

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 121-137.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 3. P. 121-137.

Научная статья
УДК 639.3.043
doi:10.33284/2658-3135-106-3-121

Биологическое действие кормовых добавок на организм карпа

Марина Сергеевна Мингазова^{1,5}, Елена Петровна Мирошникова², Юлия Владимировна Килякова³,
Азамат Ерсайнович Аринжанов⁴

^{1,2,3,4}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

⁵Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

^{1,5}zueva@ms-98.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

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

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

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

Аннотация. Рост и морфобиохимические значения крови являются актуальными показателями здоровья организма рыб при изучении влияния кормовых добавок в рационе. В исследовании рассмотрены показатели роста и параметры крови карпа (*Cyprinus carpio*), в рацион которого дополнительно вводили для I опытной группы – ванилин (250 мг/кг корма), для II опытной – ферментные препараты Амиласубтилин (0,5 г/кг корма) и Глюкаваморин (0,5 г/кг корма) и для III опытной – ультрадисперсные частицы SiO₂ (200 мг/кг корма). Темп прироста живой массы карпа показал положительные результаты, начиная с пятой недели эксперимента. Было установлено, что введение кормовых добавок в рацион сопровождается повышением роста карпа на 7,31 % (I опытная), на 5,41 % (II опытная) и на 7,62 % (III опытная) по сравнению с контролем. Морфофизиологические и часть биохимических показателей крови рыб были в пределах физиологической нормы, что указало на отсутствие негативного влияния на годовиков при использовании кормовых добавок. При исследовании биохимических показателей крови было установлено, что ванилин способствовал увеличению общего белка на 44,62 % (P≤0,01), альбумина – на 63,71 % (P≤0,01), АСТ – на 34,76 % (P≤0,001), билирубина общего – на 132,92 % (P≤0,001), холестерина – на 26,72 % (P≤0,05), мочевины – на 27,27 % (P≤0,05) и креатинина – на 207,14 % (P≤0,001) при снижении уровня глюкозы на 10,53 % (P≤0,05) по сравнению с контрольными значениями. Ферментные препараты Амиласубтилин и Глюкаваморин привели к повышению билирубина общего на 66,26 % (P≤0,01), триглицеридов – на 64,17 % (P≤0,05) и креатинина – на 271,43 % (P≤0,01) при снижении глюкозы на 42,11 % (P≤0,01), АСТ – на 22,42 % (P≤0,01) и мочевины – на 40,91 % (P≤0,01) относительно контроля. Включение УДЧ SiO₂ в рацион карпа увеличило уровень билирубина общего на 90,53 % (P≤0,01), мочевины – на 36,36 % (P≤0,05), креатинина – на 71,43 % (P≤0,05) относительно контроля при снижении глюкозы на 41,11 % (P≤0,01), АЛТ – на 56,49 % (P≤0,01) и АСТ – на 29,17 % (P≤0,01) по сравнению с контролем. Также было установлено достоверное повышение железа и фосфора во всех опытных группах и магния – в I опытной группе относительно контрольных значений. Так, уровень железа был выше на 72,11 % (P≤0,05), 70,0 % (P≤0,05) и 107,37 % (P≤0,01), уровень фосфора – на 138,16 % (P≤0,001), 86,18 % (P≤0,001) и 55,26 % (P≤0,01) для I, II и III групп соответственно. Уровень магния был выше контрольного значения на 30,66 % (P≤0,05) при включении в рацион ванилина. На основании результатов исследования сделан вывод, что дополнительное включение кормовых добавок в рацион годовиков может быть использовано в качестве ростостимулирующих компонентов кормов без негативного воздействия на параметры крови рыб.

Ключевые слова: аквакультура, рыба, карп, кормление рыб, кормовые добавки, живая масса, морфологические показатели крови, биохимические показатели крови, минеральный состав крови

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

Для цитирования. Биологическое действие кормовых добавок на организм карпа / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Килякова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 121-137. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-121>

Original article

Biological effect of feed additives on carp**Marina S Mingazova^{1,5}, Elena P Miroshnikova², Azamat E Arinzhanov³, Yulia V Kilyakova⁴**^{1,2,3,4}Orenburg State University, Orenburg, Russia⁵Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia^{1,5}zueva@ms-98.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>²elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>³fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>⁴arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Abstract. Growth and morphobiochemical values of blood are relevant indicators of fish health when we study the effect of feed additives in the diet. The study examined growth indicators and blood parameters of carp yearlings (*Cyprinus carpio*), the diet of group I was additionally administered with vanillin (250 ml / kg of feed), group II – enzyme preparations "Amylosubtilin" (0.5 g / kg of feed) and "Glucavamorin" (0.5 g / kg of feed) and group III– ultrafine particles SiO₂ (200 mg / kg of feed). The rate of live carp live weight gain showed positive results, starting from the fifth week of the experiment. It was found that the introduction of feed additives into the diet was accompanied by weight gain of carp by 7.31% (I group), by 5.41% (II group) and by 7.62% (III group) compared with the control. Morphophysiological and part of the biochemical parameters of fish blood were within the physiological norm, which indicated that there was no negative effect on yearlings when using feed additives. Studying biochemical parameters of blood, it was found that vanillin contributed to an increase in total protein by 44.62 % (P≤0.01), albumin by 63.71% (P≤0.01), AST by 34.76% (P≤0.001), total bilirubin by 132.92% (P≤0.001), cholesterol by 26.72% (P≤0.05), urea by 27.27% (P≤0.05) and creatinine by 207.14% (P≤0.001) with a decrease in glucose levels by 10.53% (P≤0.05) compared to the control values. Enzymatic preparations "Amylosubtilin" and "Glucavamorin" led to an increase in total bilirubin by 66.26% (P≤0.01), triglycerides by 64.17% (P≤0.05) and creatinine by 271.43% (P≤0.01) with a decrease in glucose by 42.11 % (P≤0.01), AST by 22.42% (P≤0.01) and urea by 40.91% (P≤0.01) relative to the control. The inclusion of SiO₂ UFP in the diet of carp increased the level of total bilirubin by 90.53 % (P≤0.01), urea by 36.36% (P≤0.05), creatinine by 71.43% (P≤0.05) relative to the control, with a decrease in glucose by 41.11% (P≤0.01), ALT by 56.49% (P≤0.01) and AST by 29.17% (P≤0.01) compared to the control. There was also a significant increase in iron and phosphorus in all experimental groups and magnesium in the first experimental group relative to the control values. Thus, the level of iron was higher in 72.11% (P≤0.05), 70.0% (P≤0.05) and 107.37% (P≤0.01), and levels of phosphorus on 138.16% (P≤0.001), and 86.18% (P≤0.001) and 55.26% (P≤0.01) for I, II and III groups, respectively. The magnesium level was 30.66% higher than the control value (P≤0.05) when vanillin was included in the diet. Based on the results of the study, it was concluded that the additional inclusion of feed additives in the diet of carp yearlings could be used as growth-stimulating components of feed without a negative impact on the blood parameters of fish.

Keywords: aquaculture, fish, carp, fish feeding, feed additives, live weight, morphological parameters of blood, biochemical parameters of blood, mineral composition of blood

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

For citation: Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhanov AE. Biological effect of feed additives on carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):121-137. (In Russ.). <https://doi.org/2658-3135-106-3-121>

Введение.

Постепенное снижение естественных запасов водных организмов привело к активному развитию аквакультуры по всему миру. Выращивание гидробионтов основано на принципе сохранения биоразнообразия и предотвращения негативного влияния на естественную среду обитания

(Golovacheva NA et al., 2022). Выращивание ценных видов рыб – важная часть продовольственной безопасности разных стран. Благодаря улучшению производственных технологий и значительному преобразованию в кормопроизводстве отрасль стала одной из самых основных развивающихся секторов животноводства в мире. Кроме того, рост численности населения оказал влияние на развитие аквакультуры из-за необходимости поиска новых недорогих и качественных источников белка животного происхождения (El-Saadony MT et al., 2021; Naylor RL et al., 2021). Важность потребления рыбы связывают с её полезными свойствами для организма человека, которые обусловлены высоким содержанием белка, незаменимых аминокислот, витаминов, минералов и жиров, в том числе омега-3 (Fiorella KJ et al., 2021).

Однако развитие аквакультуры привело к ряду проблем, среди которых наиболее часто выделяют рост числа заболеваний среди выращиваемых гидробионтов и появление антибиотикорезистентности, что способно привести к высокой смертности. Кроме того, увеличение производства рыбной продукции повысило требования к качеству кормления рыбы. Недостаточное кормление способно привести к замедлению темпов роста. Разработка и применение функциональных, высококачественных кормов подразумевают улучшение физиологического состояния выращиваемых рыб: положительно повлиять на рост и здоровье организма, увеличить продуктивность, повысить стрессоустойчивость, снизить заболеваемость и сократить антибиотикорезистентность (Iorizzo M et al., 2022; Puri P et al., 2022).

Вышеуказанные проблемы оправдывают необходимость поиска новых методов профилактики и лечения рыб при выращивании в условиях аквакультуры. Недавние исследования (Vijayaram S et al., 2022; Liang Q et al., 2022) показали, что актуальным решением является применение различных кормовых добавок. Разработанные диеты с добавлением препаратов способны благоприятно отразиться на результатах выращивания рыбы, в том числе повысить прирост и продуктивность, укрепить иммунную систему, снизить заболеваемость и улучшить состояние микробиоты (Zuo ZH et al., 2019; Beltrán JMG and Esteban MA, 2022). Кроме того, современные исследования направлены на разработку технологий выращивания, которые позволят эффективно сократить использование антибиотиков при лечении заболеваний гидробионтов (Reina JC et al., 2021; Okeke ES et al., 2022).

Одними из перспективных добавок являются биологически активные препараты и ультрадисперсные частицы. Использование ферментных препаратов в кормлении биологических объектов может улучшить рост животных и повысить переваримость питательных веществ корма (Приступа В.Н. и Рубашкин Р.В., 2020; Саломатин В.В. и др., 2021). Действие ультрадисперсных частиц связывают с улучшением роста и физиологического состояния организма рыб. Кроме того, применение кормовых добавок оказывает положительное действие при окислительном стрессе (Аринжанова М.С., 2022; Мустафина А.С. и Мустафин Р.З., 2022). В то же время отмечается увеличение применения добавок на основе растительных компонентов: включение в рацион птицы ванилина улучшает прирост массы и эффективность использования кормления (Дускаев Г.К. и др., 2023).

При исследовании влияния кормовых добавок на организм для лучшего понимания здоровья рыбы современные исследователи изучают характеристики крови гидробионтов (Tarnecki AM et al., 2018). Одним из методов оценки влияния добавок на организм является анализ морфологических и биохимических параметров крови. Эти параметры являются индикаторами физиологического состояния организма, а также способствуют выявлению возможных симптомов заболеваний (Ziółkowska E et al., 2020; Buchmann K, 2022).

Цель исследования.

Оценить влияние ванилина, ферментных препаратов Амилосубтилин и Глюкаваморин, ультрадисперсных частиц (УДЧ) SiO₂ на рост и морфофизиологические показатели крови карпа (*Cyprinus carpio*).

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Годовики карпа (*Cyprinus carpio*) ($m=39\pm 1$ г).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР № 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. По окончании эксперимента часть рыб, не участвующих при взятии лабораторных анализов, была обследована на предмет динамики живой массы и выпущена в пруд Ботанического сада ОГУ.

Схема эксперимента. Эксперимент выполнен на кафедре биотехнологии животного сырья и аквакультуры Оренбургского государственного университета в условиях аквариумного стенда. Методом пар-аналогов были отобраны 100 годовиков карпа и сформированы контроль и три опытных группы по 25 особей в каждой. Контроль получал основной рацион (ОР), опытные группы получали совместно с ОР кормовые добавки, нанесённые на корм путём напыления. I опытная группа вместе с ОР получала ванилин (дозировка – 250 мг/кг корма), II опытная – ОР вместе с ферментными препаратами Амилосубтилин (0,5 г/кг корма) и Глюкаваморин (0,5 г/кг корма), III опытная – ОР вместе с ультрадисперсными частицами SiO_2 (200 мг/кг корма).

Основной рацион был представлен комбикормом КРК-110 (ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», Россия, <http://orenkz.ru/krk-110.html>). Годовиков кормили 4 раза в день в светлое время через равные промежутки времени. Суточная норма кормления составила 5 % от массы тела рыб, расчёт производился еженедельно после взвешивания. Подготовительный период длился 7 суток, основной – 56 суток. Длительность эксперимента обусловлена проведёнными ранее исследованиями (Аринжанова М.С. и др., 2022). Дозировка рассчитана с учётом информации от производителя (<http://orenkz.ru/krk-110.html>) и проводимых ранее исследований (Аринжанова М.С. и др., 2022; Барабаш А.А. и др., 2006; Шейда Е.В. и др., 2021).

В исследованиях использовались препараты: ванилин («Sigma-Aldrich», Сент-Луис, США), ферментные препараты Амилосубтилин (ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск, Россия) и Глюкаваморин (ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск, Россия) и УДЧ SiO_2 (ООО «Плазмотерм», г. Москва, Россия). УДЧ SiO_2 $d=388\pm 117$ нм получены методом плазмохимического синтеза. За 30 минут до напыления добавок проведено диспергирование УДЧ в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т, $f=35$ кГц, $N=300$ Вт, $A=10$ мкА («НПП Академприбор», г. Москва, Россия).

Наблюдение за динамикой живой массы проводили еженедельно утром до кормления путём индивидуального взвешивания (± 1 г) с последующим расчётом среднесуточного прироста.

Отбор крови (Mazini BSM et al., 2022) осуществлялся в последний день эксперимента, утром, после индивидуального взвешивания. Предварительно рыба была выдержана в хорошо аэрированной воде в течение 5-10 минут после отлова. Отбор крови у рыб ($n=5$) осуществляли путём отсечения хвостового стебля с последующим отбором крови из хвостовой вены в вакуумные пробирки с ЭДТА-К3 и активатором свёртывания (для биохимических исследований).

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Были определены показатели биохимического состава сыворотки крови, морфологический и минеральный составы крови. Использовались автоматический гематологический анализатор «URIT-2900 Vet Plus» (URIT Medical, Китай) и автоматический биохимический анализатор «DIRUI CS-T240» (DURIT Industrial Co., Ltd, Китай). При работе на анализаторах применяли стандартные наборы реактивов. Для определения живой массы карпа использовали электронные весы Electronic Scale SF-400 (Ronomo, Китай) с погрешностью ± 1 г.

Статистическая обработка. Статистический анализ был выполнен с помощью вариационной статистики по Стьюденту с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» и применением программы «Excel» («Microsoft», США). Статистически значимым считалось значе-

ние с $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ и $P \leq 0,001$. Данные представлены в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое значение, m – ошибка средней арифметической величины.

Результаты исследования.

В результате эксперимента было установлено, что ванилин, ферментные препараты Амило-субтилин и Глюкаваморин, УДЧ SiO_2 не оказали негативного влияния на организм карпов. Выживаемость в контроле и опытных группах составила 100 % на протяжении всего исследования. При кормлении рационами с кормовыми добавками поведение рыб соответствовало норме, они активно поедали корм и реагировали на внешние раздражители.

По итогам эксперимента было установлено, что динамика живой массы рыб начинает активно повышаться с пятой недели эксперимента (рис. 1).

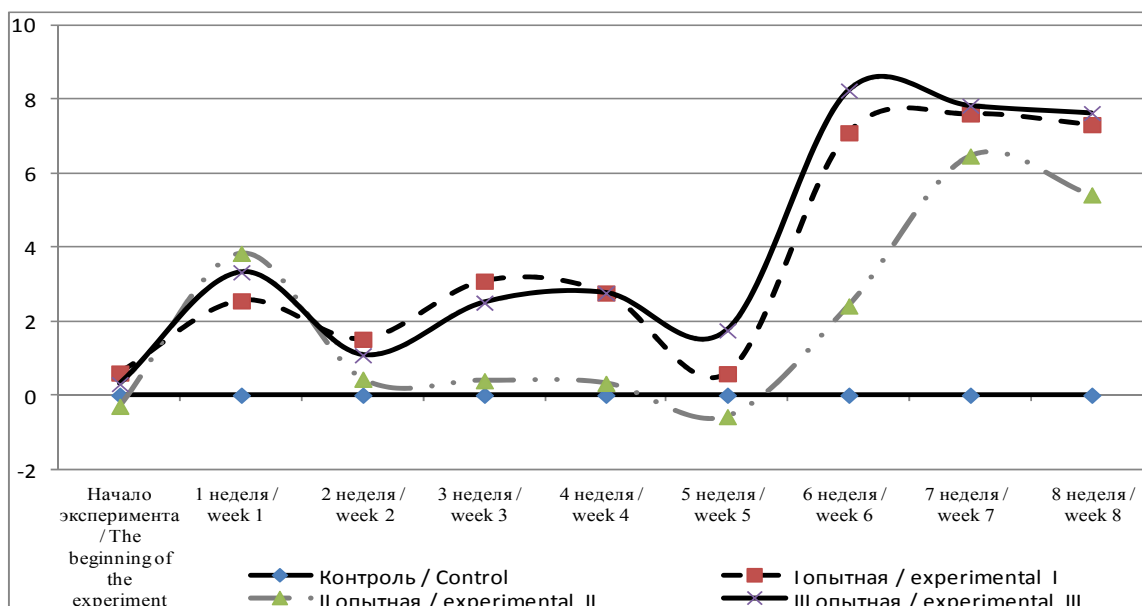


Рис. 1 – Динамика живой массы карпа в опытных группах по сравнению с контролем, %
Figure 1 – Dynamics of carp live weight in the experimental groups compared with the control, %

Так, на шестой неделе исследования установлено, что живая масса годовиков в опытных группах оказалась выше контроля на 7,09 % ($P \leq 0,05$) в I опытной группе, на 2,41 % – во II группе и на 8,23 % ($P \leq 0,05$) – в III группе. На седьмой неделе отмечено повышение живой массы относительно контроля на 7,6 % ($P \leq 0,05$), 6,46 % ($P \leq 0,05$) и 7,82 % ($P \leq 0,05$) для I, II и III опытных групп соответственно. В конце эксперимента были установлены следующие результаты прироста живой массы карпа. В I опытной группе годовики достигли 107,1 г, что оказалось выше контроля на 7,31 % ($P \leq 0,05$), во II опытной – 105,2 г, что выше контроля на 5,41 % ($P \leq 0,05$), в III опытной – 107,4 г, что выше контроля на 7,62 % ($P \leq 0,05$).

Морфофизиологические показатели крови карпа представлены в таблице 1. Зафиксировано, что количество эритроцитов, тромбоцитов и скорость оседания эритроцитов (СОЭ) находились в пределах физиологической нормы и не имели достоверных отличий от контрольной группы. Для уровня лейкоцитов и гемоглобина установлено незначительное превышение нормы, в том числе в контроле, при этом данные были недостоверными.

Включение кормовых добавок в рацион карпа оказало влияние на биохимические показатели крови рыб (табл. 2). В I опытной группе наблюдалось увеличение общего белка на 44,62 % ($P \leq 0,01$), альбумина – на 63,71 % ($P \leq 0,01$), аспаратаминотрансферазы (АСТ) – на 34,76 % ($P \leq 0,001$), билирубина общего – на 132,92 % ($P \leq 0,001$), холестерина – на 26,72 % ($P \leq 0,05$), мочевины – на 27,27 % ($P \leq 0,05$) и креатинина – на 207,14 % ($P \leq 0,001$) при снижении уровня глюкозы на 10,53 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля.

Таблица 1. Морфологические показатели крови карпа
Table 1. Morphological blood parameters of carp

Показатели / Indicators	Норма / Standard	Группа / Group			
		контроль / Control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental	III опытная / III experimental
Лейкоциты, $10^9/л$ / <i>Leukocytes, $10^9/l$</i>	49-81	85,7±5,9	88,2±6,1	83,7±4,9	84,5±5,3
Эритроциты, $10^{12}/л$ / <i>Erythrocytes, $10^{12}/l$</i>	0,1-2	0,15±0,022	0,16±0,034	0,14±0,023	0,18±0,031
Тромбоциты, $10^9/л$ / <i>Trombocytes, $10^9/l$</i>	23-68	31±4,2	39±5,7	33±4,8	35±3,7
Гемоглобин, г/л / <i>Hemoglobin, g/l</i>	30-125	137±7,8	134±6,5	139±7,4	131±6,3
СОЭ, мм/ч / <i>ESR, mm/h</i>	2-10	4	5	4	5

Таблица 2. Биохимические показатели крови карпа
Table 2. Biochemical blood parameters of carp

Показатели / Indicators	Норма / Standard	Группа / Group			
		контроль / Control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental	III опытная / III experimental
Глюкоза, ммоль/л / <i>Glucose, mmol/l</i>	1,5-4	3,8±0,1	3,4±0,15*	2,2±0,47**	2,2±0,55**
Общий белок, г/л / <i>Total protein, g/l</i>	10-30	19,5±1,5	28,2±2,02**	20,3±2,07	21,5±1,5
Альбумин, г/л / <i>Albumin, g/l</i>	18-30	7,33±0,58	12,0±1,0**	8,33±0,58	8,5±0,5
АЛТ, Ед/л / <i>ALT, U/l</i>	23-110	46,2±3,0	46,6±3,5	46,9±3,1	20,1±4,5**
АСТ, Ед/л / <i>AST, U/l</i>	13-176	367,9±13,5	495,8±20,7***	285,4±18,1**	260,6±22,0**
Билирубин общий, мкмоль/л / <i>Total bilirubin, μmol/l</i>	3,4-5,8	2,43±0,16	5,66±0,23***	4,04±0,3**	4,63±0,4**
Холестерин, ммоль/л / <i>Cholesterol, mmol/l</i>	1,9-3,9	2,62±0,13	3,32±0,22*	2,71±0,11	2,22±0,37
Триглицериды, ммоль/л / <i>Triglycerides, mmol/l</i>	0-2,3	1,2±0,09	1,2±0,11	1,97±0,33*	1,5±0,22
Мочевина, ммоль/л / <i>Urea, mmol/l</i>	1,83-6,2	2,2±0,2	2,8±0,25*	1,3±0,15**	3±0,4*
Креатинин, мкмоль/л / <i>Creatinine, μmol/l</i>	20-66	14±2,0	43±7,0**	52±8,5**	24±3,9*

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ относительно контроля

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ regarding control

Для II опытной группы установлено повышение билирубина общего на 66,26 % ($P \leq 0,01$), триглицеридов – на 64,17 % ($P \leq 0,05$) и креатинина – на 271,43 % ($P \leq 0,01$). При этом зафиксировано снижение уровня глюкозы на 42,11 % ($P \leq 0,01$), АСТ – на 22,42 % ($P \leq 0,01$) и мочевины – на 40,91 % ($P \leq 0,01$) относительно контроля.

В III опытной группе обнаружено увеличение билирубина общего на 90,53 % ($P \leq 0,01$), мочевины – на 36,36 % ($P \leq 0,05$) и креатинина – на 71,43 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля. При этом уровень глюкозы, аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ) упал по сравнению с контролем на 41,11 % ($P \leq 0,01$), 56,49 % ($P \leq 0,01$) и 29,17 % ($P \leq 0,01$) соответственно.

Минеральный состав крови карпа указан в таблице 3. Зафиксировано увеличение железа и фосфора во всех опытных группах относительно контрольных значений. Так, уровень железа выше контроля на 70,0 % ($P \leq 0,05$), 72,11 % ($P \leq 0,05$) и 107,37 % ($P \leq 0,01$) во II, I и III опытных группах соответственно. Уровень фосфора был выше контроля на 55,26 % ($P \leq 0,01$), 86,18 % ($P \leq 0,001$) и 138,16 % ($P \leq 0,001$) для III, II и I опытных групп соответственно. Также отмечено увеличение магния в I опытной группе на 30,66 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля.

Таблица 3. Минеральный состав крови карпа
Table 3. Blood mineral composition of carp

Показатели / <i>Indicators</i>	Норма / <i>Standard</i>	Группа / <i>Group</i>			
		контроль / <i>Control</i>	I опытная / <i>I experimental</i>	II опытная / <i>II experimental</i>	III опытная / <i>III experimental</i>
Железо, мкмоль/л / <i>Iron, μmol/l</i>	28-35	19±2,5	32,7±3,1*	32,3±3,3*	39,4±4,0**
Магний, ммоль/л / <i>Magnesium, mmol/l</i>	0,8-1,8	1,37±0,1	1,79±0,21*	1,55±0,13	0,97±0,19
Кальций, ммоль/л / <i>Calcium, mmol/l</i>	2-4	2,81±0,23	3,1±0,27	2,94±0,25	2,51±0,23
Фосфор, ммоль/л / <i>Phosphorus, mmol/l</i>	0,4-9,6	1,52±0,1	3,62±0,25***	2,83±0,2***	2,36±0,15**

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ относительно контроля

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ regarding control

Обсуждение полученных результатов.

Установлено, что различные кормовые добавки оказывают положительное действие на рост рыб (Ильяшенко А.Н., 2022; Зуева М.С., 2022; Kesbic OS et al., 2022). В нашем исследовании зафиксировано, что динамика живой массы тела карпа начинает увеличиваться с пятой недели эксперимента и в конце эксперимента оказывается выше контроля от 5,41 % ($P \leq 0,05$) до 7,62 % ($P \leq 0,05$). Похожий результат наблюдался и в проведенных ранее исследованиях (Аринжанова М.С. и др., 2022). Данный эффект обусловлен адаптацией организма рыб к новым условиям кормления и занимает от трёх до пяти недель после начала включения в рацион добавок, что было подтверждено нами ранее (Мирошникова Е.П. и др., 2022; Зуева М.С. и др., 2023).

Анализ крови является ценными показателями при оценке здоровья рыб и эффективности кормления (Ullah M et al., 2022), поскольку на параметры крови влияют как внутренние, так и внешние факторы среды (Ma L et al., 2020). Сообщается, что кормовые добавки способны улучшить гематологические показатели у различных видов рыб (Kesbic OS et al., 2022). Было установлено, что уровень эритроцитов и тромбоцитов не имел достоверных отличий от контроля и находился в физиологической норме. Зафиксировано, что уровень СОЭ был в пределах нормы (2-10 мм/ч) во всех группах. Лейкоциты и гемоглобин незначительно превышали норму. Данный эффект обусловлен ростом рыб и действием кормовых добавок на организм (Килякова Ю.В. и др., 2022; Barrientos ELB et al., 2020).

Биохимические анализы крови являются функциональными показателями для понимания физиологического состояния организма рыб. Нами было установлено, что уровень глюкозы в

опытных группах снизился от 10,53 % ($P \leq 0,05$) до 42,11 % ($P \leq 0,01$) по сравнению с контролем, при этом результаты были в пределах физиологической нормы для рыб (1,5-4 ммоль/л). Важность глюкозы заключается в том, что её уровень говорит о физиологическом стрессе у животных. Снижение уровня глюкозы указывает на незначительный стресс у карпа при использовании добавок в рационе (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015; Kesbic OS et al., 2022).

Уровни активности АЛТ и АСТ представляют собой критические показатели в диагностике функций пищеварения и целостности печени (Liu WB et al., 2021; Nabi N et al., 2022). Результаты эксперимента показали, что УДЧ SiO₂ способствуют снижению АЛТ и АСТ на 56,49 % ($P \leq 0,01$) и 29,17 % ($P \leq 0,01$) соответственно. Ферментные препараты Амилосубтилилин и Глюокавоморин способствовали снижению только уровня АСТ на 22,42 % ($P \leq 0,01$), при этом уровень активности АЛТ не отличался от контрольных значений. Для группы, в рацион которой входил ванилин, уровень АЛТ не имел различий с контролем, уровень АСТ повышался на 34,76 % ($P \leq 0,001$). Данные результаты указывают на то, что кормовые добавки по-разному оказывают влияние на организм годовиков. Если повышение уровня АЛТ и АСТ в крови рыб является показателем токсичности воды (Singh R et al., 2023), то снижение описывается при включении в рацион наночастиц и увеличение активности ключевых ферментов гликолиза и белкового обмена. В конечном итоге снижение активности АЛТ и АСТ может улучшить использование углеводов при получении энергии, замедлить катаболизм белка и повысить защитные функции печени даже при воздействии высокотоксичных тяжёлых металлов (González JD et al., 2016; Kesbic OS et al., 2022).

Изменение уровня холестерина и триглицеридов являются показателями липидного обмена у рыб. Рост уровня триглицеридов при включении ферментных препаратов в рацион годовиков указывает на повышение липидного обмена у рыб (Hassaan MS et al., 2018). При включении в рацион ванилина наблюдается увеличение общего белка на 44,62 % ($P \leq 0,01$), альбумина – на 63,71 % ($P \leq 0,01$) и холестерина – на 26,72 % ($P \leq 0,05$), что влияет на усиление иммунитета карпа и антиоксидантный потенциал добавки (Rebl A and Goldammer T, 2018). Альбумин в крови рыб взаимодействует с общим белком, которые связаны с усилением синтеза белка в печени и сильным ответом врожденного иммунитета (Gharaei A et al., 2020). Увеличение общего белка связано с отсутствием дисфункции печени у рыб (Ni M et al., 2021).

Результаты уровня мочевины в крови имеют важное значение, при этом не являются специфичным показателем нарушения функции почек (Xu M et al., 2019). И, несмотря на достоверное различие уровня мочевины в крови годовиков опытных групп, результаты анализов были в пределах физиологической нормы, за исключением II опытной группы (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015).

Наиболее значимые отличия установлены для креатинина, уровень которого в опытных группах превысил контроль до 271,43 % ($P \leq 0,01$). Исследователи выявили, что креатинин повышается при воздействии токсичных веществ (Kanu KC et al., 2023). Кроме того, сообщается, что показатели билирубина и креатинина связаны. Так, уровень билирубина общего поднимался во всех опытных группах от 60,26 % ($P \leq 0,01$) до 132,92 % ($P \leq 0,001$). Повышение уровня показателей описывается при включении в рацион веществ, способных вызывать стресс у гидробионтов, тем самым, повышая окислительные и воспалительные процессы (Baldissera MD et al., 2018; Dawood MAO et al., 2020). Также повышение показателей возможно при интенсивном росте рыб, что способствует увеличению двигательной активности и поиску корма (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015).

Проведённые исследования показали достоверные различия в сравнении с контрольными значениями по минеральному составу крови карпа. Отмечен рост уровня железа и фосфора во всех опытных группах и магния в I группе. Фосфор интенсивно участвует в метаболических процессах, требуя большого расхода энергии и повышая продуктивность рыб (Ries EF et al., 2020). Повышение уровня железа и магния указывает на отсутствие дефицита минеральных веществ в крови рыб (Isla A et al., 2022; Klykken C et al., 2023) и регуляцию кислотно-щелочного баланса организма (Лыкасова И.А. и Макарова Г.П., 2019). Стоит указать, что уровень минеральных веществ не пре-

вышал физиологическую норму, за исключением железа в III опытной группе (Ахметова В.В. и Васина С.Б., 2015). Повышение уровня железа и гемоглобина выше физиологической нормы выявлено в проведённых ранее исследованиях (Аринжанова М.С. и др., 2023), что возможно связано с влиянием кормовых добавок на печень (Singh M et al., 2019).

Заключение.

Включение в рацион карпа (*Cyprinus carpio*) ванилина, ферментных препаратов Амилосубтилин и Глюкаваморин, ультрадисперсных частиц SiO₂ оказывает положительное действие на прирост живой массы рыб и биохимические показатели крови.

Список источников

1. Аринжанова М.С. Ультрадисперсные препараты металлов-микроэлементов: опыт использования и перспективы применения в аквакультуре (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 1. С. 8-30. [Arinzhanova MS. Ultrafine preparations of trace metals: experience of use and prospects for use in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):8-30. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-8
2. Ахметова В.В., Васина С.Б. Оценка морфологической и биохимической картины крови карповых рыб, выращиваемых в ООО «Рыбхоз» Ульяновского района Ульяновской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3(31). С. 53-58. [Akhmetova VV, Vasina SB. Assessment of morphological and biochemical blood picture of carps grown in LLC «fish farm» in Ulyanovsk district of Ulyanovsk region. *Vestnik Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2015;3(31):53-58. (*In Russ.*)]. doi: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58
3. Барабаш А.А., Мирошникова Е.П., Жарков А.Н. Влияние ферментного препарата на элементный статус карпа при различном содержании протеина в рационе // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 2S(52). С. 4-6. [Barabash AA, Miroshnikova EP, Zharkov AN. Vliyanie fermentnogo preparata na elementnyj status karpa pri razlichnom soderzhanii proteina v racione. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2006;2S(52):4-6. (*In Russ.*)].
4. Биологическое действие ультрадисперсных частиц SiO₂, 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. [Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of SiO₂, 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.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-48
5. Влияние биологически активных препаратов на переваримость и использование питательных веществ рациона цыплятами-бройлерами / В.В. Саломатин, А.Т. Варакин, Т.В. Коноблея, Е.Б. Радзиевский // Птицеводство. № 2. 2021. С. 16-20. [Salomatina VV, Varakin AT, Konobleya TV, Radzievskiy EB. The influence of biologically active additives in diets for broilers on the digestibility and retention of dietary nutrients. *Ptitsevodstvo*. 2021;2:16-20. (*In Russ.*)]. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-2-16-20
6. Влияние пробиотиков на элементный состав мышечной ткани карпа / М.С. Зуева, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 8-20. [Zueva MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV. 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.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-8
7. Влияние ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост и аминокислотный состав печени рыб / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 2. С. 8-16. [Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV. Influence of ultrafine particles of silicon dioxide on the growth and

amino acid composition of fish liver. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):8-16. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-2-8

8. Влияние фитобиотических кормовых добавок на рост и морфобиохимические показатели крови рыб / Ю.В. Килякова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, М.С. Аринжанова // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 3. С. 115-125. [Kilyakova YV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Arinzhanova MS. Influence of phytobiotic feed additives on growth and morphobiochemical parameters of fish blood. *Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):115-125. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-3-115

9. Зуева М.С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 4. С. 146-164. [Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146

10. Изменение биохимических показателей слюны, крови и степени переваримости корма (*in vitro*) на фоне введения лузги подсолнечника молодяку крупного рогатого скота / Е.В. Шейда, В.А. Рязанов, С.А. Мирошников, Г.К. Дускаев // *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. Т. 104. № 4. С. 12-21. [Sheyda EV, Ryazanov VA, Miroshnikov SA, Duskaev GK. Changes in the biochemical parameters of saliva, blood and the degree of feed digestibility (*in vitro*) against the background of the introduction of sunflower husk to young cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):12-21. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-104-4-12

11. Ильяшенко А.Н. Бациллярные пробиотики в кормлении и содержании гидробионтов // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105. № 4. С. 165-180. [Ilyashenko AN. Bacillus probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):165-180. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-4-165

12. Использование ванилина в кормлении цыплят-бройлеров / Г.К. Дускаев, Е.В. Шейда, О.В. Кван, М.Я. Курилкина, Ш.Г. Рахматуллин // *Птицеводство*. 2023. № 3. С. 14-19. [Duskaev GK, Sheyda EV, Kvan OV, Kurilkina MYa, Rakhmatullin SG. On the use of vanillin in diets for broilers. *Ptitsevodstvo*. 2023;3:14-19. (*In Russ.*). doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-3-14-19

13. Лыкасова И.А., Макарова Г.П. Влияние Набиката на морфобиохимические показатели крови карпа чешуйчатого // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2019. № 2(51). С. 90-95. [Lykasova IA, Makarova GP. Impact of Nabicat on morphological biochemical parameters of european carp. *Vestnik NGAU (Novosibirsk state agrarian university)*. 2019;2(51):90-95. (*In Russ.*). doi: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-90-95

14. Мустафина А.С., Мустафин Р.З. Влияние различных доз диоксида кремния на концентрацию органических кислот и микроэлементов в печени цыплят-бройлеров // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105, № 1. С. 119-129. [Mustafina AS, Mustafin RZ. The effect of different doses of silicon dioxide on the concentration of organic acids and trace elements in liver of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):119-129. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-105-1-119

15. Оценка элементного статуса карпа, выращиваемого на рационе с включением пробиотических препаратов / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова, М.С. Зуева // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2022. № 1. С. 83-88. [Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex-Healthy Food Products*. 2022;1:83-88. (*In Russ.*). doi: 10.24412/2311-6447-2022-1-83-88

16. Приступа В.Н., Рубашкин Р.В. Использование ферментного препарата Глюкаваморин Г3х при выращивании телок различных линий голштинской породы // *Вестник Донского государственного аграрного университета*. 2020. № 4(38.1). С. 57-61. [Pristupa VN, Rubashkin RV. Using an enzyme preparation Glucavamorin G3x for raising holstein heifers of different lines. *Bulletin of Don State Agrarian University*. 2020;4(38.1):57-61. (*In Russ.*).]

17. Baldissera MD, Souza CF, Doleski PH, Zeppenfeld CC, Descovi S, Da Silva AS, Baldisserotto B. Xanthine oxidase activity exerts pro-oxidative and pro-inflammatory effects in serum of silver catfish fed with a diet contaminated with aflatoxin B₁. *Journal of Fish Diseases*. 2018;41(7):1153-1158. doi: 10.1111/jfd.12812
18. Barrientos ELB, Legaspi JT, O Paus KG, Yamzon AR, Castor RM. Effects of citrus sinensis (orange) and lycopersicon esculentum miller (tomato) juices on the hematological parameters of rattus albus (albino rat). *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*. 2020;7(2):4087-4095.
19. Beltrán JMG, Esteban MA. Nature-identical compounds as feed additives in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;123:409-416. doi: 10.1016/j.fsi.2022.03.010
20. Buchmann K. Control of parasitic diseases in aquaculture. *Parasitology*. 2022;149(14):1985-1997. doi: 10.1017/S0031182022001093
21. Dawood MAO, Abdo SE, Gewaily MS, Moustafa EM, SaadAllah MS, AbdEl-kader MF, Hamouda AH, Omar AA, Alwakeel RA. The influence of dietary β -glucan on immune, transcriptomic, inflammatory and histopathology disorders caused by deltamethrin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;98:301-311. doi: 10.1016/j.fsi.2020.01.035
22. 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 Immunology*. 2021;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007
23. 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
24. Gharaei A, Khajeh M, Khosravanizadeh A, Mirdar J, Fadaei R. Fluctuation of biochemical, immunological, and antioxidant biomarkers in the blood of beluga (*Huso huso*) under effect of dietary ZnO and chitosan-ZnO NPs. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2020;46(2):547-561. doi: 10.1007/s10695-019-00726-2
25. Golovacheva NA, Ponomarev AK, Nikiforov-Nikishin DL, Brezhnev LL. The experience of using a mineral chelate additive for growing juveniles of the African sharptooth catfish (*Clarias Gariepinus*) in a recirculating aquaculture system. Published in SciELO Brazil 29 Aug 2022. *Brazilian Journal of Biology*. 2024;84:e265119. doi: 10.1590/1519-6984.265119
26. González JD, Silva-Marrero JI, Metón I, Caballero-Solares A, Viegas I, Fernández F, Miñarro M, Fábregas A, Ticó JR, Jones JG, Baanante IV. Chitosan-mediated shRNA knockdown of cytosolic alanine aminotransferase improves hepatic carbohydrate metabolism. *Marine Biotechnology*. 2016;18(1):85-97. doi: 10.1007/s10126-015-9670-8
27. Hassaan MS, Soltan MA, Mohammady EY, Elashry MA, El-Haroun ER, Davies SJ. Growth and physiological responses of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fed dietary fermented sunflower meal inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis*. *Aquaculture*. 2018;495:592-601. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.06.018
28. 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
29. Isla A, Sánchez P, Ruiz P, Albornoz R, Pontigo JP, Rauch MC, Hawes C, Vargas-Chacoff L, Yáñez AJ. Effect of low-dose *Piscirickettsia salmonis* infection on haematological-biochemical blood parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology*. 2022;101(4):1021-1032. doi: 10.1111/jfb.15167
30. Kanu KC, Okoboshi AC, Otitolaju AA. Haematological and biochemical toxicity in freshwater fish *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus* following pulse exposure to atrazine, mancozeb, chlorpyrifos, lambda-cyhalothrin, and their combination. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2023;270:109643. doi: 10.1016/j.cbpc.2023.109643

31. Kesbic OS, Acar U, Hassaan MS, Yilmaz S, Guerrero MC, Fazio F. Effects of tomato paste by-product extract on growth performance and blood parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). *Animals (Basel)*. 2022;12(23):3387. doi: 10.3390/ani12233387
32. Klykken C, Khan E, Karlsen C, Reed AK, Attramadal KJK, Olsen RE, Boissonnot L. Nephrocalcinosis in juvenile farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*) may be linked to osmoregulatory stress. *Journal of Fish Diseases*. 2023;00:13815. doi: 10.1111/jfd.13815
33. Liang Q, Yuan M, Xu L, Lio E, Zhang F, Mou H, Secundo F. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. *Marine Life Science & Technology*. 2022;4(2):208-221. doi: 10.1007/s42995-022-00128-z
34. Liu WB, Wang MM, Dai LY, Dong AH, Yuan XD, Yuan XD, Yuan SL, Tang Y, Liu JH, Peng LY, Xiao YM. Enhanced immune response improves resistance to cadmium stress in triploid crucian carp. *Frontiers in Physiology*. 2021;12:666363. doi: 10.3389/fphys.2021.666363
35. Ma L, Kaneko G, Xie J, Wang G, Li Z, Tian J, Zhang K, Xia Y, Gong W, Li H, Yu E. Safety evaluation of four faba bean extracts used as dietary supplements in grass carp culture based on hematological indices, hepatopancreatic function and nutritional condition. *PeerJ*. 2020;8:e9516. doi: 10.7717/peerj.9516
36. Mazini BSM, Martins GP, de Castro Menezes LL, Guimarães IG. Nutritional feed additives reduce the adverse effects of transport stress in the immune system of Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;3:100051. doi: 10.1016/j.fsirep.2022.100051
37. Nabi N, Ahmed I, Wani GB. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. *Saudi journal of biological sciences*. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
38. 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;591:551-563. doi: 10.1038/s41586-021-03308-6
39. Ni M, Liu M, Lou J, Mi G, Yuan J, Gu Z. Stocking density alters growth performance, serum biochemistry, digestive enzymes, immune response, and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in in-pond raceway system. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021;47(4):1243-1255. doi: 10.1007/s10695-021-00948-3
40. Okeke ES, Chukwudozie KI, Nyaruaba R, Ita RE, Oladipo A, Ejeromedoghene O, Atakpa EO, Agu CV, Okoye CO. Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organisms: a review of current nanotechnology applications for sustainable management. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2022;29(46):69241-69274. doi: 10.1007/s11356-022-22319-y
41. Puri P, Sharma JG, Singh R. Biotherapeutic microbial supplementation for ameliorating fish health: developing trends in probiotics, prebiotics, and synbiotics use in finfish aquaculture. *Animal Health Research Reviews*. 2022;23(2):113-115. doi: 10.1017/S1466252321000165
42. Rebl A, Goldammer T. Under control: The innate immunity of fish from the inhibitors' perspective. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018;77:328-349. doi: 10.1016/j.fsi.2018.04.016
43. Reina JC, Romero M, Salto R, Cámara M, Llamas I. AhaP, a quorum quenching acylase from *psychrobacter* sp. M9-54-1 that attenuates *pseudomonas aeruginosa* and *vibrio coralliilyticus* virulence. *Marine Drugs*. 2021;19(1):16. doi: 10.3390/md19010016
44. Ries EF, Ferreira CC, Goulart FR, Lovatto NM, Loureiro BB, Bender ABB, Macedo GA, Silva LPDA. Improving nutrient availability of defatted rice bran using different phytase sources applied to grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) diet. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2020;92(3):e20190201. doi: 10.1590/0001-3765202020190201
45. Singh M, Barman AS, Devi AL, Devi AG, Pandey PK. Iron mediated hematological, oxidative and histological alterations in freshwater fish *Labeo rohita*. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019;170:87-97. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.129

46. Singh R, Wang Z, Marques C, Min R, Zhang B, Kumar S. Alanine aminotransferase detection using TIT assisted four tapered fiber structure-based LSPR sensor: From healthcare to marine life. *Biosensors and Bioelectronics*. 2023;236:115424. doi: 10.1016/j.bios.2023.115424
47. Tarnecki AM, Rhody NR, Walsh CJ. Health characteristics and blood bacterial assemblages of healthy captive red drum: implications for aquaculture and fish health management. *Journal of Aquatic Animal Health*. 2018;30(4):339-353. doi: 10.1002/aah.10047
48. Ullah M, Yousafzai AM, Muhammad I, Ullah SA, Zahid M, Khan MI, Khan K, Khayyam, Nayab GE, Aschner M, Alsharif KF, Alzahrani KJ, Khan H. Effect of cypermethrin on blood hematology and biochemical parameters in fresh water fish *Ctenopharyngodon idella* (Grass Carp). *Cell and Molecular Biology*. 2022;68(10-10):15-20. doi: 10.14715/cmb/2022.68.10.3
49. Vijayaram S, Sun YZ, Zuorro A, Ghafarifarsani H, Doan HV, Hoseinifar SH. Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;130:294-308. doi: 10.1016/j.fsi.2022.09.011
50. 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
51. Ziółkowska E, Bogucka J, Dankowiakowska A, Rawski M, Mazurkiewicz J, Stanek M. Effects of a trans-galactooligosaccharide on biochemical blood parameters and intestine morphometric parameters of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Animals (Basel)*. 2020;10(4):723. doi: 10.3390/ani10040723
52. Zuo ZH, Shang BJ, Shao YC, Li WY, Sun JS. Screening of intestinal probiotics and the effects of feeding probiotics on the growth, immune, digestive enzyme activity and intestinal flora of *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;86:160-168. doi: 10.1016/j.fsi.2018.11.003

References

1. Arinzhanova MS. Ultrafine preparations of trace metals: experience of use and prospects for use in aquaculture (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):8-30. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-8
2. Akhmetova VV, Vasina SB. Assessment of morphological and biochemical blood picture of carps grown in LLC «fish farm» in Ulyanovsk district of Ulyanovsk region. *Vestnik Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2015;3(31):53-58. doi: 10.18286/1816-4501-2015-3-53-58
3. Barabash AA, Miroshnikova EP, Zharkov AN. The influence of an enzyme preparation on the elemental status of carp at different protein contents in the diet. *Vestnik Orenburg State University*. 2006;2S(52):4-6.
4. Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of SiO₂, probiotic preparation Bifidobiom and a complex of microelements on the body of carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):48-66. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-48
5. Salomatina VV, Varakin AT, Konobley TV, Radzievsky EB. The influence of biologically active additives in diets for broilers on the digestibility and retention of dietary nutrients. *Poultry Breeding*. 2021;2:16-20. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-2-16-20
6. Zueva MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV. The effect of probiotics on the elemental composition of muscle tissue in carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):8-20. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-8
7. Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Influence of ultrafine particles of silicon dioxide on the growth and amino acid composition of fish liver. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(2):8-16. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-8

8. Kilyakova YV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Arinzhanova MS. Influence of phytobiotic feed additives on growth and morphobiochemical parameters of fish blood. *Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):115-125. doi: 10.33284/2658-3135-105-3-115
9. Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146
10. Sheyda EV, Ryazanov VA, Miroshnikov SA, Duskaev GK. Changes in the biochemical parameters of saliva, blood and the degree of feed digestibility (*in vitro*) against the background of the introduction of sunflower husk to young cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):12-21. doi: 10.33284/2658-3135-104-4-12
11. Ilyashenko AN. Bacillus probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):165-180. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-165
12. Duskaev GK, Sheyda EV, Kvan OV, Kurilkina MYa, Rakhmatullin SG. On The use of vanillin in diets for broilers. *Poultry Breeding*. 2023;3:14-19. doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-3-14-19
13. Lykasova IA, Makarova GP. Impact of Nabicat on morphological biochemical parameters of european carp. *Vestnik NGAU (Novosibirsk state agrarian university)*. 2019;2(51):90-95. doi: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-90-95
14. Mustafina AS, Mustafin RZ. The effect of different doses of silicon dioxide on the concentration of organic acids and trace elements in liver of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):119-129. doi: 10.33284/2658-3135-105-1-119
15. Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YV, Zueva MS. Assessment of the elemental status of carp grown on a diet with the inclusion of probiotic preparations. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex-Healthy Food Products*. 2022;1:83-88. doi: 10.24412/2311-6447-2022-1-83-88
16. Pristupa VN, Rubashkin RV. Using an enzyme preparation Glucavamorin G3x for raising holstein heifers of different lines. *Bulletin of Don State Agrarian University*. 2020;4(38.1):57-61.
17. Baldissera MD, Souza CF, Doleski PH, Zeppenfeld CC, Descovi S, Da Silva AS, Baldisserotto B. Xanthine oxidase activity exerts pro-oxidative and pro-inflammatory effects in serum of silver catfish fed with a diet contaminated with aflatoxin B₁. *Journal of Fish Diseases*. 2018;41(7):1153-1158. doi: 10.1111/jfd.12812
18. Barrientos ELB, Legaspi JT, O Paus KG, Yamzon AR, Castor RM. Effects of citrus sinensis (orange) and lycopersicon esculentum miller (tomato) juices on the hematological parameters of rattus albus (albino rat). *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*. 2020;7(2):4087-4095.
19. Beltrán JMG, Esteban MA. Nature-identical compounds as feed additives in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;123:409-416. doi: 10.1016/j.fsi.2022.03.010
20. Buchmann K. Control of parasitic diseases in aquaculture. *Parasitology*. 2022;149(14):1985-1997. doi: 10.1017/S0031182022001093
21. Dawood MAO, Abdo SE, Gewaily MS, Moustafa EM, SaadAllah MS, AbdEl-kader MF, Hamouda AH, Omar AA, Alwakeel RA. The influence of dietary β -glucan on immune, transcriptomic, inflammatory and histopathology disorders caused by deltamethrin toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;98:301-311. doi: 10.1016/j.fsi.2020.01.035
22. 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 Immunology*. 2021;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007
23. 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
24. Gharaei A, Khajeh M, Khosravanizadeh A, Mirdar J, Fadai R. Fluctuation of biochemical, immunological, and antioxidant biomarkers in the blood of beluga (*Huso huso*) under effect of dietary ZnO and chitosan-ZnO NPs. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2020;46(2):547-561. doi: 10.1007/s10695-019-00726-2

25. Golovacheva NA, Ponomarev AK, Nikiforov-Nikishin DL, Brezhnev LL. The experience of using a mineral chelate additive for growing juveniles of the African sharp-toothed catfish (*Clarias Gariepinus*) in a recirculating aquaculture system. Published in SciELO Brazil 29 Aug 2022. Brazilian Journal of Biology. 2024;84:e265119. doi: 10.1590/1519-6984.265119
26. González JD, Silva-Marrero JI, Metón I, Caballero-Solares A, Viegas I, Fernández F, Miñarro M, Fàbregas A, Ticó JR, Jones JG, Baanante IV. Chitosan-mediated shRNA knockdown of cytosolic alanine aminotransferase improves hepatic carbohydrate metabolism. Marine Biotechnology. 2016;18(1):85-97. doi: 10.1007/s10126-015-9670-8
27. Hassaan MS, Soltan MA, Mohammady EY, Elashry MA, El-Haroun ER, Davies SJ. Growth and physiological responses of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fed dietary fermented sunflower meal inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis*. Aquaculture. 2018;495:592-601. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.06.018
28. 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
29. Isla A, Sánchez P, Ruiz P, Alborno R, Pontigo JP, Rauch MC, Hawes C, Vargas-Chacoff L, Yáñez AJ. Effect of low-dose *Piscirickettsia salmonis* infection on haematological-biochemical blood parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Journal of Fish Biology. 2022;101(4):1021-1032. doi: 10.1111/jfb.15167
30. Kanu KC, Okoboshi AC, Otitoloju AA. Haematological and biochemical toxicity in freshwater fish *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus* following pulse exposure to atrazine, mancozeb, chlorpyrifos, lambda-cyhalothrin, and their combination. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 2023;270:109643. doi: 10.1016/j.cbpc.2023.109643
31. Kesbic OS, Acar U, Hassaan MS, Yilmaz S, Guerrero MC, Fazio F. Effects of tomato paste by-product extract on growth performance and blood parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). Animals (Basel). 2022;12(23):3387. doi: 10.3390/ani12233387
32. Klykken C, Khan E, Karlsen C, Reed AK, Attramadal KJK, Olsen RE, Boissonnot L. Nephrocalcinosis in juvenile farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*) may be linked to osmoregulatory stress. Journal of Fish Diseases. 2023;00:13815. doi: 10.1111/jfd.13815
33. Liang Q, Yuan M, Xu L, Lio E, Zhang F, Mou H, Secundo F. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. Marine Life Science & Technology. 2022;4(2):208-221. doi: 10.1007/s42995-022-00128-z
34. Liu WB, Wang MM, Dai LY, Dong AH, Yuan XD, Yuan XD, Yuan SL, Tang Y, Liu JH, Peng LY, Xiao YM. Enhanced immune response improves resistance to cadmium stress in triploid crucian carp. Frontiers in Physiology. 2021;12:666363. doi: 10.3389/fphys.2021.666363
35. Ma L, Kaneko G, Xie J, Wang G, Li Z, Tian J, Zhang K, Xia Y, Gong W, Li H, Yu E. Safety evaluation of four faba bean extracts used as dietary supplements in grass carp culture based on hematological indices, hepatopancreatic function and nutritional condition. PeerJ. 2020;8:e9516. doi: 10.7717/peerj.9516
36. Mazini BSM, Martins GP, de Castro Menezes LL, Guimarães IG. Nutritional feed additives reduce the adverse effects of transport stress in the immune system of Tambaqui (*Colossoma macropomum*). Fish & Shellfish Immunology. 2022;3:100051. doi: 10.1016/j.fsirep.2022.100051
37. Nabi N, Ahmed I, Wani GB. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. Saudi journal of biological sciences. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
38. 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;591:551-563. doi: 10.1038/s41586-021-03308-6

39. Ni M, Liu M, Lou J, Mi G, Yuan J, Gu Z. Stocking density alters growth performance, serum biochemistry, digestive enzymes, immune response, and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in in-pond raceway system. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021;47(4):1243-1255. doi: 10.1007/s10695-021-00948-3
40. Okeke ES, Chukwudozie KI, Nyaruaba R, Ita RE, Oladipo A, Ejeromedoghene O, Atakpa EO, Agu CV, Okoye CO. Antibiotic resistance in aquaculture and aquatic organisms: a review of current nanotechnology applications for sustainable management. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2022;29(46):69241-69274. doi: 10.1007/s11356-022-22319-y
41. Puri P, Sharma JG, Singh R. Biotherapeutic microbial supplementation for ameliorating fish health: developing trends in probiotics, prebiotics, and synbiotics use in finfish aquaculture. *Animal Health Research Reviews*. 2022;23(2):113-115. doi: 10.1017/S1466252321000165
42. Rebl A, Goldammer T. Under control: The innate immunity of fish from the inhibitors' perspective. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018;77:328-349. doi: 10.1016/j.fsi.2018.04.016
43. Reina JC, Romero M, Salto R, Cámara M, Llamas I. AhaP, a quorum quenching acylase from *psychrobacter* sp. M9-54-1 that attenuates *pseudomonas aeruginosa* and *vibrio coralliilyticus* virulence. *Marine Drugs*. 2021;19(1):16. doi: 10.3390/md19010016
44. Ries EF, Ferreira CC, Goulart FR, Lovatto NM, Loureiro BB, Bender ABB, Macedo GA, Silva LPDA. Improving nutrient availability of defatted rice bran using different phytase sources applied to grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) diet. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. 2020;92(3):e20190201. doi: 10.1590/0001-3765202020190201
45. Singh M, Barman AS, Devi AL, Devi AG, Pandey PK. Iron mediated hematological, oxidative and histological alterations in freshwater fish *Labeo rohita*. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019;170:87-97. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.129
46. Singh R, Wang Z, Marques C, Min R, Zhang B, Kumar S. Alanine aminotransferase detection using TIT assisted four tapered fiber structure-based LSPR sensor: From healthcare to marine life. *Biosensors and Bioelectronics*. 2023;236:115424. doi: 10.1016/j.bios.2023.115424
47. Tarnecki AM, Rhody NR, Walsh CJ. Health characteristics and blood bacterial assemblages of healthy captive red drum: implications for aquaculture and fish health management. *Journal of Aquatic Animal Health*. 2018;30(4):339-353. doi: 10.1002/aah.10047
48. Ullah M, Yousafzai AM, Muhammad I, Ullah SA, Zahid M, Khan MI, Khan K, Khayyam, Nayab GE, Aschner M, Alsharif KF, Alzahrani KJ, Khan H. Effect of cypermethrin on blood hematology and biochemical parameters in fresh water fish *Ctenopharyngodon idella* (Grass Carp). *Cell and Molecular Biology*. 2022;68(10-10):15-20. doi: 10.14715/cmb/2022.68.10.3
49. Vijayaram S, Sun YZ, Zuorro A, Ghafarifarsani H, Doan HV, Hoseinifar SH. Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022;130:294-308. doi: 10.1016/j.fsi.2022.09.011
50. 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
51. Ziółkowska E, Bogucka J, Dankowiakowska A, Rawski M, Mazurkiewicz J, Stanek M. Effects of a trans-galactooligosaccharide on biochemical blood parameters and intestine morphometric parameters of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Animals (Basel)*. 2020;10(4):723. doi: 10.3390/ani10040723
52. Zuo ZH, Shang BJ, Shao YC, Li WY, Sun JS. Screening of intestinal probiotics and the effects of feeding probiotics on the growth, immune, digestive enzyme activity and intestinal flora of *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;86:160-168. doi: 10.1016/j.fsi.2018.11.003

Информация об авторах:

Марина Сергеевна Мингазова, ассистент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13; аспирант 2 года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29, 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.

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.

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.

Information about the authors:

Marina S Mingazova, Assistant of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, Postgraduate student, 2 year of study, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel: 8-922-853-24-46.

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.

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.

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

Статья поступила в редакцию 29.07.2023; одобрена после рецензирования 16.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was submitted 29.07.2023; approved after reviewing 16.08.2023; accepted for publication 11.09.2023.