

Влияние экспериментального пробиотического препарата на некоторые показатели неспецифического иммунитета молоди сибирского осетра

А. С. Тищенко¹, Д. В. Микряков², А. Г. Кощаев¹, Д. О. Алферов^{1✉}, Т. А. Суворова²,
С. В. Кузьмичева²

¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

² Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук, п. Борок, Ярославская область, Россия

✉ E-mail: alferov_dmitrij@list.ru

Аннотация. Эксперимент направлен на установление влияния препарата на основе бактерий *Enterococcus faecium* и *Pediococcus acidilactici* в чистом виде и кормовой добавки с данными микроорганизмами, выращенными на питательной среде с добавлением инаktivированных метаболитов *Aeromonas salmonicida* на иммунологические показатели рыб. **Цель** – изучить влияние препаратов на показатели неспецифического иммунитета сеголетков сибирского осетра. **Методы исследования** – микробиологические (бактериологические посевы автохтонных бактерий), биотехнологические (конструирование кормовой добавки) и иммунологические (определение бактериостатической активности сыворотки крови, иммунных комплексов, С-реактивного белка). **Научная новизна.** Впервые изучено влияние метаболитов аэромонад и автохтонных микроорганизмов в составе кормовой добавки на показатели иммунитета рыб. **В результате** было установлено, что у сеголетков сибирского осетра, получавших препарат с пробиотиком, на конец опыта отмечали более высокий уровень БАСК и низкое содержание ИК в иммунокомпетентных органах по сравнению с контрольной группой. Так, бактериостатическая активность сыворотки крови через 14 дней опыта у особой опытной группы, получавшей пробиотик, была выше, чем в контроле, на 3,7 %. На 30-е сутки эксперимента у рыб данной группы показатель бактериостатической активности превышал контроль на 21,6 %. Содержание иммунных комплексов в печени, почках и селезенке в группе рыб, получавших пробиотик, было ниже показателей контроля на 24,1 %, 71,4 % и 20,3 % соответственно. Рыбы, в рацион которых входил пробиотик с добавлением инаktivированных формалином метаболитов бактерий *A. salmonicida*, наоборот, имели более высокий показатель бактериостатической активности на 14-е сутки, превышавший контроль на 6,8 %, уровень иммунокомплексов в сыворотке крови был выше, чем у рыб контрольной группы, на 28,6 %, а в печени – на 39,8 %. На 30-е сутки БАСК был ниже, чем в контроле, на 8,7 %, а ИК в печени превышал численный показатель контроля почти в 2 раза, в почках уровень был выше на 26,2 %, а в селезенке он возрос в 5,7 раза. Результаты проведенных исследований показывают перспективность применения пробиотических добавок на основе автохтонной микрофлоры рыб в промышленной аквакультуре.

Ключевые слова: аквакультура, осетровый гибрид, пробиотический препарат, метаболит, неспецифический гуморальный иммунитет, антимикробные свойства сыворотки крови, иммунные комплексы, с-реактивный белок

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № Н-25.1/39.

Для цитирования: Тищенко А. С., Микряков Д. В., Кощаев А. Г., Алферов Д. О., Суворова Т. А., Кузьмичева С. В. Влияние экспериментального пробиотического препарата на некоторые показатели неспецифического иммунитета молоди сибирского осетра // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 06. С. 1112–1120. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-06-1112-1120>.

Дата поступления статьи: 08.04.2026, **дата рецензирования:** 27.04.2026, **дата принятия:** 06.05.2026.

A study of an experimental probiotic preparation on some non-specific immunity indicators in juvenile Siberian sturgeon

A. S. Tishchenko¹, D. V. Mikryakov², A. G. Koshchaev¹, D. O. Alferov^{1✉}, T. A. Suvorova², S. V. Kuzmicheva²

¹Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

²I. D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok settlement, Yaroslavl region, Russia

✉E-mail: alferov_dmitrij@list.ru

Abstract. The study is aimed at establishing the effect of a preparation based on *Enterococcus faecium* and *Pediococcus acidilactici* bacteria in its pure form and a feed additive with these microorganisms grown on a nutrient medium with the addition of inactivated metabolites of *Aeromonas salmonicida* on the immunological parameters of fish. **The purpose** is to study the effect of drugs on the indicators of nonspecific immunity of fingerlings of Siberian sturgeon. **The research methods** used were microbiological (bacteriological cultures of indigenous bacteria), biotechnological (feed additive design), and immunological (determination of the bacteriostatic activity of blood serum, immune complexes, and C-reactive protein). **Scientific novelty.** This is the first study to examine the effect of *Aeromonas* metabolites and indigenous microorganisms in a feed additive on fish immune parameters. **As a result,** it was found that the fingerlings of the Siberian sturgeon who received the drug with a probiotic at the end of the experiment showed a higher level of BABS and a low content of IC in immunocompetent organs compared with the control group. Thus, the bacteriostatic activity of blood serum after 14 days of the experiment in individuals of the experimental group receiving the probiotic was 3.7 % higher than in the control group. On the 30th day of the experiment, the indicator of bacteriostatic activity in the fish of this group exceeded the control by 21.6 %. The content of immune complexes in the liver, kidneys, and spleen in the group of fish treated with probiotics was lower than in the control group by 24.1 %, 71.4 %, and 20.3%, respectively. Fish whose diet included a probiotic with the addition of formalin-inactivated metabolites of *A. salmonicida* bacteria, on the contrary, had a higher index of bacteriostatic activity on day 14, exceeding the control by 6.8 %, the level of immunocomplexes was higher than the control group in the blood serum by 28.6 %, and in the liver by 39.8 %. On day 30, the BABS was 8.7 % lower than in the control, and the IC in the liver was almost 2 times higher than in the control, the level in the kidneys was 26.2 % higher, and in the spleen it increased 5.7 times. The results of the conducted studies show the prospects of using probiotic additives based on the autochthonous microflora of fish in industrial aquaculture.

Keywords: aquaculture, hybrid sturgeon, probiotic preparation, metabolite, nonspecific humoral immunity, antimicrobial properties of blood serum, immune complexes, C-reactive protein

Acknowledgements. The study was carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation within the framework of scientific project No. H-25.1/39.

For citation: Tishchenko A. S., Mikryakov D. V., Koshchaev A. G., Alferov D. O., Suvorova T. A., Kuzmicheva S. V. Effect of an experimental probiotic preparation on some indices of nonspecific immunity in juvenile Siberian sturgeon. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (06): 1112–1120. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-06-1112-1120>.

Date of paper submission: 08.04.2026, **date of review:** 27.04.2026, **date of acceptance:** 06.05.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

При выращивании рыб в условиях индустриальной аквакультуры важны скорость достижения объектами рыбоводства товарной массы, а также показатели кормозатрат и выживаемости. Данные показатели находятся в прямой зависимости от состояния иммунной системы организма рыб. В на-

стоящее время для коррекции иммунной системы у объектов аквакультуры в индустрии все шире применяются пробиотические препараты. Они способствуют регуляции микробного пейзажа желудочно-кишечного тракта, принимающего непосредственное участие в регуляции факторов неспецифической защиты организма [1; 2].

Среди имеющегося на рынке ассортимента пробиотических препаратов в нашей стране в основном представлены кормовые добавки на основе микроорганизмов рода *Bacillus*. Это обусловлено высокой устойчивостью данных бактерий к различным воздействиям: температурным при изготовлении кормов, а также неблагоприятных условий окружающей среды. В исследованиях отечественных и зарубежных авторов также представлена информация о применении в составе кормовых добавок бактерий рода *Lactobacillus*, *Enterococcus* и других [3; 4].

Такие кормовые добавки способствуют восстановлению нарушений микробиома желудочно-кишечного тракта. Помимо бактерий, нередко в состав могут входить энтеросорбенты, способствующие росту биодоступности корма и интенсивности роста пробиотических микроорганизмов [5].

Цель данной работы – оценка влияния экспериментальной пробиотической кормовой добавки на показатели неспецифического иммунитета сеголетков сибирского осетра.

Методология и методы исследования (Methods)

Эксперимент осуществлялся на базе лаборатории иммунологии Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (ИБВВ). Было проведено исследование по влиянию препарата, имеющего в составе микроорганизмы *Enterococcus faecium* и *Pediococcus acidilactici* в чистом виде и кормовой добавки с данными бактериями, культивированными в присутствии инактивированных метаболитов *Aeromonas salmonicida*, на иммунологические показатели сеголетков сибирского осетра. За 10 дней до начала эксперимента рыб разделили на группы и разместили в проточных пластиковых бассейнах объемом 0,3 м³. В ходе проведения опыта осуществляли контроль температуры воды, она измерялась в начале и в конце исследований и составила 18–20 °C и 14–15 °C соответственно. Бассейны были оснащены кислородными датчиками. Подачу O₂ на выходе из бассейна контролировали в пределах 9–11 мг на 1 л воды.

Для проведения исследования по 15 рыб разделили на контрольную и две опытные группы. Рыбы контрольной группы (I) получали корм без добавления препарата, а опытные: II – пробиотическую добавку на основе бактерий *E. faecium* и *P. acidilactici*, III – форму пробиотика, сенсibilизированного инактивированными формалином метаболитами микроорганизма *A. salmonicida*.

Работы по созданию экспериментальной кормовой добавки осуществляли на базе лаборатории микробиологии Центра биотехнологий Кубанского государственного аграрного университета.

На первом этапе осуществляли накопление бактериальной массы *P. acidilactici* и *E. faecium* на питательной среде, в состав которой входили молочная сыворотка в количестве 20 г/л, экстракт из

кукурузы – 5 г/л, меласса свекловичная – 40 г/л. Питательные среды перед использованием проходили этап стерилизации автоклавированием. Периодическое культивирование *P. acidilactici* и *E. faecium* проводили в условиях биореактора фирмы BIORUS (Россия) объемом 100 л, который был оснащен мешалкой. Процесс отделения супернатанта осуществляли с помощью метода проточного центрифугирования с использованием центрифуги фирмы BIORUS (Россия). После чего в полученную клеточную биомассу вносили раствор с криопротектором (желатин и сахара по 2 %). Получение лиофильной массы осуществляли с использованием сублимационной сушки фирмы СХ «Техника» (Россия). На следующем этапе готовый лиофилизат пробиотических микроорганизмов смешивали с заменителем сухого молока в соотношении 1 : 1. После этого проводили контроль жизнеспособности бактериальных клеток микробиологическим методом. Концентрация *E. faecium* и *P. acidilactici* в готовой кормовой добавке составляла 1×10^9 КОЕ/г.

Препарат для рыб III группы готовили путем совместного культивирования пробиотических бактерий и инактивированных формалином метаболитов *A. salmonicida*. Для этого накопление аэромонады осуществляли в мясо-пептонном бульоне с периодичным перемешиванием 3 раза в сутки в смесителе вихревого модели Labwit ZWYC-293G (Китай).

По окончании времени культивирования бактериальная масса была инактивирована 0,4-процентным раствором формальдегида. Период инактивации продолжался в течение 14 суток. По окончании полной инактивации супернатант был отделен от бактериальной массы центрифугированием. В исследовании использовалась надосадочная жидкость. В кормовую массу препараты добавляли путем перемешивания в соответствии с указаниями в инструкции.

Пробы от испытуемых рыб (по 5 особей из каждой группы) отбирались перед началом эксперимента, на 14-е и 30-е сутки. Материалом для исследования служила кровь, которая отбиралась из хвостовой вены и помещалась в стерильные пробирки без активаторов свертывания. Пробы выдерживали при комнатной температуре в течение 60 минут, а затем помещали в условия холодильника (4 °C) для отделения сыворотки. Через 24 часа полученную сыворотку переносили в пробирки Эппендорфа для дальнейших исследований. В качестве контрольных показателей в сыворотке крови устанавливали уровень С-реактивного белка (СРБ), содержание неспецифических иммунных комплексов (ИК), бактериостатической активности (БАСК) и установление наличия иммунодефицитных особей (ИМД). Также осуществляли вскрытие подопытных рыб и отбор иммунокомпетентных органов (печени, почек и селезенки). Каждый орган от особей контрольной и

опытных групп помещали в стерильные пробирки и гомогенизировали в 0,9-процентном растворе NaCl в соотношении 1 : 6.

Количество СРБ осуществлялось методом визуальной оценки в реакции агглютинации с сывороткой крови и латексным реагентом. Для этого использовали коммерческий набор «СРБ-Ольвекс» (Россия). Согласно инструкции к набору, за положительную реакцию принимали концентрацию выше 6 мг/л, за слабоположительную – 6 мг/л, за отрицательную – менее 6 мг/л.

Определение содержания ИК у подопытных особей проводили нефелометрическим методом в реакции селективной преципитации с 4-процентным высокомолекулярным полиэтиленгликолем при помощи спектрометра ThermoFisher Genesys 1XX (Китай) при длине волны 450 нм [3].

Оценка БАСК осуществлялась нефелометрическим методом в модификации В. Р. Микряко-

ва (1991). В опытном исследовании оценивались качества культивирования *A. hydrophyla* на питательном бульоне при добавлении сыворотки крови исследуемых рыб. Данный микроорганизм – индикатор в проведении подобного рода исследований, поскольку является возбудителем, поражающим различные объекты аквакультуры [18]. В качестве контроля выступал бульон без добавления сыворотки. Оценка проводилась по измерению оптической плотности после 3 часов культивирования пробирок в термостате при температуре 26 °С. Особей с показателями БАСК нулевого значения считали иммунодефицитными (ИМД).

Статистическую обработку результатов исследования проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ Statistica v6.0, с использованием *t*-теста. Различия считали значимыми при $p \leq 0.05$.

Таблица 1

Уровень бактерицидной активности и С-реактивного белка в сыворотке крови рыб

Время отбора проб и используемые добавки	Показатели	
	БАСК, %	СРБ, мг/л
Перед опытом*	65,28 ± 2,92	Отрицательный, 80 % Слабоположительный, 20 %
14 суток		
Контроль ^а	53,42 ± 2,84*	Отрицательный, 100 %
Пробиотик ^б	55,24 ± 1,76*	Отрицательный, 100 %
Пробиотик + метаболиты ^в	57,08 ± 2,84	Отрицательный, 80 % Слабоположительный, 20 %
30 суток		
Контроль ^а	32,40 ± 2,46*, **	Отрицательный, 80 % Слабоположительный, 20 %
Пробиотик ^б	39,42 ± 4,52*, **	Отрицательный, 60 % Слабоположительный, 40 %
Пробиотик + метаболиты ^в	29,58 ± 3,11*, **	Отрицательный, 80 % Слабоположительный, 20 %

Примечание. * Достоверно относительно показателей перед опытом, ** между разными сроками наблюдения отдельно в каждой группе, ^{а-в} между контрольной и опытными группами рыб в один из сроков наблюдения.

Table 1

Levels of bactericidal activity and C-reactive protein in fish blood serum

Sampling time and additives used	Indicators	
	BABS, %	CPR, mg/l
Before the experiment*	65.28 ± 2.92	Negative, 80 % Weakly positive, 20 %
14 days		
C	53.42 ± 2.84*	Negative, 100 %
Probiotic ^б	55.24 ± 1.76*	Negative, 100 %
Probiotic + metabolites ^в	57.08 ± 2.4	Negative, 80 % Weakly positive, 20 %
30 days		
Control ^а	32.40 ± 2.46*, **	Negative, 80 % Weakly positive, 20 %
Probiotic ^б	39.42 ± 4.52*, **	Negative, 60 % Weakly positive, 40 %
Probiotic + metabolites ^в	29.58 ± 3.11*, **	Negative, 80 % Weakly positive, 20 %

Note. * Reliable relative to the indicators before the experiment, ** between different observation periods separately in each group, ^{а-в} between the control and experimental groups of fish at one of the observation periods.

Результаты (Results)

Полученные данные, отражающие динамику изменения иммунологических показателей у испытуемых особей сибирского осетра, представлены в таблицах 1 и 2. Показатель БАСК перед началом эксперимента достоверно превышал данные полученные в течение эксперимента, кроме III группы, на 14 суток. Во всех группах результаты, полученные в конце месяца, были значимо ниже, чем через две недели. Проведенное исследование не выявило ИМД особей. Уровень СРБ у большинства исследуемых рыб был отрицательный, а у остальных особей – слабоположительный.

При изучении динамики и количественных характеристик содержания ИК были установлены колебания этих маркеров в тканях и органах сеголетков сибирского осетра. В конце опыта этот показатель снизился по сравнению с началом и серединой исследования. При этом через 2 недели у рыб второй группы количество ИК было достоверно ниже этого показателя, чем у испытуемых особей других групп. В печени уровень ИК увеличивался в ходе эксперимента. У рыб контрольной группы этот показатель был низким в середине опыта по сравнению с опытными. В конце эксперимента ИК у особей III группы более чем в 2 раза превышал

значения рыб из других групп. В почке результаты до начала опыта были ниже экспериментальных показателей. В селезенке установлены наиболее низкие показатели по сравнению с другими тканями и органами, кроме данных III группы, на 30-е сутки. Наиболее высокие показатели ИК установлены у особей III группы в сыворотке крови в середине, а в печени, почке и селезенке – в конце эксперимента.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Понятие «иммунитет» подразумевает состояние организма, дающее ему возможность противостоять активному развитию патогенных агентов, губительному воздействию продуктов их обмена веществ, а также генетически чужеродным веществам, обладающим антигенными характеристиками. На основании данных многочисленных исследований, иммунную систему принято дифференцировать на неспецифическую (врожденную) и специфическую (приобретенную). Специфический иммунитет осуществляет направленную защиту в отношении конкретного патогенного агента. Неспецифическая иммунная система активизирует факторы защиты в организме, направленные на нейтрализацию и лизис чужеродных тел различного происхождения [6–10].

Таблица 2
Уровень иммунных комплексов (усл. ед.) в сыворотке крови и органах рыб

Время отбора проб и используемые добавки	Исследованные ткани и органы			
	Сыворотка	Печень	Почка	Селезенка
контроль перед опытом*	6,58 ±0,87	3,32 ±1,10	3,16 ±0,86	2,02 ±0,23
14 суток				
Контроль ^a	6,00 ±0,72	27,68 ±3,05*	9,44 ±1,96*	2,94 ±0,65
Пробиотик ^b	2,50 ±0,17*, ^a	37,08 ±2,63*, ^a	9,98 ±3,18	1,32 ±0,20 ^a
Пробиотик + метаболиты ^b	7,72 ±1,15 ^b	38,72 ±3,37*, ^a	5,50 ±1,45	1,72 ±0,18
30 суток				
Контроль ^a	1,90 ±0,38*,**	25,76 ±7,05*	11,22 ±2,50*	1,28 ±0,40
Пробиотик ^b	2,32 ±0,40*	19,54 ±5,91*,**	3,20 ±0,40 ^a	1,02 ±0,30*
Пробиотик + метаболиты ^b	1,26 ±0,29*,**	51,92 ±7,50*, ^{a, b}	14,16 ±0,80*,** ^b	7,32 ±1,75*, **, ^{a, b}

Примечание. * Достоверно относительно показателей перед опытом, ** – между разными сроками наблюдения отдельно в каждой группе, ^{a-b} – между контрольной и опытными группами рыб в один из сроков наблюдения.

Table 2
Level of immune complexes (conventional units) in the blood serum and organs of fish

Sampling time and additives used	Tissues and organs examined			
	Serum	Liver	Kidney	Spleen
Control before experiment*	6.58 ±0.87	3.32 ±1.10	3.16 ±0.86	2.02 ±0.23
14 days				
Control ^a	6.00 ±0.72	27.68 ±3.05*	9.44 ±1.96*	2.94 ±0.65
Probiotic ^b	2.50 ±0.17*, ^a	37.08 ±2.63*, ^a	9.98 ±3.18	1.32 ±0.20 ^a
Probiotic + metabolites ^c	7.72 ±1.15 ^b	38.72 ±3.37*, ^a	5.50 ±1.45	1.72 ±0.18
30 days				
Control ^a	1.90 ±0.38*,**	25.76 ±7.05*	11.22 ±2.50*	1.28 ±0.40
Probiotic ^b	2.32 ±0.40*	19.54 ±5.91*,**	3.20 ±0.40 ^a	1.02 ±0.30*
Probiotic + metabolites ^c	1.26 ±0.29*,**	51.92 ±7.50*, ^{a, b}	14.16 ±0.80*,** ^b	7.32 ±1.75*, **, ^{a, b}

Note. * Reliable relative to the indicators before the experiment, ** – between different observation periods separately in each group, a-c – between the control and experimental groups of fish at one of the observation periods.

Организм рыб, как и многих других позвоночных, обеспечивает поддержание гомеостаза за счет многих процессов, активным участником которых является сыворотка крови. Защитные свойства иммунной системы можно оценивать по различным реакциям, в том числе БАСК. Данный анализ позволяет оценивать в высокой степени точности функции определенных фрагментов, составляющих в комплексе неспецифическую иммунную систему: систему комплемента, пропердин, лизоцим, наличие иммуноглобулинов, протасом и т. д. [11–13]. Ранее установлена прямая зависимость бактериостатической функции сыворотки крови от физиолого-биохимического состояния организма, интенсивностью инвазии паразитами и степенью антропогенного загрязнения среды обитания [14; 15]. В ходе эксперимента зафиксировано постепенное снижение показателя БАСК. Это может быть связано с уменьшением температуры воды. На это также косвенно указывают более высокие показатели рыб в середине эксперимента по сравнению с данными в конце эксперимента. Низкие уровни БАСК могут быть также связаны с отсутствием патогенной микрофлоры в воде. При этом на 14-е сутки уровень антибактериальной защиты сыворотки крови был выше в опытных группах. Это указывает на реакцию иммунной системы рыб в ответ на попадание вместе с кормом микроорганизмов, входящих в состав препаратов. Стоит отметить более высокие показатели БАСК у рыб II групп и низкие у особей III группы в конце эксперимента. Вероятно, это связано с положительным воздействием пробиотических микроорганизмов на иммунную систему осетров.

Наличие отрицательной и слабopоложительной реакции на СРБ у исследуемых рыб подтверждает отсутствие патогенной микрофлоры в воде. С-реактивный белок – белок, продуцируемый в острую фазу воспаления, служит маркером для лабораторного определения наличия инфекционных процессов в тканях и органах. Этот показатель является посредником между специфической и неспецифической иммунными системами в организме. Посредством происходящих процессов в организме осуществляются процессы детекции, нейтрализации и лизиса патогенных агентов бактериальной природы [16; 17; 18]. Так, при наличии инфекционных процессов в организме уровень СРБ способен возрастать, что является индикаторной реакцией.

Компоненты системы комплемента в совокупности с антителами и антигенами своими конгломератами могут образовывать циркулирующие иммунные комплексы. Их роль является ключевой в осуществлении иммунного ответа, устранении и выведении антигенов из организма, а также поддержании гомеостатического равновесия. Поверхность макрофагов, нейтрофилов и эритроцитов снабжена рецептором типа CR1. Данная структура через компоненты C4b и C3b системы комплемента осуществляет связь растворимых иммунокомплексов и их транспорт к клеткам макрофагов иммунокомпетентных органов. В случае нарушения данной функции происходит повышенная продукция ИК. Это приводит к патологии и угнетению функции очищения от патогенных агентов клеток системы фагоцитоза [19; 20]. Зафиксированное в эксперименте повышение содержания ИК в III группе показывает ответную реакцию иммунной системы рыб на попадание в организм метаболитов бактерий *A. salmonicida*. Тогда как наличие в корме бактерий *E. faecium* и *P. acidilactici* не вызывало увеличения уровня ИК, кроме данных печени, на 14-е сутки. В конце опыта уровень данного показателя у особей II группы был ниже, чем в контроле. Косвенно это может свидетельствовать о положительном влиянии данного экспериментального пробиотического препарата на организм исследуемых рыб. Возможно, входящие в его состав бактерии оказывают антагонистическое действие на патогенную микрофлору желудочно-кишечного тракта. В кишечнике уменьшается количество бактериальных антигенов, что приводит к снижению образования ИК. На это также указывает более высокий уровень БАСК в конце эксперимента. Для подтверждения данного предположения требуются исследования микробиома кишечника рыб.

В ходе проведенного эксперимента установлено положительное влияние экспериментального пробиотического препарата на некоторые показатели неспецифического иммунитета сеголетков сибирского осетра. У рыб, получавших препарат, в конце опыта зафиксированы более высокий уровень БАСК и низкое содержание ИК в иммунокомпетентных органах по сравнению с контролем. У особей, получавших пробиотик с добавлением инактивированных формалином метаболитов бактерий *A. salmonicida*, наоборот, установлено снижение антибактериальной активности и накопление ИК в органах.

Библиографический список

1. Головина Н. А., Романова Н. Н. Иммуно-физиологическое состояние гибридов осетровых рыб при выращивании в аквакультуре // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: материалы II национальной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2017. С. 20–23.

2. Остроумова И. Н., Костюничев В. В., Лютиков А. А. [и др.] Влияние повышенной температуры на физиологическое состояние сиговых рыб (*Coregonidae*) при выращивании их в условиях аквакультуры // Рыбное хозяйство. 2022. № 1. С. 69–74. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-1-69-74.
3. Егоркина Н. А., Лобода И. И., Ковалев В. В., Королькова С. В. Выбор пробиотика и методика исследования эффективности его применения во время стрессов у карпов при их содержании в аквариумах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 46. С. 156–164.
4. Конькова А. В., Файзулина Д. Р., Ширина Ю. М., Богатов И. А. Влияние кормовой пробиотической добавки «Ветоспорин-ж» (*Bacillus subtilis*) и минеральной добавки «цеолит» (опока) на проявление гентоксических эффектов в клетках крови молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*) в условиях аквакультуры // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 90–100. DOI: 10.24143/2073-5529-2024-2-90-100.
5. Бахарева А. А. Витамины и витаминные премиксы при выращивании осетровых рыб в промышленной аквакультуре: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10. Астрахань, 2001. 129 с.
6. Койко Р., Саншайн Д., Бенджамини Э. Иммунология. Москва: Академия, 2008. 368 с.
7. Микряков В. Р. Закономерности функционирования иммунной системы пресноводных рыб: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва: ИЭМиЭЖ АН СССР, 1984. 37 с.
8. Микряков В. Р. Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. Рыбинск: ИБВВ РАН, 1991. 154 с.
9. Микряков В. Р., Балабанова Л. В., Заботкина Е. А. [и др.] Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. Москва: Наука, 2001. 126 с.
10. Микряков В. Р., Силкина Н. И., Микряков Д. В. Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря // Биология моря. 2011. Т. 37, № 2. С. 142–148.
11. Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология. Пер. с англ. 5-е изд. Москва: Мир, 2000. 592 с.
12. Van der Marel M. C. *Carp mucus and its role in mucosal defense*: PhD thesis, Wageningen University. The Netherlands. 2012. 189 p.
13. Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van Der Wal B. The immune system of fish // *Fish Diseases Disorders*. 2006. Vol. 1. Pp. 678–701.
14. Микряков В. Р., Микряков Д. В. Иммунологическая индикация здоровья рыб // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55, № 1. С. 119–123.
15. Силкина Н. И. Сезонная динамика липидов сыворотки крови и ее связь с иммунологической реактивностью: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва: ИЭМиЭЖ АН СССР, 1988. 17 с.
16. Назаров П. Г. Пентраксины в реакциях врожденного и приобретенного иммунитета, организации матрикса, фертильности // Медицинский академический журнал. 2010. Т. 10, № 4. С. 107–124 DOI: 10.17816/MAJ104107-124.
17. Bottazzi B., Doni A., Garlanda C., Mantovani A. An integrated view of humoral innate immunity: pentraxins as a paradigm // *Annual Review of Immunology*. 2010. Vol. 28. Pp. 157–183.
18. Lee P. T., Bird S., Zou J. Martin S. A. M. Phylogeny and expression analysis of C-reactive protein (CRP) and serum amyloid-P (SAP) like genes reveal two distinct groups in fish // *Fish & Shellfish Immunology*. 2017. Vol. 65. Pp. 42–51.
19. Егоркина Н. А., Лобода И. И., Ковалев В. В., Королькова С. В. Выбор пробиотика и методика исследования эффективности его применения во время стрессов у карпов при их содержании в аквариумах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 46. С. 156–164.
20. Schäperclaus W. *Fischkrankheiten*. 4th edition. Vols 1 and 2. Berlin: Akademie-Verlag, 1979. 1089 p.

Об авторах:

Александр Сергеевич Тищенко, доктор ветеринарных наук, заведующий лабораторией микробиологии центра биотехнологий, профессор кафедры микробиологии, эпизоотологии и вирусологии института ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия; ORCID 0000-0003-0942-120X, 785293.

E-mail: tishhenko.a@edu.kubsau.ru

Даниил Вениаминович Микряков, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией иммунологии, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук, п. Борок, Ярославская область, Россия; ORCID 0000-0001-9086-1688, AuthorID 123577. *E-mail: daniil@ibiw.ru*

Андрей Георгиевич Кощаев, доктор биологических наук, профессор, проректор по научной работе, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия;

ORCID 0000-0002-2629-2334, AuthorID 138537. E-mail: koshhaev.a@kubsau.ru

Дмитрий Олегович Алферов, аспирант кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики института ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия; ORCID 0009-0000-3587-3408, AuthorID 1260625.

E-mail: alferov_dmitrij@list.ru

Татьяна Александровна Суворова, научный сотрудник лаборатории иммунологии, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук, п. Борок, Ярославская область, Россия;

ORCID 0000-0001-9525-0878, AuthorID 629414. E-mail: tanya@ibiw.ru

Светлана Владимировна Кузмичева, научный сотрудник лаборатории иммунологии, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук, п. Борок, Ярославская область, Россия;

ORCID 0000-0001-9476-3858, AuthorID 718175. E-mail: kuzmicheva.sv@ibiw.ru

References

1. Golovina N. A., Romanova N. N. Immunophysiological state of sturgeon hybrids grown in aquaculture. *State and ways of development of aquaculture in the Russian Federation in the field of import substitution and ensuring food security of the country: materials of the II National scientific and practical conference*. Saint Petersburg, 2017. Pp. 20–23. (In Russ.)
2. Ostroumova I. N., Kostyunichev V. V., Lyutikov A. A., et al. The influence of elevated temperature on the physiological state of whitefish (Coregonidae) when growing them in aquaculture conditions. *Fisheries*. 2022; 1: 69–74. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-1-69-74. (In Russ.)
3. Egorkina N. A., Loboda I. I., Kovalev V. V., Korolkova S. V. Selection of a probiotic and methods for studying the effectiveness of its use during stress in carp kept in aquariums. *Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2017; 46: 156–164. (In Russ.)
4. Konkova A. V., Fayzulina D. R., Shirina Yu. M., Bogatov I. A. The effect of the feed probiotic additive “Vetospirin-zh” (*Bacillus subtilis*) and the mineral additive “zeolite” (opoka) on the manifestation of genotoxic effects in the blood cells of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*) under aquaculture conditions. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2024; 2: 90–100. DOI: 10.24143/2073-5529-2024-2-90-100. (In Russ.)
5. Bakhareva A. A. Vitamins and vitamin premixes in sturgeon cultivation in industrial aquaculture: specialty 03.00.10: dissertation for the degree of candidate of biological sciences. Astrakhan, 2001. 129 p. (In Russ.)
6. Koyko R., Sunshine D., Benjamini E. Immunology. Moscow: Academy, 2008. 368 p. (In Russ.)
7. Mikryakov V. R. Patterns of functioning of the immune system of freshwater fish: specialty 03.00.1014.00.36: dissertation ... doctor of biological sciences. Borok, 1984. 471 p. (In Russ.)
8. Mikryakov V. R. *Patterns of formation of acquired immunity in fish*. Rybinsk: Rybinsk Printing House, 1991. 154 p. (In Russ.)
9. Mikryakov V. R., Balabanova L. V., Zabotkina E. A., et al. The reaction of the immune system of fish to water pollution by toxicants and acidification of the environment. Moscow: Nauka, 2001. 126 p. (In Russ.)
10. Mikryakov V. R., Silkina N. I., Mikryakov D. V. The influence of anthropogenic pollution on the immunological and biochemical mechanisms of maintaining homeostasis in Black Sea fish. *Russian Journal of Marine Biology*. 2011; 37 (2): 141–147. (In Russ.)
11. Roitt I. M., Brostoff J., Male D. K. *Immunology*. Translated from English. Fifth edition. Moscow: Mir, 2000. 592 p. (In Russ.)
12. Van der Marel M. C. Carp mucus and its role in mucosal defense: PhD thesis, Wageningen University. The Netherlands. 2012. 189 p.
13. Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van Der Wal B. The immune system of fish. *Fish Diseases Disorders*. 2006; 1: 678–701.
14. Mikryakov V. R., Mikryakov D. V. Immunological indication of fish health. *Journal of Ichthyology*. 2015; 55 (1): 119. DOI: 10.7868/S0042875215010129. (In Russ.)
15. Silkina N. I. Seasonal dynamics of blood serum lipids and its relationship with immunological reactivity: abstract of dissertation ... candidate of biological sciences. Moscow: IEMiEZH AS USSR, 1988. 17 p. (In Russ.)
16. Nazarov P. G. Pentraxins in reactions of innate and acquired immunity, matrix organization, fertility. *Medical Academic Journal*. 2010; 10 (4): 107–124. (In Russ.)
17. Bottazzi B., Doni A., Garlanda C., Mantovani A. An integrated view of humoral innate immunity: pentraxins as a paradigm. *Annual Review of Immunology*. 2010; 28: 157–183.

18. Lee P. T., Bird S., Zou J. Martin S. A. M. Phylogeny and expression analysis of C-reactive protein (CRP) and serum amyloid-P (SAP) like genes reveal two distinct groups in fish. *Fish & Shellfish Immunology*. 2017; 65: 42–51.

19. Egorkina N. A., Loboda I. I., Kovalev V. V., Korolkova S. V. Selection of a probiotic and a methodology for studying the effectiveness of its use during stress in carp kept in aquariums. *Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2017; 46: 156–164. (In Russ.)

20. Schäperclaus W. Fischkrankheiten. 4th edition. Vols 1 and 2. Berlin: Akademie-Verlag, 1979. 1089 p.

Authors' information:

Aleksandr S. Tishchenko, doctor of veterinary sciences, head of the microbiology laboratory of the center for biotechnology, professor of the department of microbiology, epizootology and virology of the institute of veterinary medicine, animal science and biotechnology, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia; ORCID 0000-0003-0942-120X, AuthorID 785293. *E-mail: tishhenko.a@edu.kubsau.ru*

Daniil V. Mikryakov, candidate of biological sciences, head of the laboratory of immunology, I. D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, Borok settlement, Yaroslavl region, Russia; ORCID 0000-0001-9086-1688, AuthorID 123577. *E-mail: daniil@ibiw.ru*

Andrey G. Koshchaev, doctor of biological sciences, professor, vice-rector for scientific work, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia; ORCID 0000-0002-2629-2334, AuthorID 138537. *E-mail: koshhaev.a@kubsau.ru*

Dmitriy O. Alferov, postgraduate of the department of biotechnology, biochemistry and biophysics at the institute of veterinary medicine, animal science and biotechnology, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia; ORCID 0009-0000-3587-3408, AuthorID 1260625. *E-mail: alferov_dmitrij@list.ru*

Tatyana A. Suvorova, researcher at the laboratory of immunology, I. D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, Borok settlement, Yaroslavl region, Russia; ORCID 0000-0001-9525-0878, AuthorID 629414. *E-mail: tanya@ibiw.ru*

Svetlana V. Kuzmicheva, researcher at the laboratory of immunology, I. D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, Borok settlement, Yaroslavl region, Russia; ORCID 0000-0001-9476-3858, AuthorID 718175. *E-mail: kuzmicheva.sv@ibiw.ru*