

БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 639.3.043

doi:10.33284/2658-3135-106-2-8

**Влияние пробиотиков на элементный состав мышечной ткани карпа**

**Марина Сергеевна Зуева<sup>1,2</sup>, Елена Петровна Мирошникова<sup>3</sup>, Азамат Ерсайнович Аринжанов<sup>4</sup>, Юлия Владимировна Килякова<sup>5</sup>**

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

<sup>2,3,4,5</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1,2</sup>zueva@ms-98.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

<sup>3</sup>elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

<sup>4</sup>arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

<sup>5</sup>fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264>

**Аннотация.** Изучение элементного статуса рыб обусловлено антропогенным воздействием на организм гидробионтов и последующим накоплением опасных концентраций токсичных элементов. Использование пробиотических препаратов направлено на снижение накопления ряда макро- и микроэлементов в организме, в том числе в мышцах рыб. Целью проведённых исследований было изучение действия пробиотических препаратов на концентрацию химических элементов в мышечной ткани карпа. В работе представлены результаты влияния пробиотиков Атыш (*Enterococcus faecium* ( $2 \times 10^9$  КОЕ) и *Lactobacillus acidophilus* ( $1 \times 10^7$  КОЕ)) и Субтилис (*Bacillus subtilis* ( $2 \times 10^9$  КОЕ) и *Bacillus licheniformis* ( $2 \times 10^9$  КОЕ)) на элементный статус карпа. В ходе исследований установлено, что включение пробиотика Атыш в рацион карпа способствовало повышению Са на 43,39 % ( $P \leq 0,05$ ) и Sr – на 86,40 % ( $P \leq 0,05$ ) при снижении уровня ряда микроэлементов: Со – на 83,33 % ( $P \leq 0,01$ ), Li – на 80,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Ni – на 72,43 % ( $P \leq 0,01$ ), Fe – на 58,21 % ( $P \leq 0,01$ ), Cu – на 56,52 % ( $P \leq 0,01$ ), Zn – на 45,15 % ( $P \leq 0,05$ ), I – на 41,05 % ( $P \leq 0,05$ ), Cr – на 31,50 % ( $P \leq 0,05$ ), Cd – на 90,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Al – на 83,84 % ( $P \leq 0,01$ ), Pb – на 83,33 % ( $P \leq 0,01$ ), Sn – на 83,33 % ( $P \leq 0,01$ ). Использование в кормлении рыб пробиотика Субтилис отмечалось снижение уровня микроэлементов: Li – на 92,30 % ( $P \leq 0,05$ ), Со – на 86,67 % ( $P \leq 0,01$ ), Ni – на 81,08 % ( $P \leq 0,01$ ), Fe – на 59,34 % ( $P \leq 0,01$ ), Zn – на 51,70 % ( $P \leq 0,05$ ), I – на 40,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Se – на 36,36 % ( $P \leq 0,05$ ), Mn – на 34,21 % ( $P \leq 0,05$ ), Cr – на 31,30 % ( $P \leq 0,05$ ) и Cu – на 30,98 % ( $P \leq 0,05$ ), Cd – на 80,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Pb и Sn – на 66,67 % ( $P \leq 0,05$ ) каждый, Al – на 32,94 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контроля. При совместном включении пробиотических препаратов Атыш и Субтилис было зафиксировано повышение Са на 495,25 % ( $P \leq 0,01$ ), P – на 57,29 % ( $P \leq 0,05$ ) и Mn – на 55,26 % ( $P \leq 0,05$ ), снижение отдельных микроэлементов: Со – на 70,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Li – на 69,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Zn – на 52,70 % ( $P \leq 0,01$ ), Cu – на 45,11 % ( $P \leq 0,05$ ), Ni – на 43,24 % ( $P \leq 0,05$ ) и Fe – на 32,93 % ( $P \leq 0,05$ ), Cd – на 80,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Sn – на 74,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Pb – на 66,67 % ( $P \leq 0,05$ ) и Al – на 61,97 % ( $P \leq 0,01$ ). Таким образом, при включении в рацион карпа пробиотических препаратов Атыш и Субтилис были выявлены селективные изменения уровня макро- и микроэлементов в мышечной ткани рыб.

**Ключевые слова:** рыбы, карп, кормление, пробиотические препараты, элементный статус

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

**Для цитирования:** Влияние пробиотиков на элементный состав мышечной ткани карпа / М.С. Зуева, Е.П. Мирошникова, А.И. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 2. С. 8-20. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-8>

BIOELEMENTOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY AND CROP PRODUCTION

Original article

**The effect of probiotics on the elemental composition of muscle tissue in carp**

**Marina S Zueva<sup>1,2</sup>, Elena P Miroshnikova<sup>3</sup>, Azamat E Arinzhanov<sup>4</sup>, Yulia V Kilyakova<sup>5</sup>**

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

<sup>2,3,4,5</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1,2</sup>zueva@ms-98.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

<sup>3</sup>elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

<sup>4</sup>arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

<sup>5</sup>fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264>

**Abstract.** The study of the elemental status of fish is due to the anthropogenic impact on the hydrobionts body and the subsequent accumulation of dangerous concentrations of toxic elements. The use of probiotic drugs is aimed at reducing the accumulation of a number of macro- and microelements in the body, including the muscles of fish. The purpose of the research was to study the effect of probiotic drugs on the concentration of chemical elements in muscle tissue of carp. The paper presents the results of the effect of Atysh (*Enterococcus faecium* ( $2 \times 10^9$  CFU) and *Lactobacillus acidophilus* ( $1 \times 10^7$  CFU)) and Subtilis (*Bacillus subtilis* ( $2 \times 10^9$  CFU) and *Bacillus licheniformis* ( $2 \times 10^9$  CFU)) probiotic preparations on the elemental status of carp. In the course of research, it was found that the inclusion of the Atysh probiotic in the diet of carp contributed to an increase in Ca on 43.39% ( $P \leq 0.05$ ) and Sr on 86.40% ( $P \leq 0.05$ ) while reducing the level of some trace elements: Co on 83.33% ( $P \leq 0.01$ ), Li on 80.00% ( $P \leq 0.05$ ), Ni on 72.43% ( $P \leq 0.01$ ), Fe on 58.21% ( $P \leq 0.01$ ), Cu on 56.52% ( $P \leq 0.01$ ), Zn on 45.15% ( $P \leq 0.05$ ), I on 41.05% ( $P \leq 0.05$ ), Cr on 31.50% ( $P \leq 0.05$ ), Cd on 90.00% ( $P \leq 0.05$ ), Al on 83.84% ( $P \leq 0.01$ ), Pb on 83.33% ( $P \leq 0.01$ ) and Sn on 83.33% ( $P \leq 0.01$ ). Use of Subtilis probiotic in feeding was noted by a decrease in the level of trace elements: Li on 92.30% ( $P \leq 0.05$ ), Co on 86.67% ( $P \leq 0.01$ ), and Ni on 81.08% ( $P \leq 0.01$ ), Fe on 59.34% ( $P \leq 0.01$ ), Zn on 51.70% ( $P \leq 0.05$ ), I on 40.00% ( $P \leq 0.05$ ), Se on 36.36% ( $P \leq 0.05$ ), Mn on 34.21% ( $P \leq 0.05$ ), Cr on 31.30% ( $P \leq 0.05$ ), Cu 30.98% ( $P \leq 0.05$ ), Cd on 80.00% ( $P \leq 0.05$ ), Pb and Sn on of 66.67% ( $P \leq 0.05$ ) both, Al on 32.94% ( $P \leq 0.05$ ) in relation to control. When the Atysh and Subtilis probiotic preparations were included in combination, an increase was recorded in Ca on 495.25% ( $P \leq 0.01$ ), P on 57.29% ( $P \leq 0.05$ ) and Mn 55.26% ( $P \leq 0.05$ ) and the reduction of certain trace elements: Co on 70.00% ( $P \leq 0.05$ ), Li on 69.00% ( $P \leq 0.05$ ), Zn on 52.70% ( $P \leq 0.01$ ), Cu on 45.11% ( $P \leq 0.05$ ), Ni on 43.24% ( $P \leq 0.05$ ), Fe on 32.93% ( $P \leq 0.05$ ), Cd on 80.00% ( $P \leq 0.05$ ), Sn on 74.00% ( $P \leq 0.05$ ), Pb on 66.67% ( $P \leq 0.05$ ) and Al on 61.97% ( $P \leq 0.01$ ). Thus, the selective changes in the level of macro- and microelements were revealed in the muscle tissue of fish when the Atysh and Subtilis probiotic preparations were included in the diet of carp.

**Keywords:** fish, carp, feeding, probiotic preparations, elemental status

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

**For citation:** Zueva MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. The effect of probiotics on the elemental composition of muscle tissue in carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):8-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-8>

**Введение.**

В связи с ростом мирового населения появляется проблема обеспечения белком животного происхождения (Longo SB et al., 2019). Высокая питательная ценность рыбы делает её перспективным компонентом здорового рациона человека (Fiorella KJ et al., 2021; Pinto FR et al., 2022). Однако гидробионты способны аккумулировать в своём организме микроэлементы, уровень которых может представлять опасность для конечного потребителя (Milošević A et al., 2022, Ribeiro M et al.,

2022). Так, Canham R совместно с коллегами (2021) сообщает, что содержание ртути в организме рыб влияет не только на самих гидробионтов, но и передаётся дальше по пищевой цепи. В мясе хищных рыб может накапливаться значительный уровень токсичных элементов (Sobolev N et al., 2019). Особое внимание заслуживает проблема биоаккумуляции веществ в гидробионтах в течение длительного времени, что обуславливает хроническую токсичность (Connolly M et al., 2023).

В связи с этим актуальной задачей современной аквакультуры становится сбалансированное и качественное кормление, направленное на снижение риска накопления опасных концентраций макро- и микроэлементов в организме рыб и повышение качества готовой продукции (Pinto FR et al., 2022). Для решения данной задачи современные учёные делают акцент на рацион питания объектов аквакультуры (Sarkar MMd et al., 2022). При дополнительном введении в рацион различных кормовых добавок повышается рост и развитие гидробионтов, и в то же время снижается уровень опасных концентраций химических элементов в мышечной ткани рыб (Аринжанов А.Е. и др., 2021; Chen X et al., 2021; Wu Zh et al., 2021).

Среди широко используемых в аквакультуре добавок выделяют пробиотические препараты (Chen X et al., 2021). Пробиотики – микробиологические кормовые добавки, которые оказывают благоприятное воздействие на организм хозяина за счёт модуляции кишечной микробиоты (Simón R et al., 2021). Пробиотические добавки обладают широким спектром действия на организм рыб. Например, пробиотики способствуют повышению роста, улучшению обмена веществ и иммунного ответа, снижению уровня токсических микроэлементов в тканях (Ильяшенко А.Н., 2022; Olmos J et al., 2020). Кроме того, пробиотические препараты являются альтернативой антибиотиков. Применение добавок на основе пробиотических штаммов не приводит к негативной реакции у рыб (González-Palacios C et al., 2020). Использование пробиотиков способно снизить развитие антибиотикорезистентности у гидробионтов и повысить общий иммунитет (Iorizzo M et al., 2022).

#### **Цель исследования.**

Изучить действие пробиотических препаратов Атыш и Субтилис на концентрацию химических элементов в мышечной ткани карпа (*Cyprinus carpio*).

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

**Объект исследования.** Сеголетки карпа (*Cyprinus carpio*) ( $m=30\pm 1$  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.** Эксперимент был поставлен в условиях аквариумного стенда кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры (ОГУ, г. Оренбург). Методом пар-аналогов были отобраны и сформированы 4 группы ( $n=30$ ). Контроль получал основной рацион (ОР), представленный комбикормом КРК-110 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», г. Оренбург). В рацион опытных групп включили нанесённые путём напыления на основной рацион пробиотические препараты Атыш (*Enterococcus faecium* ( $2\times 10^9$  КОЕ)) и *Lactobacillus acidophilus* ( $1\times 10^7$  КОЕ)) и Субтилис (*Bacillus subtilis* ( $2\times 10^9$  КОЕ)) и *Bacillus licheniformis* ( $2\times 10^9$  КОЕ)) согласно схеме исследований (табл. 1). Корм задавали от 4 до 6 раз в сутки в светлое время, при суточной норме кормления 5 % от массы тела рыб. Подготовительный период составил 7 суток, основной – 35 суток.

Отбор мышц проводили после обескровливания рыб. У каждого экземпляра отделяли голову, плавники, чешую, внутренние органы, кости и мышечную ткань. Мышечная ткань измельчалась и пропускалась трижды через мясорубку. Полученный фарш помещали в отдельные вакуумные пакеты, предварительно указав группу и дату взятия пробы. Затем пробы в замороженном виде передавались для исследований в лабораторию. В образцах определена концентрация 25 элементов (Ca, K, Mg, Na, P, B, Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Ni, Se, Si, V, Zn, Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr).

Таблица 1. Схема проведения эксперимента  
Table 1. The scheme of the experiment

Группа / Group	Кол-во карпа, гол./Number of carp, pcs.	Особенности кормления / Diet peculiarities
Контроль / control	30	Основной рацион (ОР): полнорационный комбикорм КРК-110 / Basic diet (BD): Complete compound feed KRK-110
I опытная/I experimental	30	ОР+Атыш (0,08 г/кг корма) / Basic diet+Atysh (0.08 g/kg of feed)
II опытная/II experimental	30	ОР+Субтилис (0,04 мл/кг корма)/Basic diet+Subtilis (0.04 ml/kg of feed)
III опытная / III experimental	30	ОР+Атыш (0,08 г/кг корма)+Субтилис (0,04 мл/кг корма) / Basic diet+Atysh (0.08 g/kg of feed)+Subtilis (0.04 ml/kg of feed)

**Оборудование и технические средства.** Анализ элементного состава карпа был выполнен в лаборатории ООО «Микронутриенты» г. Москва (лицензия № Л041-01137-77/00370156 от 25.04.2013 г.) методом атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии на оборудовании Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и Optima 2000 V (Perkin Elmer, США).

**Статистическая обработка.** Статистический анализ был выполнен с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США). Определение достоверности различий проводили по t-критерию Стьюдента. Статистически значимым считалось значение с  $P \leq 0,05$  и  $P \leq 0,01$ .

#### Результаты исследования.

В результате эксперимента по применению пробиотических препаратов в рационе рыб было выявлено, что пробиотики влияют на уровень ряда макро- и микроэлементов в мышцах сеголетков (табл. 2).

Таблица 2. Концентрация химических элементов в мышечной ткани карпа, (M±m), мкг/г  
Table 2. The concentration of chemical elements in the muscle tissue of carp, (M±m), mcg/g

Элемент / Elements	Группа / Group			
	контроль/control	I	II	III
1	2	3	4	5
<b>Макроэлементы / Macroelements</b>				
Mg	304±14	323±15	275±12	315±14
Na	614±28	593±27	510±24	553±25
Ca	560±28,29	803±35,38*	507±23,57	3339±148,56**
P	2531±119	2868±134	2420±113	3981±186*
K	3342±157	3657±171	3142±147	3166±149
<b>Эссенциальные и условно-эссенциальные элементы / Essential and conditionally essential elements</b>				
Li	0,01±0,0009	0,002±0,0002*	0,00077±0,00005*	0,0031±0,0003*
Co	0,03±0,002	0,005±0,0005**	0,004±0,0004**	0,009±0,0009*
V	0,05±0,0052	0,04±0,0026	0,04±0,0026	0,07±0,005
Se	0,22±0,0141	0,19±0,0141	0,14±0,012*	0,19±0,0141
Ni	0,37±0,023	0,102±0,007**	0,07±0,0047**	0,21±0,0141*
Mn	0,76±0,045	0,8±0,05	0,5±0,026*	1,18±0,034*

Продолжение таблицы 2

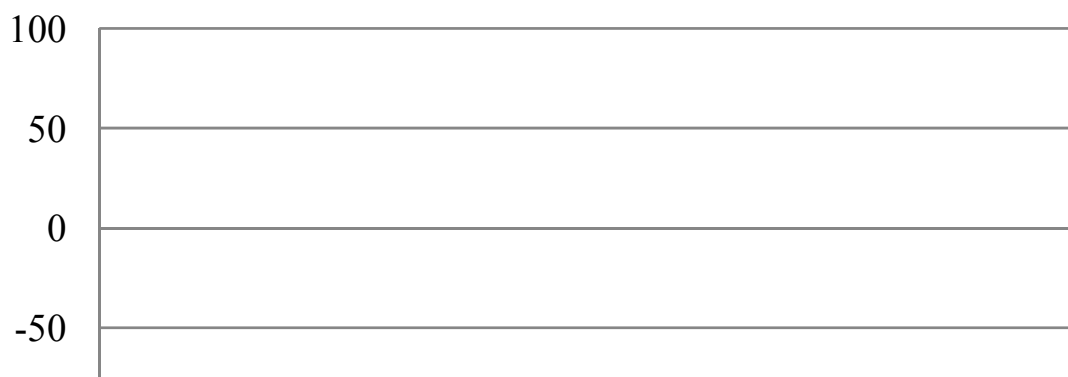
1	2	3	4	5
I	0,95±0,07	0,56±0,03*	0,57±0,03*	0,78±0,04
B	1,21±0,06	1,15±0,047	1±0,05	1,36±0,06
Cr	1,46±0,066	1±0,082*	1,003±0,47*	1,69±0,087
Cu	1,84±0,087	0,8±0,045**	1,27±0,059*	1,01±0,05*
Zn	33,89±1,602	18,59±0,896*	16,37±0,768*	16,03±0,73**
Fe	37,26±1,78	15,57±0,74**	15,15±0,71**	24,99±1,18*
Si	51,68±2,45	40,67±1,89	48,87±2,31	57,23±2,71
<b>Токсические элементы / Toxic elements</b>				
Cd	0,01±0,001	0,001±0,00009*	0,002±0,0002*	0,002±0,0001*
Hg	0,02±0,002	0,03±0,002	0,01±0,0007	0,01±0,0009
As	0,03±0,0023	0,02±0,001	0,02±0,0014	0,02±0,0015
Sn	0,03±0,0023	0,005±0,0004**	0,01±0,009*	0,0078±0,0008*
Pb	0,06±0,004	0,01±0,0009**	0,02±0,0017*	0,02±0,0012*
Sr	1,25±0,057	2,33±0,104*	1,37±0,061	9,16±0,429**
Al	41,41±1,95	6,69±0,31**	27,77±1,30*	15,75±0,73**

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

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

Была зафиксирована общая тенденция к повышению уровня макроэлементов, снижению ряда эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов. Кроме того, установлено значительное снижение ряда токсичных микроэлементов, за исключением некоторых показателей.

Так, применение пробиотика Атыш в I опытной группе (рис. 1) сопровождалось повышением уровня Ca на 43,39 % (P≤0,05). При этом уровень других макроэлементов повышался на величину от 6,25 % (Mg) до 13,13 % (P), за исключением Na, уровень которого был ниже контрольной группы на 3,42 %.



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

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

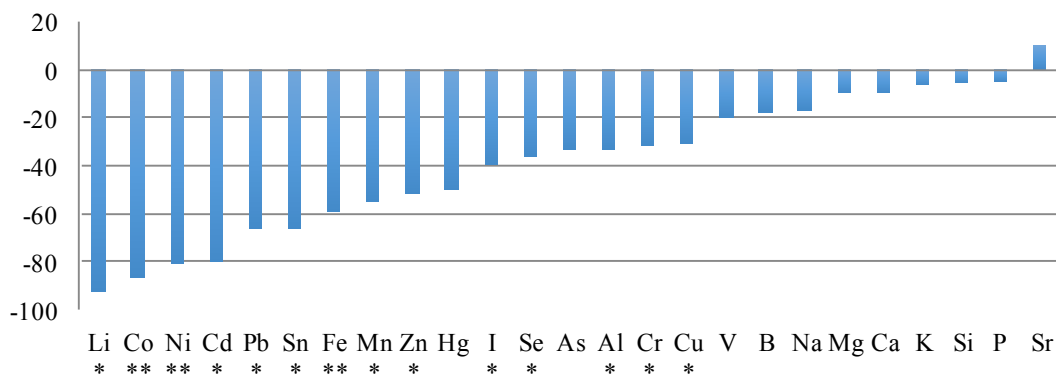
**Рис. 1 – Элементный профиль концентраций химических элементов в мышечной ткани I опытной группы по сравнению с контролем, %**  
**Figure 1 – Elemental profile of chemical elements concentrations in the muscle tissue of the I experimental group compared to the control, %**

Для I опытной группы характерно снижение пула эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, а именно: Co – на 83,33 % (P≤0,01), Li – на 80,00 % (P≤0,05), Ni – на 72,43 % (P≤0,01), Fe – на 58,21 % (P≤0,01), Cu – на 56,52 % (P≤0,01), Zn – на 45,15 % (P≤0,05), I – на 41,05 % (P≤0,05), Cr – на 31,50 % (P≤0,05) по сравнению с контролем.

Зафиксировано значительное снижение ряда токсичных микроэлементов в организме сеголетков карпа. Так, достоверно отмечены снижения для Cd на 90,00 % (P≤0,05), Al – на 83,84 %

( $P \leq 0,01$ ), Pb – на 83,33 % ( $P \leq 0,01$ ), Sn – на 83,33 % ( $P \leq 0,01$ ). При этом достоверно повысился уровень Sr на 86,40 % ( $P \leq 0,05$ ) относительно контроля.

Отличительной чертой II опытной группы, потреблявшей вместе с кормом пробиотический препарат Субтилис, стало снижение уровня всех макро- и микроэлементов относительно контрольной группы (рис. 2). Исключение составил Sr, уровень которого был выше контроля на 86,40 %.



Примечание: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$  при сравнении с контрольной группой

Note: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$  when compared with the control group

**Рис. 2 – Элементный профиль концентраций химических элементов в мышечной ткани II опытной группы по сравнению с контролем, %**

**Figure 2 – Elemental profile of chemical elements concentrations in the muscle tissue of the II experimental group compared to the control, %**

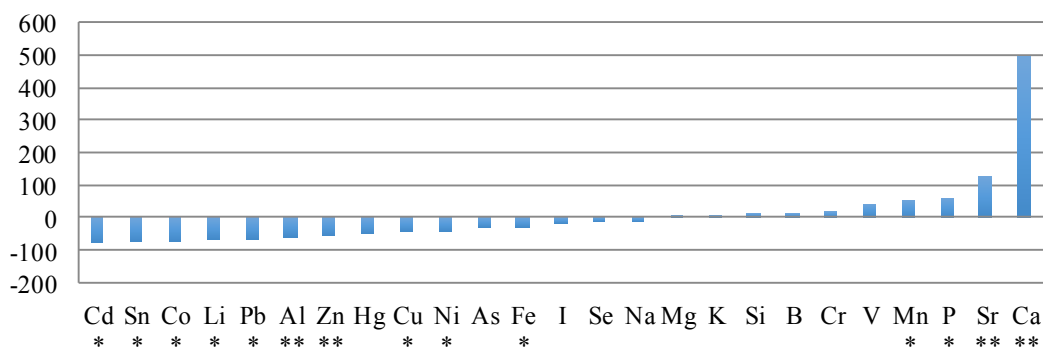
Стоит указать, что уровень Sr был выше контроля во всех опытных группах. Среди пула эссенциальных и условно-эссенциальных элементов установили достоверное снижение следующих микроэлементов: Li – на 92,30 % ( $P \leq 0,05$ ), Co – на 86,67 % ( $P \leq 0,01$ ), Ni – на 81,08 % ( $P \leq 0,01$ ), Fe – на 59,34 % ( $P \leq 0,01$ ), Zn – на 51,70 % ( $P \leq 0,05$ ), I – на 40,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Se – на 36,36 % ( $P \leq 0,05$ ), Mn – на 34,21 % ( $P \leq 0,05$ ), Cr – на 31,30 % ( $P \leq 0,05$ ) и Cu – на 30,98 % ( $P \leq 0,05$ ).

Кроме того, зафиксировали снижение ряда токсичных микроэлементов: Cd – на 80,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Pb и Sn – на 66,67 % ( $P \leq 0,05$ ) каждый, Al – на 32,94 % ( $P \leq 0,05$ ) по сравнению с контролем.

Наибольшее отклонение пула макроэлементов отмечено для III опытной группы (рис. 3), потреблявшей вместе с кормом оба пробиотических препарата. Так, уровень Ca оказался выше контроля на 495,25 % ( $P \leq 0,01$ ). Вместе с Ca установлено повышение уровня P на 57,29 % ( $P \leq 0,05$ ). При этом зафиксировано недостоверное увеличение уровня Mg и K на 3,62 % и 5,27 % относительно контроля.

Стоит указать, что пул эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов снизился на значительно меньшие показатели по сравнению с группами, где пробиотики вводили в рацион по отдельности. Так, установлено достоверное понижение следующих элементов относительно контрольной группы: Co – на 70,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Li – на 69,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Zn – на 52,70 % ( $P \leq 0,01$ ), Cu – на 45,11 % ( $P \leq 0,05$ ), Ni – на 43,24 % ( $P \leq 0,05$ ) и Fe – на 32,93 % ( $P \leq 0,05$ ). Кроме того, только при совместном использовании пробиотических препаратов было зафиксировано достоверное повышение Mn на 55,26 % ( $P \leq 0,05$ ) по сравнению с контрольной группой.

Пул токсичных микроэлементов в III опытной группе также снижался, за исключением Sr, уровень которого был выше контроля на 125 % ( $P \leq 0,01$ ). Так, установили достоверное снижение Cd на 80,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Sn – на 74,00 % ( $P \leq 0,05$ ), Pb – на 66,67 % ( $P \leq 0,05$ ) и Al – на 61,97 % ( $P \leq 0,01$ ) относительно контроля.



Примечание: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$  при сравнении с контрольной группой  
Note: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$  when compared with the control group

**Рис. 3 – Элементный профиль концентраций химических элементов в мышечной ткани III опытной группы по сравнению с контролем, %**  
**Figure 3 – Elemental profile of chemical elements concentrations in the muscle tissue of the III experimental group compared to the control, %**

#### Обсуждение полученных результатов.

Постоянство химического состава – обязательное условие нормального функционирования организма. Элементы, попадая в организм, связываются с биологическими компонентами (гормонами, ферментами и белками), создавая структуру, поддерживающую функции всего тела. При этом на содержание элементов в организме рыб влияют разные факторы (Outa JO et al., 2020). Так, применение пробиотиков оказывает положительный эффект на регуляцию кишечной микробиоты, повышая здоровье и снижая стресс у рыб (Chang X et al., 2021).

Для I и III опытных групп было зафиксировано повышение макроэлементного звена, за исключением Na. Особое внимание заслуживает увеличение Ca на 43,39 и 495,25 % соответственно. Подобный результат был получен при использовании *Bacillus subtilis* в кормлении стерляди (Аринжанов А.Е., 2022). Данный эффект объясняется действием пробиотического штамма *Bacillus* на накопление Ca в организме животных, что подтверждает ряд работ исследователей (Yan FF et al., 2020; Mohammed AA et al., 2021). Кроме того, было зафиксировано, что с увеличением Ca происходило увеличение P за счёт оптимизации кальций-фосфорного обмена (Мирошникова Е.П. и др., 2020; Zou X et al., 2021; Li Ch et al., 2022).

Стоит указать, что общее снижение большинства эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов во всех опытных группах не оказало отрицательного воздействия на поведение рыб. Общее состояние рыб соответствовало физиологической норме для карпа и не отличалось от контрольной группы. Установленный эффект согласуется с ранее проведёнными исследованиями, в рамках которых выявлено снижение ряда микроэлементов при включении пробиотических препаратов в рацион рыб (Аринжанов А.Е. и др., 2021). Вместе с тем установлено, что под воздействием пробиотиков происходит инкорпорация и выведение отдельных элементов из организма (Sarkar MMd et al., 2022) в связи с повышением активности пищеварительных ферментов (Adelina A et al., 2021). Подобное явление наблюдается при введении штамма бактерий рода *Bacillus* в рацион рыб и было описано исследователями ранее (Kvan OV et al., 2018; Аринжанов А.Е. и др., 2021).

Особое внимание заслуживает снижение пула токсичных элементов в мышечной ткани карпа при внесении в рацион пробиотических штаммов, что уже было отмечено в других работах (Zhai Q et al., 2017; Yin Y et al., 2019; Shang X et al., 2022). Так, пробиотик на основе *Bacillus* обладает способностью к адсорбции и удалению Cd из организма карпа (Chang X et al., 2021). Выведение токсичных элементов связывают с повышением активности антиоксидантных ферментов (Yin Y et al., 2019), которые способствуют росту и развитию гидробионтов (Luo M et al., 2022; Safari R et al.,

2022). При этом необходимо отметить увеличение Sr от 9,6 до 125 % во всех опытных группах относительно контрольной. На уровень Sr может оказывать влияние концентрация в воде и организме таких элементов, как Ca и K. Предполагается, что с повышением уровня Ca и K увеличивается содержание Sr (Kashparova O et al., 2023).

Таким образом, пробиотические добавки обладают свойствами, которые повышают устойчивость к ряду микроэлементов. Тем самым снижают отрицательный токсический эффект, вызванный отравлением тяжёлыми металлами (Jafarpour D et al., 2017; Wang N et al., 2020).

### **Заключение.**

Включение в рацион сеголетков карпа (*Cyprinus carpio*) пробиотического препарата Атыш как отдельно, так и совместно с Субтилис приводило к общему снижению эссенциальных, условно-эссенциальных и токсичных элементов в мышечной ткани рыб. При использовании пробиотика Субтилис фиксировалось понижение всех макро- и микроэлементов (за исключением Sr).

### **Список источников**

1. 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. [Arinzhanov 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.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-21
2. Влияние ультрадисперсных кормовых добавок, пробиотических штаммов и их комплексов на содержание эссенциальных микроэлементов в организме карпа // А.Е. Аринжанов, Е.П. Мирошникова, А.Н. Сизенцов, Ю.В. Киякова // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22. № S1. С. 9-10. [Arinzhanov AE, Miroshnikova EP, Sizentsov AN, Kilyakova YV. Influence of ultradispersed feed additives, probiotic strains and their complexes on the content of essential trace elements in the carp body. *Trace Elements in Medicine*. 2021;22(S1):9-10. (*In Russ.*)]. doi: 10.19112/2413-6174-2021-S1-02
3. Ильяшенко А.Н. Бациллярные пробиотики в кормлении и содержании гидробионтов (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 165-180. [Ilyashenko AN. *Bacillus* probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):165-180. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-165
4. Эффективность комплексного применения пробиотического препарата Соя-бифидум с растительным экстрактом в кормлении цыплят-бройлеров / Е.П. Мирошникова, О.В. Кван, Е.В. Шейда, Ш.Г. Рахматуллин // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 186-196. [Miroshnikova EP, Kvan OV, Sheyda EV, Rakhmatullin SG. The effectiveness of the combined use of soy-bifidum probiotic and plant extract in feeding broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):186-196 (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-186
5. Adelina A, Feliatra F, Siregar YI, Putra I, Suharman I. Use of chicken feather meal fermented with *Bacillus subtilis* in diets to increase the digestive enzymes activity and nutrient digestibility of silver pompano *Trachinotus blochii* (Lacepede, 1801) [version 2; peer review: 2 approved]. *F1000Research*. 2021;10:25. doi: 10.12688/f1000research.26834.2
6. Canham R, Gonzáles-Prieto AM, Elliott JE. Mercury exposure and toxicological consequences in fish and fish-eating wildlife from anthropogenic activity in Latin America. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2021;17(1):13-26. doi: 10.1002/ieam.4313
7. Chang X, Kang M, Shen Y, Yun L, Yang G, Zhu L, Meng X, Zhang J, Su X. *Bacillus coagulans* SCC-19 maintains intestinal health in cadmium-exposed common carp (*Cyprinus carpio* L.) by strengthening the gut barriers, relieving oxidative stress and modulating the intestinal microflora. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;228:112977. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112977



8. Chen X, Yi H, Liu Sh, Zhang Y, Su Y, Liu X et al. Probiotics improve eating disorders in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) induced by a pellet feed diet via stimulating immunity and regulating gut microbiota. *Microorganism*. 2021;9(6):1288. doi: 10.3390/microorganisms9061288
9. Connolly M, Martínez-Morcillo S, Kalman J, Navas JM, Bleeker E, Fernández-Cruz ML. Considerations for bioaccumulation studies in fish with nanomaterials. *Chemosphere*. 2023;312(P.1):137299. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137299
10. Fiorella KJ, Okronipa H, Baker K, Heilpern S. Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*. 2021;70:83-90. doi: 10.1016/j.copbio.2020.11.014
11. 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);26:1507. doi: 10.3390/ani10091507
12. Iorizzo M, Albanese G, Letizia F, Testa B, Tremonte P, Vergalito F, Lombardi SJ, Succi M, Coppola R, Sorrentino E. Probiotic potentiality from versatile *Lactiplantibacillus plantarum* strains as resource to enhance freshwater fish health. *Microorganism*. 2022;10(2):463. doi: 10.3390/microorganisms10020463
13. Jafarpour D, Shekarforoush SS, Ghaisari HR, Nazifi S, Sajedianfard J, Eskandari MH. Protective effects of synbiotic diets of *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus plantarum* and inulin against acute cadmium toxicity in rats. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017;17(1):291. doi: 10.1186/s12906-017-1803-3
14. Kashparova O, Teien H-Ch, Pavlenko P, Salbu B, Eide DM, Levchuk S, Jensen KA, Protsak V, Hrechaniuk M, Kashparov V. Clean feed as countermeasure to reduce the <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2023;258:107091. doi: 10.1016/j.jenvrad.2022.107091
15. 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. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(3):2175-2183. doi: 10.1007/s11356-017-0534-9
16. Li Ch, Cai H, Li Sh, Liu G, Deng X, Bryden WL, Zheng A. Comparing the potential of *Bacillus amyloliquefaciens* CGMCC18230 with antimicrobial growth promoters for growth performance, bone development, expression of phosphorus transporters, and excreta microbiome in broiler chickens. *Poultry Science*. 2022;101(11):102126. doi: 10.1016/j.psj.2022.102126
17. Longo SB, Clark B, York R, Jorgenson AK. Aquaculture and the displacement of fisheries captures. *Conservation Biology*. 2019;33(4):832-841. doi: 10.1111/cobi.13295
18. Luo M, Feng G, Ke H. Role of *Clostridium butyricum*, *Bacillus subtilis*, and algae-sourced  $\beta$ -1,3 glucan on health in grass turtle. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;113:244-256. doi: 10.1016/j.fsi.2022.09.034
19. Milošković A, Stojković Piperac M, Kojadinović N, Radenković M, Duretanović S, Čerba D, Milošević Milosevic D, Simić V. Potentially toxic elements in invasive fish species Prussian carp (*Carassius gibelio*) from different freshwater ecosystems and human exposure assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(19):29152-29164. doi: 10.1007/s11356-021-17865-w
20. Mohammed AA, Zaki RS, Negm EA, Mahmoud MA, Cheng HW. Effects of dietary supplementation of a probiotic (*Bacillus subtilis*) on bone mass and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*. 2021;100(3):100906. doi: 10.1016/j.psj.2020.11.073
21. 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 Microbiology*. 2020;202(3):427-435. doi: 10.1007/s00203-019-01757-2
22. Outa JO, Kowenje ChO, Avenant-Oldewage A, Jirsa F. Trace elements in crustaceans, mollusks and fish in the kenyan part of lake victoria: bioaccumulation, bioindication and health risk analysis. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2020;78(4):589-603. doi: 10.1007/s00244-020-00715-0

23. Pinto FR, Duarte AM, Silva F, Barroso S, Mendes S, Pinto E, Almeida A, Sequeira V, Vieira AR, Gordo LS, Gil MM. Annual variations in the mineral element content of five fish species from the Portuguese coast. *Food Research International*. 2022;158:111482. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111482
24. Ribeiro M, Zephyr N, Silva JAL, Danion M, Guérin T, Castanheira I, Leufroy A, Jitaru P. Assessment of the mercury-selenium antagonism in rainbow trout fish. *Chemosphere*. 2022;286(Pt.2):131749. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131749
25. Safari R, Imanpour MR, Hoseinifar SH, Faheem M, Dadar M, Doan CV. Effects of dietary *Lactobacillus casei* on the immune, growth, antioxidant, and reproductive performances in male zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Reports*. 2022;25:101176. doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101176
26. Sarkar MMd, Rohani FMd, Hossain MAR, Shahjahan Md. Evaluation of heavy metal contamination in some selected commercial fish feeds used in Bangladesh. *Biological Trace Element Research*. 2022;200:844-854. doi: 10.1007/s12011-021-02692-4
27. Shang X, Wang B, Sun Q, Zhang Y, Lu Y, Liu Sh, Li Y. Selenium-enriched *Bacillus subtilis* reduces the effects of mercury-induced on inflammation and intestinal microbes in carp (*Cyprinus carpio var. specularis*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 2022;48(1):215-226. doi: 10.1007/s10695-022-01046-8
28. Simón R, Docando F, Nuñez-Ortiz N, Tafalla C, Díaz-Rosales P. Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish. *Frontiers in Immunology*. 2021;12:653025. doi: 10.3389/fimmu.2021.653025
29. Sobolev N, Aksenov A, Sorokina T, Chashchin V, Ellingsen DG, Nieboerd E, Varakina Y, Veselkina E, Kotsur D, Thomassen Y. Essential and non-essential trace elements in fish consumed by indigenous peoples of the European Russian Arctic. *Environmental Pollution*. 2019;253:966-973. doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.072
30. Wang N, Jiang M, Zhang P, Shu H, Li Y, Guo Zh, Li Y. Amelioration of Cd-induced bioaccumulation, oxidative stress and intestinal microbiota by *Bacillus cereus* in *Carassius auratus gibelio*. *Chemosphere*. 2020;245:125613. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125613
31. Wu Zh, Qi X, Qu Sh, Ling F, Wang G. Dietary supplementation of *Bacillus velezensis* B8 enhances immune response and resistance against *Aeromonas veronii* in grass carp. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;115:14-21. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.012
32. Yan FF, Wang WC, Cheng HW. *Bacillus subtilis*-based probiotic promotes bone growth by inhibition of inflammation in broilers subjected to cyclic heating episodes. *Poultry Science*. 2020;99(11):5252-5260. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.051
33. Yin Y, Yue X, Zhang D, Zhang P, Abdallah A, Yin Y, Cai Y, Li Y. Study of bioaccumulation, hematological parameters, and antioxidant responses of *Carassius auratus gibelio* exposed to dietary lead and *Bacillus subtilis*. *Biological Trace Element Research*. 2019;189(1):233-240. doi: 10.1007/s12011-018-1447-2
34. Zhai Q, Wang H, Tian F, Zhao J, Zhang H, Chen W. Dietary *Lactobacillus plantarum* supplementation decreases tissue lead accumulation and alleviates lead toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*. 2017;48(9):5094-5103. doi: 10.1111/are.13326
35. Zou X, Jiang Sh, Zhang M, Hu H, Wu X, Liu J, Jin M, Cheng H. Effects of *Bacillus subtilis* on production performance, bone physiological property, and hematology indexes in laying hens. *Animals (Basel)*. 2021;11(7):2041. doi: 10.3390/ani11072041

## References

1. Arinzhanov 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. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-21

2. Arinzhanov AE, Miroshnikova EP, Sizentsov AN, Kilyakova YV. Influence of ultradispersed feed additives, probiotic strains and their complexes on the content of essential trace elements in the carp body. *Trace Elements in Medicine*. 2021;22(S1):9-10. doi: 10.19112/2413-6174-2021-S1-02
3. Ilyashenko AN. *Bacillus* probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):165-180. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-165
4. Miroshnikova EP, Kvan OV, Sheyda EV, Rakhmatullin SG. The effectiveness of the combined use of soy-bifidum probiotic and plant extract in feeding broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(4):186-196. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-186
5. Adelina A, Feliatra F, Siregar YI, Putra I, Suharman I. Use of chicken feather meal fermented with *Bacillus subtilis* in diets to increase the digestive enzymes activity and nutrient digestibility of silver pompano *Trachinotus blochii* (Lacepede, 1801) [version 2; peer review: 2 approved]. *F1000Research*. 2021;10:25. doi: 10.12688/f1000research.26834.2
6. Canham R, González-Prieto AM, Elliott JE. Mercury exposure and toxicological consequences in fish and fish-eating wildlife from anthropogenic activity in Latin America. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2021;17(1):13-26. doi: 10.1002/ieam.4313
7. Chang X, Kang M, Shen Y, Yun L, Yang G, Zhu L, Meng X, Zhang J, Su X. *Bacillus coagulans* SCC-19 maintains intestinal health in cadmium-exposed common carp (*Cyprinus carpio* L.) by strengthening the gut barriers, relieving oxidative stress and modulating the intestinal microflora. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;228:112977. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112977
8. Chen X, Yi H, Liu Sh, Zhang Y, Su Y, Liu X et al. Probiotics improve eating disorders in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) induced by a pellet feed diet via stimulating immunity and regulating gut microbiota. *Microorganism*. 2021;9(6):1288. doi: 10.3390/microorganisms9061288
9. Connolly M, Martínez-Morcillo S, Kalman J, Navas JM, Bleeker E, Fernández-Cruz ML. Considerations for bioaccumulation studies in fish with nanomaterials. *Chemosphere*. 2023;312(P.1):137299. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137299
10. Fiorella KJ, Okronipa H, Baker K, Heilpern S. Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*. 2021;70:83-90. doi: 10.1016/j.copbio.2020.11.014
11. 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):26:1507. doi: 10.3390/ani10091507
12. Iorizzo M, Albanese G, Letizia F, Testa B, Tremonte P, Vergalito F, Lombardi SJ, Succi M, Coppola R, Sorrentino E. Probiotic potentiality from versatile *Lactiplantibacillus plantarum* strains as resource to enhance freshwater fish health. *Microorganism*. 2022;10(2):463. doi: 10.3390/microorganisms10020463
13. Jafarpour D, Shekarforoush SS, Ghaisari HR, Nazifi S, Sajedianfard J, Eskandari MH. Protective effects of synbiotic diets of *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus plantarum* and inulin against acute cadmium toxicity in rats. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017;17(1):291. doi: 10.1186/s12906-017-1803-3
14. Kashparova O, Teien H-Ch, Pavlenko P, Salbu B, Eide DM, Levchuk S, Jensen KA, Protsak V, Hrechaniuk M, Kashparov V. Clean feed as countermeasure to reduce the <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2023;258:107091. doi: 10.1016/j.jenvrad.2022.107091
15. 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. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(3):2175-2183. doi: 10.1007/s11356-017-0534-9
16. Li Ch, Cai H, Li Sh, Liu G, Deng X, Bryden WL, Zheng A. Comparing the potential of *Bacillus amyloliquefaciens* CGMCC18230 with antimicrobial growth promoters for growth performance, bone development, expression of phosphorus transporters, and excreta microbiome in broiler chickens. *Poultry Science*. 2022;101(11):102126. doi: 10.1016/j.psj.2022.102126

17. Longo SB, Clark B, York R, Jorgenson AK. Aquaculture and the displacement of fisheries captures. *Conservation Biology*. 2019;33(4):832-841. doi: 10.1111/cobi.13295
18. Luo M, Feng G, Ke H. Role of *Clostridium butyricum*, *Bacillus subtilis*, and algae-sourced  $\beta$ -1,3 glucan on health in grass turtle. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;113:244-256. doi: 10.1016/j.fsi.2022.09.034
19. Milošković A, Stojković Piperac M, Kojadinović N, Radenković M, Duretanović S, Čerba D, Milošević Milosevic D, Simić V. Potentially toxic elements in invasive fish species Prussian carp (*Carassius gibelio*) from different freshwater ecosystems and human exposure assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(19):29152-29164. doi: 10.1007/s11356-021-17865-w
20. Mohammed AA, Zaki RS, Negm EA, Mahmoud MA, Cheng HW. Effects of dietary supplementation of a probiotic (*Bacillus subtilis*) on bone mass and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*. 2021;100(3):100906. doi: 10.1016/j.psj.2020.11.073
21. 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 Microbiology*. 2020;202(3):427-435. doi: 10.1007/s00203-019-01757-2
22. Outa JO, Kowenje ChO, Avenant-Oldewage A, Jirsa F. Trace elements in crustaceans, mollusks and fish in the kenyan part of lake victoria: bioaccumulation, bioindication and health risk analysis. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2020;78(4):589-603. doi: 10.1007/s00244-020-00715-0
23. Pinto FR, Duarte AM, Silva F, Barroso S, Mendes S, Pinto E, Almeida A, Sequeira V, Vieira AR, Gordo LS, Gil MM. Annual variations in the mineral element content of five fish species from the Portuguese coast. *Food Research International*. 2022;158:111482. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111482
24. Ribeiro M, Zephyr N, Silva JAL, Danion M, Guérin T, Castanheira I, Leufroy A, Jitaru P. Assessment of the mercury-selenium antagonism in rainbow trout fish. *Chemosphere*. 2022;286(Pt.2):131749. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131749
25. Safari R, Imanpour MR, Hoseinifar SH, Faheem M, Dadar M, Doan CV. Effects of dietary *Lactobacillus casei* on the immune, growth, antioxidant, and reproductive performances in male zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Reports*. 2022;25:101176. doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101176
26. Sarkar MMd, Rohani FMd, Hossain MAR, Shahjahan Md. Evaluation of heavy metal contamination in some selected commercial fish feeds used in Bangladesh. *Biological Trace Element Research*. 2022;200:844-854. doi: 10.1007/s12011-021-02692-4
27. Shang X, Wang B, Sun Q, Zhang Y, Lu Y, Liu Sh, Li Y. Selenium-enriched *Bacillus subtilis* reduces the effects of mercury-induced on inflammation and intestinal microbes in carp (*Cyprinus carpio var. specularis*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 2022;48(1):215-226. doi: 10.1007/s10695-022-01046-8
28. Simón R, Docando F, Nuñez-Ortiz N, Tafalla C, Díaz-Rosales P. Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish. *Frontiers in Immunology*. 2021;12:653025. doi: 10.3389/fimmu.2021.653025
29. Sobolev N, Aksenov A, Sorokina T, Chashchin V, Ellingsen DG, Nieboerd E, Varakina Y, Veselkina E, Kotsur D, Thomassen Y. Essential and non-essential trace elements in fish consumed by indigenous peoples of the European Russian Arctic. *Environmental Pollution*. 2019;253:966-973. doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.072
30. Wang N, Jiang M, Zhang P, Shu H, Li Y, Guo Zh, Li Y. Amelioration of Cd-induced bioaccumulation, oxidative stress and intestinal microbiota by *Bacillus cereus* in *Carassius auratus gibelio*. *Chemosphere*. 2020;245:125613. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125613
31. Wu Zh, Qi X, Qu Sh, Ling F, Wang G. Dietary supplementation of *Bacillus velezensis* B8 enhances immune response and resistance against *Aeromonas veronii* in grass carp. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;115:14-21. doi: 10.1016/j.fsi.2021.05.012
32. Yan FF, Wang WC, Cheng HW. *Bacillus subtilis*-based probiotic promotes bone growth by inhibition of inflammation in broilers subjected to cyclic heating episodes. *Poultry Science*. 2020;99(11):5252-5260. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.051

33. Yin Y, Yue X, Zhang D, Zhang P, Abdallah A, Yin Y, Cai Y, Li Y. Study of bioaccumulation, hematological parameters, and antioxidant responses of *Carassius auratus gibelio* exposed to dietary lead and *Bacillus subtilis*. *Biological Trace Element Research*. 2019;189(1):233-240. doi: 10.1007/s12011-018-1447-2

34. Zhai Q, Wang H, Tian F, Zhao J, Zhang H, Chen W. Dietary *Lactobacillus plantarum* supplementation decreases tissue lead accumulation and alleviates lead toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*. 2017;48(9):5094-5103. doi: 10.1111/are.13326

35. Zou X, Jiang Sh, Zhang M, Hu H, Wu X, Liu J, Jin M, Cheng H. Effects of *Bacillus subtilis* on production performance, bone physiological property, and hematology indexes in laying hens. *Animals (Basel)*. 2021;11(7):2041. doi: 10.3390/ani11072041

**Информация об авторах:**

**Марина Сергеевна Зуева**, аспирант 1 года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29; ассистент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13; тел.: 8-922-853-24-46.

**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 кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

**Юлия Владимировна Киякова**, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

**Information about the authors:**

**Marina S Zueva**, Postgraduate student of 1 year of study, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, January 9, 29, Orenburg, 460000; Assistant of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel: 8-922-853-24-46, e-mail: zueva@ms-98.ru.

**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 09.01.2023; одобрена после рецензирования 03.03.2023; принята к публикации 13.06.2023.

The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 03.03.2023; accepted for publication 13.06.2023.