

УДК: 639.371.5.043

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.1.186

ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИТА AG-C НА РОСТ И ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КАРПА

Килякова Ю.В.* – канд. биол. наук, доц., доц. каф. биотехнологии животного сырья и аквакультуры (ORCID 0000-0002-2385-264X); **Мирошникова Е.П.** – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биотехнологии животного сырья и аквакультуры (ORCID 0000-0003-3804-5151); **Аринжанов А.Е.** – канд. с-х. наук, доц., доц. каф. биотехнологии животного сырья и аквакультуры (ORCID 0000-0001-6534-7118); **Мингазова М.С.** – асс. каф. биотехнология животного сырья и аквакультуры (ORCID 0000-0002-2818-1312).

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

*fish-ka06@mail.ru

Ключевые слова: карп, кормление, наноккомпозит серебра, морфологические и биохимические показатели крови, динамика роста, кормовые добавки.

Key words: carp, feeding, silver nanocomposite, morphological and biochemical blood parameters, growth dynamics, feed additives.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-76-10054

Поступила: 10.02.2025

Принята к публикации: 06.03.2025

Опубликована онлайн: 26.03.2025



РЕФЕРАТ

В статье представлены результаты влияния наноккомпозита серебра на рост и показатели крови карпа. В течение восьми недель рыбы опытных групп в качестве кормовой добавки к основному рациону получали Ag-C в дозировках 0,1 ppm и 0,8 ppm. Наноккомпозит серебра оказал отрицательное влияние на рост молоди карпа. К концу эксперимента I группа, получавшая наноккомпозит Ag-C в дозировке 0,1 ppm, отставала в росте от контрольной группы на 48,9 %, а II группа, получавшая наноккомпозит Ag-C в дозировке 0,8 ppm, отставала в росте от контрольной группы на 12,7 %. Снижение количества лейкоцитов и повышение количества эритроцитов, гемоглобина, гематокрита, тромбоцитов в I группе свидетельствует об усилении метаболических процессов и окислительно-восстановительных реакций, антибактериальном эффекте серебра, а также указывает на стрессовую реакцию организма на токсическое воздействие. Уровни мочевины, креатинина и мочевой кислоты достоверно превосходили контрольные значения в опытных группах, что связано с активацией процессов снижения токсического влияния серебра на организм карпа. По показателям крови в нашем исследовании виден антибактериальный и токсический эффект серебра. Устраняя болезнетворную микрофлору в организме, наноккомпозит Ag-C также оказывал сильное токсическое воздействие.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Аквакультура во всем мире считается одной из важнейших отраслей производства продуктов питания, как с точки зрения экономической эффективности, так и с точки зрения продовольственной безопасности. Продовольственная безопасность является глобальной проблемой, от которой страдают миллионы людей всех стран. Новейшие технологии аквакультуры могут способствовать решению этой проблемы, повышая доступность и безопасность гидробионтов [1].

Интенсификация при культивировании водных биоресурсов направлена на сокращение времени выращивания и увеличение производительности. Необходимость сосредоточить все физиологические ресурсы живых организмов на повышение показателей приводит к состоянию стресса и делает их чувствительными к различным заболеваниям, не всегда стабильным и благоприятным условиям среды. Эффективным решением этого вопроса ученые всего мира видят в воздействии на организм через кормление. Так, различные кормовые добавки не только сохраняют продуктивность, но и снижают воздействие стресс-факторов на гидробионтах [2].

В качестве кормовых добавок в аквакультуре нашли применение антибиотики, про- и пребиотики, фитобиотики, ферментативные препараты, препараты-ингибиторы кворума сенсинга бактерий, наночастицы металлов [3-5]. Благодаря своему небольшому размеру и высокому соотношению площади поверхности к заряду наночастицы металлов обладают высокой химической активностью и биодоступностью, улучшенными характеристиками, способны вступать в реакции с другими веществами без использования дополнительной энергии [6]. Кроме того, сокращение количества минералов, добавляемых в рацион гидробионтов, позволяет снизить себестоимость корма [7].

В последнее время наночастицы серебра вызывают большой интерес в аквакультуре. Они известны своими антибактериальными, противогрибковыми, про-

тивовирусными, противопротозойными, антиоксидантными свойствами. Наночастицы серебра представляют собой альтернативу антибиотикам, способствуют укреплению здоровья и росту [8]. Но следует помнить, что малый размер наночастиц может влиять на их токсичность, вызывая патологические изменения в клетках и тканях организмов [9]. Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования для оценки безопасности и выявления допустимых дозировок при использовании наночастиц серебра в качестве кормовой добавки в рационах гидробионтов.

Цель исследований – оценить влияние нанокompозита Ag-C на рост и показатели крови карпа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования были проведены на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет». Объект исследования – сеголетки карпа (*Cyprinus carpio*) навеской $25,0 \pm 0,2$ г. Карп является одним из самых распространенных объектов рыбоводства в России. Низкая себестоимость посадочного материала, быстрый рост, неприхотливость к условиям обитания дают возможность выращивания этого вида в самых разнообразных хозяйствах во всех рыбо-водных зонах. Длительность подготовительного периода – 7 суток, длительность учетного периода – 56 суток.

Методом пар-аналогов были сформированы три группы рыб ($n = 15$). Схема эксперимента представлена на рисунке 1.

В качестве основного рациона использовался комбикорм «КРК-110» (Россия, г. Оренбург).

Нанокompозит Ag-C (40-60 нм) представляет собой углеродную матрицу с наночастицами серебра. Нанокompозит получен плазменно-дуговой технологией синтеза на углеродной матрице в Институте Теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН. Способ синтеза включает распыление в плазме электрического дугового разряда постоянного

тока в атмосфере инертного газа композитного электрода в виде графитового стержня с просверленной полостью, в которую запрессована смесь порошков металла и углерода в виде графита.

Сеголетки карпа содержались в аквариумах объемом 300 литров, оборудованных фильтрами, аэраторами и терморегуляторами. Температура воды поддерживалась на уровне $24 \pm 1^\circ\text{C}$, содержание кислорода не ниже 5,0-6,0 мг/л, pH 6,5-7,0. Кормление осуществлялось трижды в сутки с равными интервалами. Норма корма в сутки составляла 5 % от массы тела [10].

Для контроля роста сеголеток карпа в ходе исследования еженедельно определялась масса тела. Из показателей крови определялись морфологические

(эритроциты, гемоглобин, лейкоциты, гематокрит, тромбоциты, средний объем эритроцитов, индекс распределения эритроцитов) и биохимические (глюкоза, общий белок, альбумин, аланинаминотрансфераза, аспартатаминотрансфераза, билирубин общий, холестерин, триглицериды, мочевины, креатинин, мочевиная кислота, магний, железо, кальций, фосфор). Гематологические исследования проводились по общепринятым методикам [11] в Испытательном центре ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН.

Обработка результатов исследований проводилась с помощью программы Microsoft Excel. Уровень различий оценивали с помощью критерия достоверности Стьюдента.

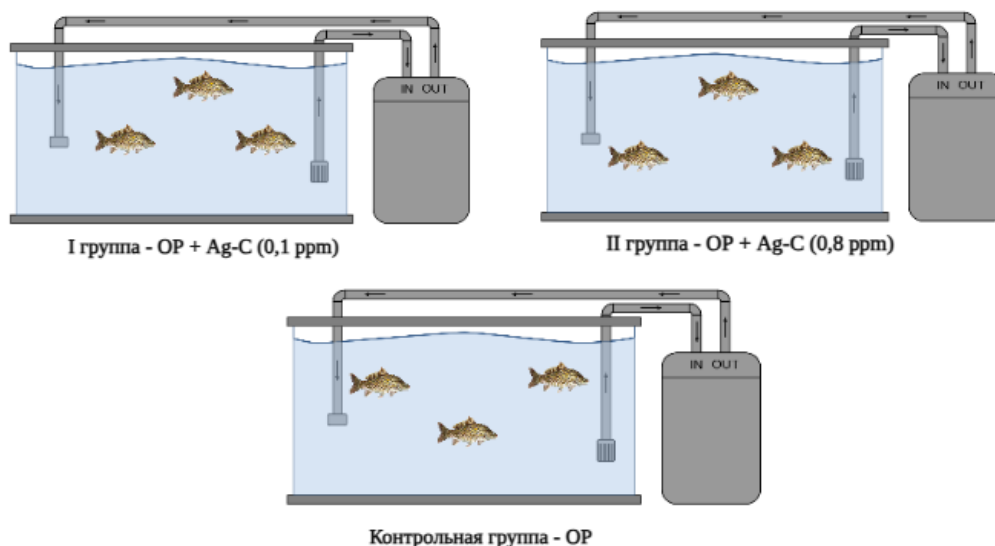


Рисунок 1 – Схема эксперимента.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Важным показателем при учете продуктивности рыб является динамика роста. Чем выше этот показатель, тем выше продуктивность гидробионтов [4]. Динамика прироста живой массы карпа в ходе исследования представлена на рисунке 2.

Анализируя данные по динамике роста сеголеток карпа установлено, что добав-

ление нанокompозита серебра имело негативное влияние на ростовые показатели. С первой недели эксперимента рыбы опытных групп заметно отставали от контрольной. Такая динамика сохранялась на протяжении всех восьми недель. К концу эксперимента I группа, получавшая нанокompозит Ag-C в дозировке 0,1 ppm, отставала в росте от контрольной группы на

48,9 %, а II группа, получавшая нанокомпозит Ag-C в дозировке 0,8 ppm, имела не такие значительные отрицательные показатели, но, тем не менее, также отставала в росте от контрольной группы на 12,7 %.

Безопасность кормовой добавки может быть оценена по основным гематоло-

гическим показателям как наиболее чувствительным к разнообразным воздействиям. Морфологические показатели карпа представлены в таблице 1, а биохимические – в таблице 2.

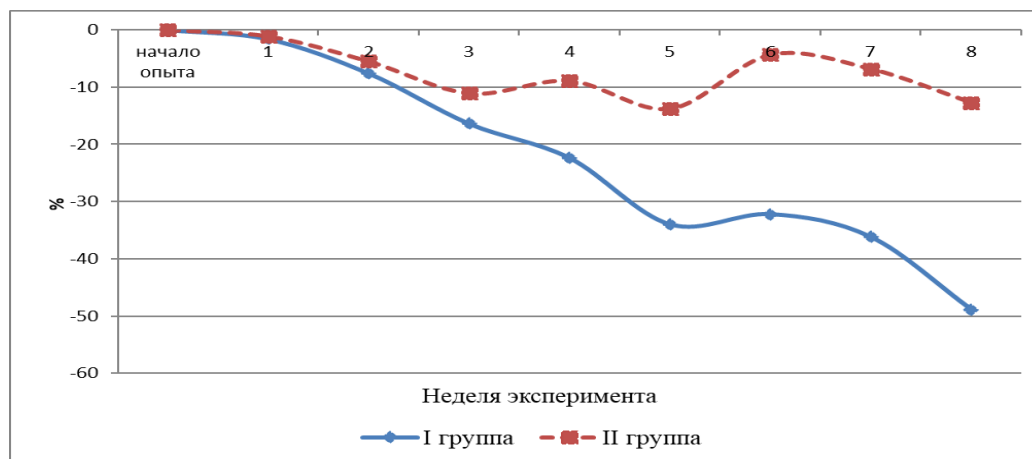


Рисунок 2 – Динамика прироста живой массы карпа с нанокомпозитами Ag по сравнению с контролем, %.

Таблица 1 – Морфологические показатели крови карпа

Показатели	Группа		
	Контроль	I	II
Эритроциты, $10^{12}/л$	$0,57 \pm 0,11$	$0,88 \pm 0,07^*$	$0,48 \pm 0,07$
Гемоглобин, г/л	$116,7 \pm 11,06$	$142 \pm 9,0$	$101,3 \pm 9,1$
Лейкоциты, $10^9/л$	$108,5 \pm 5,22$	$89 \pm 4,6^*$	$88,3 \pm 5,55$
Гематокрит, %	$7,63 \pm 0,7$	$18,2 \pm 2,05^{**}$	$10,87 \pm 2,043$
Тромбоциты, $10^9/л$	$12,03 \pm 1,35$	$25,43 \pm 2,69^{**}$	$13,07 \pm 1,2$
Средний объем эритроцитов, %	$189,7 \pm 10,1$	$191,9 \pm 7,9$	$202,1 \pm 6,8$
Индекс распределения эритроцитов, %	$42,2 \pm 1,9$	$34 \pm 2,5^*$	$31,2 \pm 2,9^{**}$

Примечание: * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$.

Отличия во всех опытных группах по морфологии крови были весьма значительны. Количество эритроцитов превышало контроль на 54,4 % ($P \leq 0,05$) в группе, получавшей 0,1 ppm Ag-C. Количество лейкоцитов было заметно ниже в опытных группах по сравнению с контролем, в I группе достоверное снижение на

18 % ($P \leq 0,05$). Снижение этого показателя может быть связано с бактерицидными свойствами серебра [7-8], а также указывать на иммуносупрессию [12]. Гематокрит превосходил по своим значениям контроль во всех опытных группах. В группе, получавшей минимальную дозировку нанокомпозита серебра, гематокрит

был достоверно выше контрольных значений на 138,5 % ($P \leq 0,01$). Активация окислительно-восстановительных реакций и метаболических процессов наблюдается, в том числе, при повышении количества эритроцитов, гемоглобина, гематокрита [13]. Ахметова В.В. (2015), Nabi N. (2022), Hasan A.M. (2022) такую тенденцию показателей красной крови объясняют следствием стрессовой реакции организма рыб на токсическое воздействие. Аналогичная картина зафиксирована и с тромбоцитами: превышение во всех

опытных группах, в I группе – на 111,4 % ($P \leq 0,01$). Увеличение количества тромбоцитов происходит при активизации иммунной защиты организма, что особенно важно при воздействии стресс-факторов [17]. Средний объем эритроцитов не имел достоверных отличий от контрольной группы и был в пределах физиологической нормы [4]. Индекс распределения эритроцитов на 19,4 % ($P \leq 0,05$) и 26,1 % ($P \leq 0,01$) зафиксирован ниже контроля в I и II опытных группах соответственно.

Таблица 2 – Биохимические показатели сыворотки крови карпа

Показатели	Группа		
	контроль	I	II
Глюкоза, ммоль/л	5,89 ± 0,485	8,56 ± 1,276*	8,43 ± 1,235*
Общий белок, г/л	23,71 ± 2,03	28,24 ± 2,22	28,36 ± 2,044*
Альбумин, г/л	13,4 ± 1,31	17,12 ± 1,08*	17,31 ± 1,3*
АЛТ, Ед/л	50,87 ± 2,937	50,5 ± 1,808	47,8 ± 2,052
АСТ, Ед/л	241,6 ± 19,67	124 ± 15,92***	132,9 ± 11,6***
Билирубин общий, мкмоль/л	1,9 ± 0,186	1,18 ± 0,185**	2,03 ± 0,151
Холестерин, ммоль/л	2,63 ± 0,427	2,24 ± 0,205	2,92 ± 0,349
Триглицериды, ммоль/л	0,99 ± 0,1	0,89 ± 0,096	1,16 ± 0,111
Мочевина, ммоль/л	1,53 ± 0,153	4,97 ± 0,416***	7,8 ± 0,656***
Креатинин, мкмоль/л	1,04 ± 0,114	1,41 ± 0,08*	1,67 ± 0,11**
Мочевая кислота, мкмоль/л	120,8 ± 8,44	148,8 ± 10,07*	149,9 ± 9,57*
Магний, ммоль/л	3,37 ± 0,252	7,7 ± 0,985**	10,1 ± 2,05**
Железо, мкмоль/л	23 ± 2,7	23,4 ± 2,25	23,3 ± 2,42
Кальций, ммоль/л	2,97 ± 0,28	0,98 ± 0,31**	1,09 ± 0,246**
Фосфор, ммоль/л	2,81 ± 0,185	1,49 ± 0,15**	2,96 ± 0,312

Примечание: * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$.

Глюкоза опытных групп имела достоверные различия с контрольной – выше на 45,3 % ($P \leq 0,05$) и 43,1 % ($P \leq 0,05$) в I и II группах соответственно. Уровень глюкозы в крови повышается при возникновении необходимости противостоять неблагоприятным воздействиям и стрессам [18]. В организме карпа наблюдалась активация белкового обмена - общий белок в группах, получавших нанокompозит серебра, незначительно превосходил кон-

троль. Показатели альбумина достоверно превосходили контрольные значения на 27,8 % ($P \leq 0,05$) и 29,2 % ($P \leq 0,05$) соответственно в опытных группах. Активность ферментов аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ), в отличие от предыдущих показателей, снизилась в группах, получавших нанокompозит серебра. Зафиксировано особенно значительное снижение активности АСТ на 48,5 % ($P \leq 0,001$) и 45 %

($P \leq 0,001$). Аминотрансферазы являются индикаторами метаболических функций печени и состояния тканей печени. При активном токсическом воздействии на организм для обеспечения барьерной защиты метаболические функции печени поступление в кровь трансаминаз снижалось [9]. Достоверное снижение билирубина наблюдалось в группе, получавшей 0,1 ppm Ag-C (на 37,9 % ($P \leq 0,01$)). Холестерин и триглицериды незначительно снижались в первой опытной группе и повышались во второй относительно контроля. Достоверное превышение зафиксировано по мочеvine – на 224,8 % ($P \leq 0,001$) и 409,8 % ($P \leq 0,001$) в группах, получавших в качестве кормовой добавки нанокompозит серебра. Показатели креатинина и мочевой кислоты также достоверно превосходили контрольные значения в опытных группах. Повышение показателей мочевины, мочевой кислоты и креатинина связано с активацией процессов снижения токсического влияния серебра на организм карпа [7, 8].

Из минеральных соединений зафиксировано значительное превышение магния – на 128,5 % ($P \leq 0,01$) и 199,7 % ($P \leq 0,01$) в I и II группах соответственно. В отличие от магния в опытных группах происходило достоверное снижение кальция (на 67 % ($P \leq 0,01$) и 63,3 % ($P \leq 0,01$)). Фосфор снизился в первой группе – на 47 % ($P \leq 0,01$).

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Применение нанокompозита серебра в аквакультуре может иметь большую экономическую ценность за счет сокращения проблем, связанных с болезнями гидробионтов, повысить выживаемость, улучшить иммунный статус за счет сокращения использования антибиотиков, уменьшения патогенной микрофлоры кишечника, предотвращения окислительных повреждений [1-3, 7-8, 18-20]. Несмотря на то, что нанокompозит серебра обладает множеством преимуществ, его влияние на живые системы до сих пор спорно. Так, наночастицы серебра оказались токсичными для даanio рерио, радужной форели, карпа: повреждали митохондрии, снижа-

ли реакции клеточного метаболизма, вызывали некроз печени, жабр [9].

В нашем исследовании использование нанокompозита серебра в качестве кормовой добавки для молоди карпа привело к угнетению роста и развития рыб. Анализируя показатели крови, виден антибактериальный и токсический эффект серебра. Устраняя болезнетворную микрофлору в организме, нанокompозит Ag-C также оказывал сильное токсическое воздействие, и все жизненные силы шли на его подавление и активацию защитных функций. Серебро в наноформе в концентрации 0,1 ppm и 0,8 ppm оказалось стресс-фактором для карпа. Исследования в этой области необходимо продолжать для получения дополнительных данных о механизмах действия и долгосрочных эффектах использования нанокompозитов в аквакультуре.

EFFECT OF AG-C NANOCOMPPOSITE ON CARP GROWTH AND BLOOD PARAMETERS

Kilyakova Y.V.* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture (ORCID: 0000-0002-2385-264X); **Miroshnikova E.P.** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture (ORCID: 0000-0003-3804-5151); **Arinzhanov A.E.** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture (ORCID: 0000-0001-6534-7118); **Mingazova M.S.** – Assistant of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture (ORCID: 0000-0002-2818-1312).

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Orenburg State University”

*fish-ka06@mail.ru

Acknowledgments: This work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 23-76-10054.

ABSTRACT

The article presents the results of the effect of silver nanocomposite on growth and blood parameters of carp. During eight weeks fish of experimental groups received Ag-C in doses of 0.1 ppm and 0.8 ppm as a feed additive to the main diet. Silver nanocomposite had a negative effect on the growth of juvenile carp. By the end of the experiment, Group I, which received Ag-C nanocomposite at a dosage of 0.1 ppm, was 48.9 % behind the control group in growth, and Group II, which received Ag-C nanocomposite at a dosage of 0.8 ppm, was 12.7 % behind the control group in growth. Decrease in the number of leukocytes and increase in the number of erythrocytes, hemoglobin, hematocrit, thrombocytes in group I indicates an increase in metabolic processes and redox reactions, antibacterial effect of silver, as well as indicates the stress response of the body to toxic exposure. The levels of urea, creatinine and uric acid significantly exceeded the control values in the experimental groups, which is associated with the activation of the processes of reducing the toxic effect of silver on the body of carp. The antibacterial and toxic effect of silver can be seen from the blood parameters in our study. Eliminating pathogenic microflora in the body, Ag-C nanocomposite also had a strong toxic effect.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Khursheed, S. Biogenic silver nanoparticles: Synthesis, applications and challenges in food sector with special emphasis on aquaculture / S. Khursheed et al. // Food Chem X. – 2023. - Dec 7;20:101051. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.101051.
2. Ажмулдинов, Е.А. Использование наночастиц серебра в кормлении животных и птицы // Е.А. Ажмулдинов, М.А. Кизаев, М.Г. Титов, И.А. Бабицева Вестник Пермского института ФСИН России. - 2019. - № 3 (34). - С. 73-78.
3. Аринжанова, М.С. Биологическое действие ультрадисперсных частиц SiO₂, пробиотического препарата Бифидобиом и комплекса микроэлементов на организм карпа / М.С. Аринжанова [и др.] // Живот-

- новодство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106. – № 1. – С. 48–66.
4. Килякова, Ю.В. Влияние фитобиотических кормовых добавок на рост и морфобиохимические показатели крови рыб / Ю.В. Килякова [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2022. – Т. 105. – № 3. – С. 115–125.
5. Мирошникова М.С. Применение антибиотиков в сельском хозяйстве и альтернативы их использования / М.С. Мирошникова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 5. – С. 65–70.
6. Лебедева, Т.И. Влияние ветеринарных препаратов на основе наночастиц микроэлементов на здоровье животных и качество продукции // Т.И. Лебедева, И.А. Красочко, П.А. Красочко // Вестник АПК Верхневолжья. - 2021. - № 2 (54). - С. 73-79.
7. Michalak, I. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production livestock animals and poultry / I. Michalak et al. // Vet Q. – 2022. - Dec;42(1):68-94. DOI: 10.1080/01652176.2022.2073399.
8. Khursheed, S. Biogenic silver nanoparticles: Synthesis, applications and challenges in food sector with special emphasis on aquaculture / S. Khursheed et al. // Food Chem X. 2023. - Dec 7;20:101051. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.101051. eCollection 2023 Dec 30.
9. Sharma, N. Behavioural changes, DNA damage and histological alterations in Labeo rohita fingerlings in response to organic-coated silver nanoparticles / N. Sharma et al. // Environ Sci Pollut Res Int. – 2024. - Jul;31(35):47789-47800. DOI:10.1007/s11356-024-34360-0.
10. Мирошникова, Е.П. Практикум по кормлению рыб / Е.П. Мирошникова, М.В. Клычкова, А.Е. Аринжанов. - М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург: ОГУ. - 2016. – 127 с.
11. Басонов, О.А. Сравнительная характеристика гематологических показателей осетровых разных генотипов, выращенных в условиях замкнутого водоснабже-

- ния / О.А. Басонов, А.В. Судакова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2022. - № 4 (96). - С. 330-334.
12. Крылова, Т.Г. Влияние комбинированного стресса на гематологические показатели карпа (*Cyprinus carpio*) / Т.Г. Крылова, Д.И. Сафронов, Г.С. Крылов, П.В. Докучаев // Ученые записки учреждения образования УО ВГАВМ. - 2021. - Т.57. - №4. - С. 78-82.
13. Mohammad, A. Impact of polyvinyl chloride microplastic and paraquat herbicide on the blood cells, biochemical parameters, liver enzymes and morphological changes of aqueduct fish / A. Mohammad, H. S. Mohammad, K. Javad // *Chemosphere*. - 2024. - Aug;362:142643. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142643.
14. Килякова, Ю.В. Биологическое действие нанокompозита Zn-C на организм рыб / Ю.В. Килякова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, М.С. Мингазова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2024. - № 5 (77). - С. 249-255. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-05.
15. Ахметова, В.В. Оценка морфологической и биохимической картины крови карповых рыб, выращиваемых в ООО «Рыбхоз» Ульяновского района Ульяновской области / В.В. Ахметова, С.Б. Басина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - №3(31). - С. 53-58.
16. Nabi, N. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells / N. Nabi, I. Ahmed, G.B. Wani // *Saudi J Biol Sci*. - 2022. - Apr;29(4):2942-2957. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019.
17. Hasan, A.M. Response and recovery of Nile tilapia exposed to diesel oil - Behavioral, hemato-biochemical and morphological changes of erythrocytes / A.M. Hasan, S.R. Ferdous, S.M. Islam, M. Haghiri, M. Shahjahan // *Toxicol Rep*. - 2022. - Mar 29;9:549-555. DOI:10.1016/j.toxrep.2022.03.039.
18. Silva, C.De. The Mechanistic Action of Biosynthesised Silver Nanoparticles and Its Application in Aquaculture and Livestock Industries / C. De Silva et al. // *Animals* (Basel). - 2021. - Jul 14;11(7):2097. DOI: 10.3390/ani11072097.
19. Shaalan, M.I. In vitro assessment of the antimicrobial activity of silver and zinc oxide nanoparticles against fish pathogens / M.I. Shaalan, M.M. El-Mahdy, S. Theiner, M. El-Matbouli, M. Saleh // *Acta Vet Scand*. - 2017. - Jul 21;59(1):49. DOI: 10.1186/s13028-017-0317-9.
20. Kumari, P. Nanotechnology: An avenue for combating fish parasites in aquaculture system / P. Kumari, S. Kumar, R.P. Raman, R.K. Brahmchari // *Vet Parasitol*. - 2024. - Dec;332:110334. DOI: 10.1016/j.vetpar.2024.110334.

REFERENCES

1. Khursheed, S. Biogenic silver nanoparticles: Synthesis, applications and challenges in food sector with special emphasis on aquaculture / S. Khursheed et al. // *Food Chem X*. - 2023. - Dec 7;20:101051. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.101051.
2. Azhmuldinov, E.A. Use of silver nanoparticles in animal and poultry feeding // E.A. Azhmuldinov, M.A. Kizaev, M.G. Titov, I.A. Babicheva *Bulletin of the Perm Institute of FSIN of Russia*. - 2019. - № 3 (34). - Pp. 73-78.
3. Arinzhanova, M.S. Biological effect of ultradisperse SiO₂ particles, probiotic preparation Bifidobiom and complex of microelements on the carp organism / M.S. Arinzhanova [et al.] // *Animal husbandry and fodder production*. - 2023. - T. 106. - № 1. - Pp. 48-66.
4. Kilyakova, Yu.V. Influence of phytobiotic feed additives on growth and morpho-biochemical parameters of fish blood / Yu.V. Kilyakova [et al.] // *Animal husbandry and fodder production*. - 2022. - T. 105. - № 3. - Pp. 115-125.
5. Miroshnikova, M.S. The use of antibiotics in agriculture and alternatives to their use / M.S. Miroshnikova [et al.] // *Agrarny nauchnyi zhurnal*. - 2021. - № 5. - Pp. 65-70.

6. Lebedeva, T.I. Effect of veterinary drugs based on nanoparticles of trace elements on animal health and product quality // T.I. Lebedeva, I.A. Krasochko, P.A. Krasochko // Vestnik AIC Verkhnevolzhye. - 2021. - № 2 (54). - Pp. 73-79.
7. Michalak, I. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production livestock animals and poultry / I. Michalak et al. // Vet Q. - 2022. - Dec;42(1):68-94. DOI: 10.1080/01652176.2022.2073399.
8. Khursheed, S. Biogenic silver nanoparticles: Synthesis, applications and challenges in food sector with special emphasis on aquaculture / S. Khursheed et al. // Food Chem X. 2023. - Dec 7;20:101051. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.101051. eCollection 2023 Dec 30.
9. Sharma, N. Behavioural changes, DNA damage and histological alterations in *Labeo rohita* fingerlings in response to organic-coated silver nanoparticles / N. Sharma et al. // Environ Sci Pollut Res Int. - 2024. - Jul;31(35):47789-47800. DOI:10.1007/s11356-024-34360-0.
10. Miroshnikova, E.P. Practicum on fish feeding / E.P. Miroshnikova, M.V. Klychkova, A.E. Arinzhanov. - Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Orenburg State University". - Orenburg: OGU. - 2016. - 127 p.
11. Basonov, O.A. Comparative characteristics of hematological parameters of sturgeons of different genotypes grown under conditions of closed water supply / O.A. Basonov, A.V. Sudakova // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universitet. - 2022. - № 4 (96). - Pp. 330-334.
12. Krylova, T.G. Influence of combined stress on hematological indices of carp (*Cyprinus carpio*) / T.G. Krylova, D.I. Sazonov, G.S. Krylov, P.V. Dokuchaev // Scientific notes of the educational institution UE VGAVM. - 2021. - T.57. - №4. - Pp. 78-82.
13. Mohammad, A. Impact of polyvinyl chloride microplastic and paraquat herbicide on the blood cells, biochemical parameters, liver enzymes and morphological changes of aqueduct fish / A. Mohammad, H. S. Mohammad, K. Javad // Chemosphere. - 2024. - Aug;362:142643.
14. Kilyakova, Yu.V. Biological effect of nanocomposite Zn-C on fish organism / Yu.V. Kilyakova, E.P. Miroshnikova, A.E. Arinzhanov, M.S. Mingazova // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Science and Higher Professional Education. - 2024. - № 5 (77). - Pp. 249-255.
15. Akhmetova, V.V. Evaluation of morphological and biochemical blood picture of carp fishes grown in LLC "Rybkhoz" of Ulyanovsk district of Ulyanovsk region / V.V. Akhmetova, S.B. Basina // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. Akhmetova, S.B. Basina // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2015. - №3(31). - Pp. 53-58.
16. Nabi, N. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells / N. Nabi, I. Ahmed, G.B. Wani // Saudi J Biol Sci. - 2022. - Apr;29(4):2942-2957.
17. Hasan, A.M. Response and recovery of Nile tilapia exposed to diesel oil - Behavioral, hemato-biochemical and morphological changes of erythrocytes / A.M. Hasan, S.R. Ferdous, S.M. Islam, M. Haghiri, M. Shahjahan // Toxicol Rep. - 2022. - Mar 29;9:549-555. DOI:10.1016/j.toxrep.2022.03.039.
18. Silva, C.De. The Mechanistic Action of Biosynthesised Silver Nanoparticles and Its Application in Aquaculture and Livestock Industries / C. De Silva et al. // Animals (Basel). - 2021. - Jul 14;11(7):2097.
19. Shaalan, M.I. In vitro assessment of the antimicrobial activity of silver and zinc oxide nanoparticles against fish pathogens / M.I. Shaalan, M.M. El-Mahdy, S. Theiner, M. El-Matbouli, M. Saleh // Acta Vet Scand. - 2017. - Jul 21;59(1):49.
20. Kumari, P. Nanotechnology: An avenue for combating fish parasites in aquaculture system / P. Kumari, S. Kumar, R.P. Raman, R.K. Brahmchari // Vet Parasitol. - 2024. - Dec;332:110334.