topunov AF. Carbonyl stress in red blood cells and hemoglobin. *Antioxidants.* 2021;10(2):253. doi: 10.3390/antiox10020253
39. Kouhkan M, Ahangar P, Babaganjeh LA, Allahyari-Devin M. Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using *Lactobacillus casei* subsp. *casei* and its anticancer and antibacterial activities. *Curr Nanosci.* 2020;16(1):101-111. doi: 10.2174/1573413715666190318155801
40. Kulasza M, Skuza L. Changes of gene expression patterns from aquatic organisms exposed to metal nanoparticles. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(16):8361. doi: 10.3390/ijerph18168361
41. Lall SP, Kaushik SJ. Nutrition and metabolism of minerals in fish. *Animals (Basel).* 2021;11(9):2711. doi: 10.3390/ani11092711
42. Lee SH, Cho SY, Yoon Y, Park C, Sohn J, Jeong JJ, Jeon BN, Jang M, An C, Lee S, Kim YY, Kim G, Kim S, Kim Y, Lee GB, Lee EJ, Kim SG, Kim HS, Kim Y, Kim H, Yang HS, Kim S, Kim S, Chung H, Moon MH, Nam MH, Kwon JY, Won S, Park JS, Weinstock GM, Lee C, Yoon KW, Park H. *Bifidobacterium bifidum* strains synergize with immune checkpoint inhibitors to reduce tumour burden in mice. *Nat Microbiol.* 2021;6(3):277-288. doi: 10.1038/s41564-020-00831-6
43. Mahboub HH, Shahin K, Mahmoud SM, Altohamy DE, Husseiny WA, Mansour DA, Shalaby SI, Gaballa MMS, Shaalan M, Alkafafy M, Rahman ANA. Silica nanoparticles are novel aqueous addi-



tive mitigating heavy metals toxicity and improving the health of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquat Toxicol.* 2022;249:106238. doi: 10.1016/j.aquatox.2022.106238

44. Mechlaoui M, Dominguez D, Robaina L, Geraert P-A, Kaushik S, Saleh R, Briens M, Montero D, Izquierdo M. Effects of different dietary selenium sources on growth performance, liver and muscle composition, antioxidant status, stress response and expression of related genes in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture.* 2019;507:251-259. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.037

45. 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

46. Mişer Yonar S. Growth performance, haematological changes, immune response, antioxidant activity and disease resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diet supplemented with ellagic acid. *Fish Shellfish Immunol.* 2019;95:391-398. doi: 10.1016/j.fsi.2019.10.056

47. 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-z

48. Mugwanya M, Dawood MAO, Kimera F, Sewilam H. Updating the role of probiotics, prebiotics, and synbiotics for tilapia aquaculture as leading candidates for food sustainability: a review. *Probiotics Antimicrob Proteins.* 2022;14(1):130-157. doi: 10.1007/s12602-021-09852-x

49. Naylor RL, Hardy RW, Buschmann AH, Bush SR, Cao L, Klinger DH, Little DC, Lubchenco J, Shumway SE, Troell M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature.* 2021;591(7851):551-563. doi: 10.1038/s41586-021-03308-6

50. Noor Z, Noor M, Khan I, Khan SA. Evaluating the lucrative role of probiotics in the aquaculture using microscopic and biochemical techniques. *Microsc Res Tech.* 2020;83(3):310-317. doi: 10.1002/jemt.23416

51. Opiyo MA, Jumbe J, Ngugi CC, Charo-Karisa H. Different levels of probiotics affect growth, survival and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in low input ponds. *Scientific African.* 2019;4(2):e00103. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00103

52. 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

53. Pereira SA, Jesus GFA, Pereira GV, Silva BC, Sá LS, Martins ML, Mouriño JLP. The chelating mineral on organic acid salts modulates the dynamics and richness of the intestinal microbiota of a silver catfish *Rhamdia quelen*. *Curr Microbiol.* 2020;77(8):1483-1495. doi: 10.1007/s00284-020-01962-z

54. Pieszka M, Bederska-Łojewska D, Szczurek P, Pieszka M. The membrane interactions of nano-silica and its potential application in animal nutrition. *Animals (Basel).* 2019;9(12):1041. doi: 10.3390/ani9121041

55. Ringø E, Hoseinifar SH, Ghosh K, Doan HV, Beck BR, Song SK. Lactic acid bacteria in finfish-an update. *Front Microbiol.* 2018;9:1818. doi: 10.3389/fmicb.2018.01818

56. Rohani MF, Bristy AA, Hasan J, Hossain MK, Shahjahan M. Dietary zinc in association with vitamin e promotes growth performance of Nile tilapia. *Biol Trace Elem Res.* 2022;200(9):4150-4159. doi: 10.1007/s12011-021-03001-9

57. Rondanelli M, Faliva MA, Peroni G, Gasparri C, Perna S, Riva A, Petrangolini G, Tartara A. Silicon: A neglected micronutrient essential for bone health. *Exp Biol Med (Maywood).* 2021;246(13):1500-1511. doi: 10.1177/1535370221997072

58. Ruiz ML, Owatari MS, Yamashita MM, Ferrarezi JVS, Garcia P, Cardoso L, Martins ML, Mouriño JLP. Histological effects on the kidney, spleen, and liver of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed different concentrations of probiotic *Lactobacillus plantarum*. *Trop Anim Health Prod.* 2020;52(1):167-176. doi: 10.1007/s11250-019-02001-1

59. Sabio L, Sosa A, Delgado-López JM, Dominguez-Vera JM. Two-sided antibacterial cellulose combining probiotics and silver nanoparticles. *Molecules*. 2021;26(10):2848. doi: 10.3390/molecules26102848
60. Saffari S, Keyvanshokoo S, Zakeri M, Johari SA, Pasha-Zanoosi H, Mozanzadeh MT. Effects of dietary organic, inorganic, and nanoparticulate selenium sources on growth, hemato-immunological, and serum biochemical parameters of common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiol Biochem*. 2018;44(4):1087-1097. doi: 10.1007/s10695-018-0496-y
61. Saghiri MA, Vakhnovetsky J, Vakhnovetsky A. Functional role of inorganic trace elements in dentin apatite-Part II: Copper, manganese, silicon, and lithium. *J Trace Elem Med Biol*. 2022;72:126995. doi: 10.1016/j.jtemb.2022.126995
62. Sahandi J, Jafaryan H, Soltani M, Ebrahimi P. The use of two bifidobacterium strains enhanced growth performance and nutrient utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Probiotics Antimicrob Proteins*. 2019;11(3):966-972. doi: 10.1007/s12602-018-9455-2
63. Salam MA, Islam MA, Paul SI, Rahman MM, Rahman ML, Islam F, Rahman A, Shaha DC, Alam MS, Islam T. Gut probiotic bacteria of *Barbonymus gonionotus* improve growth, hematological parameters and reproductive performances of the host. *Sci Rep*. 2021;11(1):10692. doi: 10.1038/s41598-021-90158-x
64. Saravanan K, Sivaramakrishnan T, Praveenraj J, Kiruba-Sankar R, Haridas H, Kumar S, Varghese B. Effects of single and multi-strain probiotics on the growth, hemato-immunological, enzymatic activity, gut morphology and disease resistance in Rohu, *Labeo rohita*. *Aquaculture*. 2021;540:736749. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736749
65. Seibel H, Baßmann B, Rebl A. Blood will tell: what hematological analyses can reveal about fish welfare. *Front Vet Sci*. 2021;8:616955. doi: 10.3389/fvets.2021.616955
66. Selvarajan V, Obuobi S, Ee PLR. Silica nanoparticles-a versatile tool for the treatment of bacterial infections. *Front Chem*. 2020;8:602. doi: 10.3389/fchem.2020.00602
67. Shen ZH, Zhu CX, Quan YS, Yang ZY, Wu S, Luo WW, Tan B, Wang XY. Relationship between intestinal microbiota and ulcerative colitis: Mechanisms and clinical application of probiotics and fecal microbiota transplantation. *World J Gastroenterol*. 2018;24(1):5-14. doi: 10.3748/wjg.v24.i1.5
68. Simakov G, Nikiforov-Nikishin AL, Nikiforov-Nikishin DL, Beketov SV, Kochetkov NI, Klimov VA. Histological changes in the liver, intestines and kidneys of *Clarias gariepinus* when using feed with chelated compounds. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(3):2380-2391. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.03.331
69. Squitti R, Negrouk V, Perera M, Llabre MM, Ricordi C, Rongioletti MCA, Mendez AJ. Serum copper profile in patients with type 1 diabetes in comparison to other metals. *J Trace Elem Med Biol*. 2019;56:156-161. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.08.011
70. Suphoronski SA, de Souza FP, Chideroli RT, Mantovani Favero L, Ferrari NA, Ziemińczak HM, Gonçalves DD, Lopera Barrero NM, Pereira UP. Effect of *Enterococcus faecium* as a water and/or feed additive on the gut microbiota, hematologic and immunological parameters, and resistance against francisellosis and streptococcosis in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Front Microbiol*. 2021;12:743957. doi: 10.3389/fmicb.2021.743957
71. Syed Raffic Ali S, Ambasankar K, Praveena PE, Nandakumar S, Saiyad Musthafa M. Effect of dietary prebiotic inulin on histology, immuno-haematological and biochemical parameters of Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquac Res*. 2018;49:2732-2740. doi: 10.1111/are.13734
72. Tachibana L, Telli GS, de Carla Dias D, Gonçalves GS, Ishikawa CM, Cavalcante RB, Natori MM, Hamed SB, Ranzani-Paiva MJT. Effect of feeding strategy of probiotic *Enterococcus faecium* on growth performance, hematologic, biochemical parameters and non-specific immune response of Nile tilapia. *Aquac Rep*. 2020;16:100277. doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100277
73. Veisi RS, Hedayati A, Mazandarani M, Nodeh AJ, Bagheri T. Dietary beet molasses enhanced immunity system of common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to copper nano oxide, CuO-NP. *Aquac Rep*. 2021;19:100589. doi: 10.1016/j.aqrep.2021.100589

74. Xu M, Wang T, Wang J, Wan W, Wang Z, Guan D, Sun H. An evaluation of mixed plant protein in the diet of Yellow River carp (*Cyprinus carpio*): growth, body composition, biochemical parameters, and growth hormone/insulin-like growth factor 1. *Fish Physiol Biochem.* 2019;45(4):1331-1342. doi: 10.1007/s10695-019-00641-6

75. Zaiter T, Cornu R, Millot N, Herbst M, Pellequer Y, Moarbess G, Martin H, Diab-Assaf M, Béduneau A. Size effect and mucus role on the intestinal toxicity of the E551 food additive and engineered silica nanoparticles. *Nanotoxicology.* 2022;16(2):165-182. doi: 10.1080/17435390.2022.2063084

#### **Информация об авторах:**

**Мария Сергеевна Аринжанова**, аспирант 2 года обучения, младший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, тел.: 8-922-867-57-10.

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

**Азамат Ерсанович 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 «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

#### **Information about the authors:**

**Maria S Arinzhanova**, 2st year postgraduate student, Junior Researcher, Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after Leushin SG, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 89228675710.

**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 03.02.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 20.03.2023.

The article was submitted 03.02.2023; approved after reviewing 10.03.2023; accepted for publication 20.03.2023.