

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF HYDROCOLE

Научная статья
УДК 639.3.043.2
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-2-83-96>
EDN FQPKMU

Сравнительная оценка молоди карпа, выращенной с применением пробиотических препаратов на основе различных штаммов *Bacillus*

Е. Н. Пономарева^{1✉}, М. Н. Сорокина², В. А. Григорьев³, М. С. Мазанко⁴, Д. В. Рудой⁵

¹⁻³Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Ростов-на-Дону, Россия, kafavb@mail.ru✉

¹⁻³Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия

^{4, 5}Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследований по сравнению эффективности пробиотических добавок, разработанных для животноводства и разработанных для аквакультуры, в составе комбикормов для карпа. В комбикорм для контрольной группы включали промышленный пробиотик на основе *B. subtilis*, для опытных групп – пробиотические добавки с разными штаммами *B. velezensis*. Масса рыб в опытных группах 1 и 2 достоверно увеличилась в 1,3–1,4 раза по сравнению с рыбами контрольной группы, при этом абсолютный прирост был выше на 45,53 и 32,63 %, а коэффициент массонакопления на 25,81 и 19,35 % соответственно. Рыбы из опытных групп продемонстрировали лучшую адаптацию к изменяющимся условиям окружающей среды и повышенную устойчивость к стрессовым факторам. При оценке двигательной активности в тесте «открытое поле» у них наблюдалось снижение ориентировочной активности на 52 и 46 %, в то время как у контрольной группы – на 77 %, что свидетельствует о значительном торможении двигательной активности. Уровень фоновой двигательной активности рыб опытных групп был достоверно выше, чем у контрольной, в 2–3,6 раза. При воздействии низкочастотного звукового раздражителя двигательная активность увеличилась во всех группах в 1,5–3,6 раза по сравнению с фоновым уровнем, однако в контрольной группе реакция на данный раздражитель была наименьшей – 14,3 ед./мин. При кратковременном световом воздействии в контрольной группе рыбы практически прекратили движение, уменьшив активность в 6,5 раз, до 2,2 ед./мин. В опытных группах этот показатель был выше по сравнению с контролем в 3,3–3,5 раза. При воздействии третьего раздражителя (постоянный свет) наблюдались аналогичные тенденции. Жизнестойкость молоди карпа при экстремальной солевой нагрузке была наивысшей в первой опытной группе, которая получала комбикорм, включающий пробиотические бактерии *B. velezensis* MT14 и MT42. Среднее время выживания составило 16,7 ч, а уровень выживаемости – 30 %. Количество пробиотических бактерий в кишечнике рыб опытных групп через 30 дней эксперимента составляло около 50 %, а через 60 дней – 25 %. Доля вегетативных клеток составила 94–95 % после месяца выращивания, после двух месяцев – 76–86 %, что указывает на высокую приживаемость пробиотиков. В контрольной группе количество промышленного пробиотика в кишечном содержимом рыб уменьшилось на 90 % по сравнению с его уровнем в корме, но клетки пробиотика оставались в вегетативном состоянии на уровне 98 и 91 % для рыб в возрасте 30 и 60 дней соответственно.

Ключевые слова: карп, комбикорм для рыб, пробиотики, поведение рыб, терморезистентность, солеустойчивость, биохимические показатели

Благодарности: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-76-30006, <https://rscf.ru/project/23-76-30006/>.

Для цитирования: Пономарева Е. Н., Сорокина М. Н., Григорьев В. А., Мазанко М. С., Рудой Д. В. Сравнительная оценка молоди карпа, выращенной с применением пробиотических препаратов на основе различных штаммов *Bacillus* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 2. С. 83–96. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-2-83-96>. EDN FQPKMU.

Original article

Comparative evaluation of juvenile carp reared using probiotic preparations based on different *Bacillus* strains

E. N. Ponomareva^{1✉}, M. N. Sorokina², V. A. Grigoriev³, M. S. Mazanko⁴, D. V. Rudoy⁵

¹⁻³Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don, Russia, kafavb@mail.ru

¹⁻³Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia

^{4, 5}Don State Technological University,
Rostov-on-Don, Russia

Abstract. The results of studies comparing the effectiveness of probiotic additives developed for animal husbandry and developed for aquaculture in the composition of compound feeds for carp are presented. The compound feed for the control group included an industrial probiotic based on *B. subtilis*, and probiotic additives with different strains of *B. velezensis* for the experimental groups. The weight of fish in the experimental groups significantly increased by 1.3–1.4 times compared with the fish in the control group, with an absolute increase of 45.53 and 32.63%, and the mass accumulation coefficient was 25.81 and 19.35%. Fish from the experimental groups demonstrated better adaptation to changing environmental conditions and increased resistance to stress factors. When assessing their motor activity in the “open field” test, there was a decrease in approximate activity by 52 and 46%, while in the control group – by 77%, which indicates a significant inhibition of motor activity. The level of background motor activity of the fish of the experimental groups was significantly higher than that of the control group by 2-3.6 times. When exposed to a low-frequency sound stimulus, motor activity increased in all groups by 1.5-3.6 times compared to the background level, however, in the control group, the reaction to this stimulus was the lowest - 14.3 units/min. With short-term light exposure in the control group, the fish practically stopped moving, reducing their activity by 6.5 times to 2.2 units/min. In the experimental groups, this indicator was 3.3-3.5 times higher than in the control group. When exposed to a third stimulus (constant light), similar trends were observed. The viability of juvenile carp under extreme salt stress was highest in the first experimental group, which received compound feed including probiotic bacteria *B. velezensis* MT14 and MT42. The average survival time was 16.7 hours, and the survival rate was 30%. The number of probiotic bacilli in the intestines of the fish of the experimental groups after 30 days of the experiment was about 50%, and after 60 days – 25%. The proportion of vegetative cells was 94-95% after a month of cultivation, and 76-86% after two months, indicating a high survival rate of probiotics. In the control group, the amount of industrial probiotic in the intestinal contents of fish decreased by 90% compared with its level in the feed, but the probiotic cells remained in a vegetative state at 98 and 91% for fish aged 30 and 60 days, respectively.

Keywords: carp, fish feed, probiotics, fish behavior, thermoresistance, salt tolerance, biochemical parameters

Acknowledgment: the study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-76-30006, <https://rscf.ru/project/23-76-30006/>.

For citation: Ponomareva E. N., Sorokina M. N., Grigoriev V. A., Mazanko M. S., Rudoy D. V. Comparative evaluation of juvenile carp reared using probiotic preparations based on different *Bacillus* strains. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2025;2:83-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-2-83-96>. EDN FQPKMU.

Введение

Аквакультура – быстро развивающаяся отрасль промышленности – играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности стран. Однако

рост этой индустрии сопровождается рядом проблем, таких как увеличенная нагрузка на выращиваемые организмы и окружающую среду. Это может привести к повышенной уязвимости к вспышкам

заболеваний и другим угрозам в данной сфере. Применение антибиотиков, химических веществ и вакцин стало обычной практикой в борьбе с болезнями рыб, а также для повышения роста и эффективности кормов [1].

Многолетние усилия различных исследователей проложили путь к выявлению безопасных, экономически эффективных и экологически чистых биотехнологических альтернатив для уменьшения зависимости сектора аквакультуры от антибиотиков, таких как иммуностимуляторы, пребиотики, вакцины, неспецифические усилители иммунитета, пробиотики и т. д. [1, 2].

В настоящее время в кормах для аквакультуры активно используются различные функциональные добавки. К числу наиболее распространенных и наиболее изученных относятся пребиотики и пробиотики [3]. Они применяются с целью улучшения микробиома хозяина, в первую очередь в желудочно-кишечном тракте, с последующей пользой для организма хозяина. Кишечная микробиота – это сложное сообщество, включающее бактерии, дрожжи, археи, простейшие и вирусные частицы. Эти сообщества тесно связаны со здоровьем хозяина, пищеварительной функцией и метаболизмом [4].

Пробиотики представляют собой живые полезные бактерии, которые поступают в желудочно-кишечный тракт с пищей или водой и способствуют улучшению физиологических показателей организма. Эти микроорганизмы обладают антимутагенной и антиканцерогенной активностью, участвуют в усилении иммунного ответа и защищают хозяина от вредных бактериальных и грибковых патогенов. Кроме того, все больше данных свидетельствует о взаимодействии пробиотиков с центральной нервной системой через нервные, эндокринные и иммунные механизмы, что позволяет им оказывать непосредственное влияние на функции мозга и поведение организма хозяина [3, 5, 6].

Научные исследования продемонстрировали, что пробиотики способствуют улучшению роста хозяев, укреплению иммунной системы, поддержанию здоровья кишечника и повышению выживаемости в различных условиях. Кроме того, пробиотики увеличивают стрессоустойчивость, улучшают метаболизм и способствуют воспроизводству [7, 8].

В аквакультуре чаще всего применяются пробиотики, разработанные для теплокровных животных, поскольку существуют технологии промышленного производства многих из них. Большинство таких пробиотиков изначально выделены из млекопитающих. Однако микробиота кишечника водных животных существенно отличается от микробиоты наземных видов. Это означает, что пробиотики, разработанные для наземных животных, плохо приживаются и работают в кишечнике водных обитателей. Поэтому для аквакультуры критически важно использовать пробиотики, специально адаптированные для водных организмов [9].

Среди широкого спектра пробиотиков в аквакультуре достаточно часто обращаются к препаратам на основе рода *Bacillus*. Несмотря на то, что различные штаммы *Bacillus* spp. применяются в качестве кормовых добавок для разных животных, эффективность пробиотиков зависит от конкретного штамма. Среди пробиотиков рода *Bacillus* *Bacillus velezensis* рассматривается как перспективный пробиотик для аквакультуры благодаря своим потенциальным полезным свойствам. Ранее проведенные исследования продемонстрировали положительное влияние *B. velezensis* в аквакультуре, однако его применение нуждается в дальнейшем исследовании [10]. Существует предположение, что сочетание пробиотических штаммов может усиливать или дополнять полезные свойства отдельных штаммов для здоровья рыб [11]. Однако несмотря на растущий интерес к мультиштаммовым пробиотикам информации о влиянии их добавления в рацион рыб все еще недостаточно.

В связи с этим целью настоящей работы было сравнение эффективности пробиотических добавок, разработанных для животноводства и аквакультуры, при использовании их в кормах для карпов.

Материал и методы исследования

Исследования проводились в Южном научном центре Российской академии наук и Донском государственном техническом университете. Для проведения экспериментов использовалась молодь карпа (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758). Рыбы были разделены на 3 группы: контрольную и 2 опытные.

В качестве пробиотических добавок были использованы мультиштаммовые препараты на основе бациллярных пробиотиков. Все штаммы были выделены из естественной среды обитания карпов, а именно из донных отложений р. Дон в нижнем течении. Среди штаммов, выделенных из донных отложений, было отобрано 4 штамма, обладающих наибольшим уровнем выработки литических экзoferментов, а именно протеолитической и амилотической активностью: *Bacillus velezensis* MT14, *B. velezensis* MT42, *B. velezensis* MT141, *B. velezensis* MT142. Дополнительно, *B. velezensis* MT42 и *B. velezensis* MT142 обладали высокой целлюлазной активностью. Штаммы были разбиты в пары так, чтобы как минимум один штамм обладал целлюлазной активностью. На основе пар штаммов были получены препараты методом твердофазной ферментации сои.

Корм для первой опытной группы включал мультиштаммовый препарат, основанный на штаммах *B. velezensis* MT14 и *B. velezensis* MT42. Конечное содержание бактерий в этом корме составило $1,9 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Корм для второй опытной группы содержал мультиштаммовый препарат на основе штаммов *B. velezensis* MT141 и *B. velezensis* MT142. Конечное содержание бактерий в этом корме составило $5,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Контрольный корм включал промышленный пробиотик на основе *Bacillus* (про-

биотическая добавка Клострат НС SP *Bacillus Subtilis* PB6 (ATCC РТА-6737) с конечным содержанием бактерий $8,9 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Молодь карпа средней начальной массой 2,97–3,0 г содержали в бассейнах диаметром 1,5 м, глубиной 0,7 м установки замкнутого водоснабжения. В каждый бассейн было посажено по 192 экз. молоди. Корм с содержанием 48 % протеина и 10 % жира был произведен на лабораторной установке. Норма введения пробиотического препарата – 0,05 %. Количество корма рассчитывали с помощью нормативных методов. Эффективность выращивания рыб оценивали на основании кормления в течение 120 суток.

Рост рыб оценивали по показателям абсолютного, среднесуточного приростов, скорости роста, коэффициенту массонакопления [12]. Для оценки поведенческих реакций рыб в конце эксперимента применяли методику «открытое поле» [13].

Определение жизнестойкости молоди проводили по методу функциональных нагрузок [14], тестируя по показателям терморезистентности (33 °C) и солеустойчивости (15 ‰).

Для исследования терморезистентности молоди использовали емкость объемом 25 л, заполненную водой, в которую отсаживали партию мальков в количестве 10 шт. После этого измеряли исходную температуру воды, активную реакцию среды, определяли концентрацию кислорода при помощи оксиметра. После посадки в рыбоводную емкость молодь выдерживалась в течение 1–2-х ч, после чего включали нагреватель воды. Скорость повышения температуры до сублетальной была в пределах 1 °C/ч.

Для изучения солеустойчивости рыб на ранних этапах их развития использовали искусственно приготовленный солевой раствор. Выдерживание рыб осуществляли в емкости объемом 25 л. Для поддержания нормального насыщения кислорода использовали компрессорные установки с распылителями воздуха.

При содержании рыб при высокой температуре и концентрации солености наблюдали за их поведением, регистрировали время их гибели и количество погибших. В процессе выполнения эксперимента контролировали основные физико-химические параметры среды: температуру, насыщение кислорода, pH.

Отбор проб и биохимический анализ (белок, жир, зола) тела рыб проводили по общепринятым методикам [15–18]. Анализ химического состава тела исследуемых рыб проводили в специализированной лаборатории, содержание жира определяли методом экстракции в аппарате Сокслета, белка – по Кьельдалю, золы – методом сжигания в муфельной печи.

Для определения содержания пробиотических штаммов в кишечном содержимом рыб кишечники рыб извлекали и на льду доставляли в лабораторию. Далее кишечное содержимое извлекали в асептических условиях стерильными ножницами и лопатками и помещали в стерильные микропробирки. Готовили

среднюю пробу: равное количество кишечного содержимого от 5 рыб тщательно перемешивали стерильной стеклянной палочкой либо пластиковой микробиологической петлей, затем смешивали со стерильным физиологическим раствором из расчета 1 : 10. Далее готовили ряд последовательных десятичных разведений. Посев производили на твердую питательную среду LB (Luria Bertani) дважды, до и после пастеризации. Пастеризовали суспензию при температуре 95 °C в течение 5 мин. Чашки инкубировали при температуре 25 °C 48 ч, затем учитывали.

Колонии пробиотических штаммов определяли по морфологическим признакам, основываясь на том, что морфология колоний разнообразна, часто индивидуальна и генетически детерминирована [19–22]. При учете использовали лабораторные чашки с соответствующими пробиотическими штаммами, находящимися в виде одиночных колоний. На чашках, засеянных из суспензии до пастеризации, учитывали общее число бактерий в кишечном содержимом. На чашках, засеянных из пастеризованной суспензии, учитывали только колонии, находящиеся в споровой форме. По разнице между полученными числами определяли количество бактерий в вегетативной форме.

Полученные в ходе исследования результаты были подвергнуты статистической обработке с использованием программного обеспечения Statistica и Excel. При нормальном распределении данных использовался параметрический критерий Стьюдента, при распределении, отличном от нормального – непараметрический критерий Манна – Уитни.

Результаты исследований

В условиях быстрого развития современная аквакультура испытывает недостаток в кормовых добавках, разработанных специально под ее нужды, поэтому часто в качестве пробиотических добавок используют штаммы, разработанные для животноводства и птицеводства. Но серьезные различия между рыбами и теплокровными животными (температура тела, состав кишечной микробиоты) [23] ставят под сомнения эффективность подобных добавок.

В нашем исследовании мы использовали 2 пары штаммов, обладающих высоким уровнем ферментативной активности, направленной на помощь в переваривании белков и углеводов, в том числе целлюлозы. Все штаммы были выделены из донных отложений р. Дон, т. е. были автохтонными для естественных мест обитания карпа, сталкивались с водными организмами и их микробиотой. Для сравнения мы также использовали бациллярный пробиотик, обладающий литическими свойствами, но разработанный для животноводства: КлоСТАТ, который показал себя как хороший пробиотик, увеличивающий прирост массы, снижающий конверсию корма и обеспечивающий сохранность животных в птицеводстве и свиноводстве [24–27]. Таким образом, мы использовали пробиотик из животноводства и специально разработанные для аквакультуры пробиотики с целью сравнить их эффективность.

Проведенные эксперименты по выращиванию молоди карпа на кормах, в состав которых входили экспериментальные пробиотики, выявили их эффективность. Лучшие результаты по сравнению с контролем были у особей из опытных групп (табл. 1):

конечная масса была достоверно больше в 1,3–1,4 раза, абсолютный прирост на 45,53 и 32,63 %, коэффициент массонакопления на 25,81 и 19,35 % в опыте 1 и 2 выше контроля соответственно.

Таблица 1

Table 1

Рыбоводно-биологические показатели молоди карпа

Fish-breeding and biological indicators of juvenile carp

Показатель	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Масса начальная, г	3,00 ± 0,18	2,97 ± 0,22	2,95 ± 0,19
Масса конечная, г	19,12 ± 0,87 ^{а, б}	26,73 ± 1,60 ^а	24,33 ± 1,79 ^б
Абсолютный прирост массы, г	16,12	23,46	21,38
Среднесуточный прирост массы, г/сут	0,13	0,20	0,18
Среднесуточная скорость роста, %	1,6	1,8	
Удельная скорость роста, %	0,67	0,80	0,77
Коэффициент массонакопления, ед.	0,031	0,039	0,037
Выживаемость, %	95	97	95
Длительность эксперимента, сут	120		

*Достоверно статистически значимые различия: а – $p \leq 0,001$; б – $p \leq 0,05$.

Выживаемость рыб во всех группах была высокой, 95–97 %. В опытных группах улучшилось использование корма по сравнению с контрольной группой.

Наряду с исследованиями показателей роста и массонакопления был проведен анализ биохимических характеристик тела молоди (рис. 1).

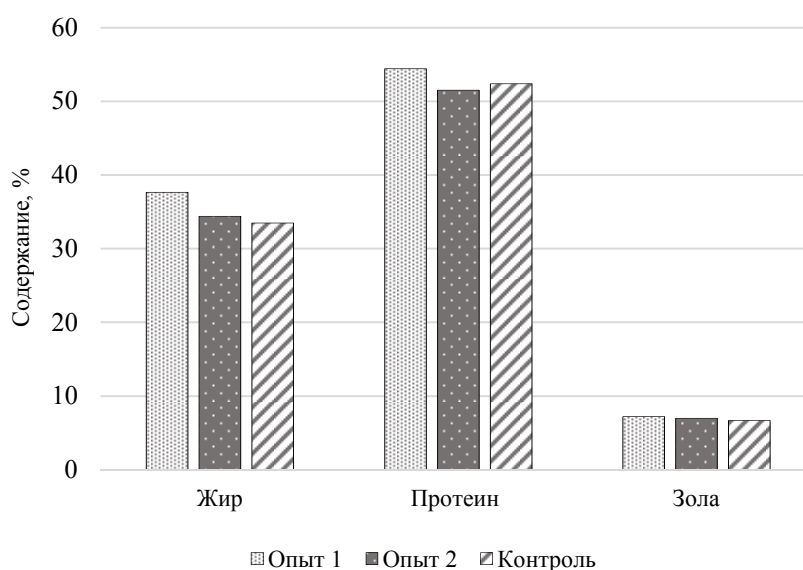


Рис. 1. Биохимические показатели тканей выращиваемой молоди карпа

Fig. 1. Biochemical parameters of the tissues of the grown juvenile carp

Анализ этих показателей выявил, что молодь рыб из контрольного варианта продемонстрировала более низкое содержание жира (на 11 %) и протеина (на 4 %) по сравнению с рыбами, получавшими пробиотические добавки в опыте 1. Уровень липидов и протеина в группе «опыт 2» также был ниже,

по сравнению с опытом 1, на 8,7 и 5,4 % соответственно. Эти результаты свидетельствуют о лучшем энергетическом статусе рыб из опытной группы 1, что указывает на их потенциальную способность к более быстрому и эффективному росту.

Полученные в ходе эксперимента результаты также согласуются с данными ранее проведенных исследований, которые выявили различия в содержании белка в рыбе, подвергшейся воздействию пробиотиков. Это связано с эффективным преобразованием пищи, потребляемой карпами, в структурный белок, способствующий увеличению мышечной массы. Также была замечена тенденция к росту доли жира при использовании пробиотиков, что объясняется их способностью синтезировать внеклеточные ферменты, такие как липазы. В сочетании с другими стимуляторами роста, такими как витамины, аминокислоты и жирные кислоты, пробиотики улучшают расщепление пищи и усвоение питательных веществ [28]. Это, в свою очередь, приводит к увеличению отложения белков и липидов в мышцах [29].

B. velezensis способен производить различные пищеварительные ферменты, которые способствуют разложению и агрегации белков и липидов. Однако слишком высокие дозы *B. velezensis* могут снизить эти положительные эффекты у рыб. Подобные результаты уже были зафиксированы в предыдущих исследованиях [30]. Результаты показали, что использование корма в опыте 2 с более высоким содержанием *B. velezensis* ($5,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г) не дало дополнительных преимуществ в активности пищеварительных ферментов и усвояемости питательных веществ. Это указывает на то, что увеличение активности пищеварительных ферментов и усвояемости питательных веществ в кишечнике карпа,

вызванное внешними пробиотическими штаммами, имеет свой предел, о котором также сообщалось в ранее проведенных исследованиях [30]. Перед широким применением необходимо тщательно оценить оптимальную дозу пробиотика, чтобы избежать нежелательных эффектов.

Штаммы, используемые нами в опытных группах, также образовывали ряд пищеварительных ферментов, позволяющих рыбам усваивать белки и углеводы. Целлюлозолитическая активность штаммов помогала получать энергию из целлюлозы, которую организм рыб не способен переварить без поддержки микроорганизмов. Помимо непосредственно источника энергии разрушение клеточных стенок компонентов растительной пищи облегчало доступ к находящимся внутри питательным веществам. Увеличение количества доступных углеводов способствовало запасанию энергии в виде липидов.

Рыбы из всех вариантов эксперимента имели схожие показатели содержания золы, что может характеризовать стабильность минерального состава при использовании различных пробиотических добавок. Это свидетельствует о том, что добавление пробиотиков не нарушает минеральный баланс в организме рыб.

Проведенный микробиологический анализ кишечного содержимого опытных групп карпа показал фактически бикультуру соответствующих пробиотических штаммов с единичными колониями других морфотипов (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Количество бацилл в кишечном содержимом молоди карпа разных возрастов, КОЕ/г

The number of bacilli contained in the intestinal contents of juvenile carp of different ages, CFU/g

Группа	Морфотип	Продолжительность эксперимента			
		30 дней		60 дней	
		Вегетативная форма	Споровая форма	Вегетативная форма	Споровая форма
Контроль	Идентичных промышленному пробиотику	$7,0 \pm 0,2 \cdot 10^6$	$1,2 \pm 0,2 \cdot 10^5$	$7,3 \pm 0,3 \cdot 10^5$	$6,9 \pm 0,2 \cdot 10^4$
	Других	$8,8 \pm 0,2 \cdot 10^4$	$7,1 \pm 0,1 \cdot 10^4$	$7,4 \pm 0,3 \cdot 10^5$	$8,2 \pm 0,2 \cdot 10^4$
Опыт 1	Идентичных МТ14 + МТ42	$1,9 \pm 0,2 \cdot 10^6$	$1,2 \pm 0,2 \cdot 10^5$	$1,1 \pm 0,3 \cdot 10^6$	$3,4 \pm 0,1 \cdot 10^5$
	Других	$8,4 \pm 0,1 \cdot 10^5$	$8,6 \pm 0,2 \cdot 10^4$	$9,1 \pm 0,1 \cdot 10^5$	$7,6 \pm 0,3 \cdot 10^4$
Опыт 2	Идентичных МТ141 + МТ142	$2,6 \pm 0,3 \cdot 10^6$	$1,5 \pm 0,1 \cdot 10^5$	$1,2 \pm 0,1 \cdot 10^6$	$1,9 \pm 0,2 \cdot 10^5$
	Других	$7,9 \pm 0,3 \cdot 10^5$	$9,2 \pm 0,1 \cdot 10^4$	$8,8 \pm 0,1 \cdot 10^5$	$8,0 \pm 0,2 \cdot 10^4$

Также в контроле наблюдалась монокультура промышленного пробиотика с единичными посторонними бациллами.

Количество пробиотических бацилл в опытных группах соответствовало количеству пробиотика в корме и составляло около половины через 30 дней эксперимента и четверти через 60 дней. Штаммы в обоих случаях были метаболически активны. У 30-дневных рыб количество вегетативных клеток для опыта 1 и опыта 2 составило 94 и 95 %,

у 60-дневных рыб – 76 и 86 % соответственно, что говорит о хорошей приживаемости пробиотика.

Количество промышленного пробиотика в кишечном содержимом снизилось на 90 % по сравнению с его количеством в корме, при этом клетки пробиотика также находились в вегетативном состоянии на 98 и 91 % для возраста 30 и 60 дней соответственно.

В данном случае падение численности промышленного пробиотика было критическим – несмотря на его неоднократно описанные стимулирующие

рующие свойства [24–27], он не выживал в кишечнике рыб, а значит не был способен в полной мере эти свойства проявить. Микроорганизмы из опытных групп, приспособленные к сосуществованию с организмом рыб, не снижали численности, а значит могли в полной мере раскрыть свой пробиотический потенциал.

Следует отметить высокую обсемененность кишечного содержимого карпов видами *Bacillus*, а также их высокую степень разнообразия – в об-

щей сложности было отмечено 12 и 14 морфотипов колоний естественных представителей бацилл для 30 и 60 дней соответственно. Это говорит о мощной микробиоте молоди карпов с высоким уровнем биоразнообразия.

В тесте «открытое поле» у молоди карпа из 1-й опытной группы было установлено, что ориентировочная активность оказалась достоверно ($p \leq 0,01$) выше, чем в контрольной и 2-й опытной группе, в 1,7–2 раза и составила 29,8 ед./мин (рис. 2).

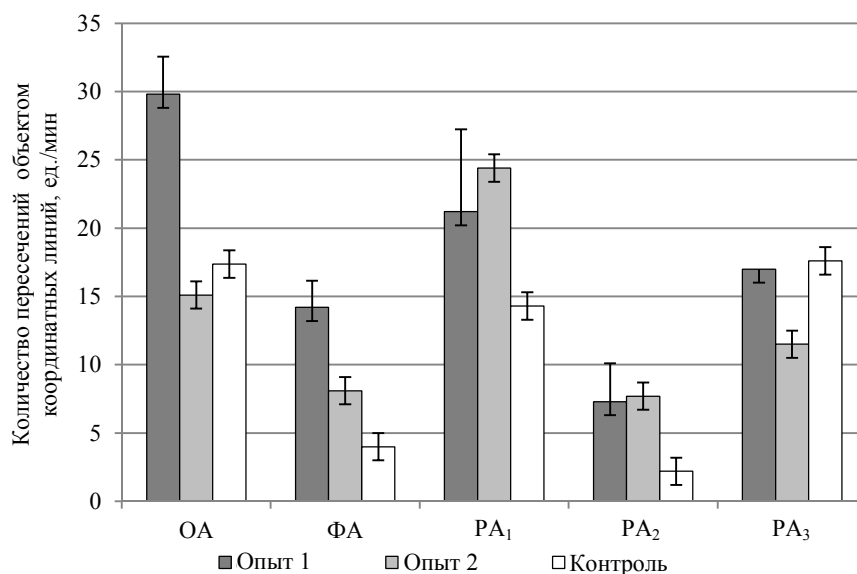


Рис. 2. Результаты тестирования молоди карпа в тесте «открытое поле»:
 OA – ориентировочная активность; FA – фоновая активность; PA1 – виброакустический низкочастотный раздражитель; PA2 – кратковременный световой раздражитель; PA3 – постоянный световой раздражитель

Fig. 2. The results of testing of juvenile carp in the “open field” test Note: OA – indicative activity;
 FA – background activity; PA1 – vibroacoustic low frequency stimulus;
 PA2 – short-term light stimulus; PA3 – permanent light stimulus

У рыб всех групп далее отмечали снижение активности. У молоди 1-й и 2-й опытных групп фоновая активность, по сравнению с ориентировочной, была ниже на 52,35 и 46,36 %, тогда как у контрольной группы на 76,97 %. Фоновая активность рыб опытных групп была достоверно выше в 2–3,6 раза по сравнению с контролем ($p \leq 0,01$).

При воздействии виброакустического низкочастотного раздражителя двигательная активность увеличилась, по сравнению с фоновым уровнем, во всех группах в 1,5–3,6 раза, однако в контрольной группе реакция на неспецифический виброакустический раздражитель была наименьшей – 14,3 ед./мин.

Второй раздражитель – яркая вспышка света – представляет собой неадекватный биотический фактор, который имитирует увеличение освещенности и вызывает пищедобывательную реакцию [31]. В отличие от предыдущей испуговой реакции, молодь в эксперименте снизила свою двигательную активность в 2,9–3,2 раза. В контроле молодь прак-

тически прекратила передвижение, уменьшив активность в 6,5 раз, до 2,2 ед./мин. В опытных группах этот показатель был выше, по сравнению с контролем, в 3,3–3,5 раза.

При воздействии третьего раздражителя (постоянный свет) реактивность молоди возросла в 1,5–2,3 раза в эксперименте, тогда как в контрольной группе – в 8 раз.

В контрольной группе поведение молоди было более нестабильное, что выражалось чередованием периодов сильного возбуждения и подавления активности. Это приводило к значительным колебаниям в ее реакциях на окружающую среду. Молодь из опытных групп изначально показала высокую активность в непривычных условиях, но вскоре адаптировалась, и ее реакции на изменения среды стали менее интенсивными и резкими.

Термоустойчивость молоди карпа в опытных и контрольной группах оказалась высокой. Карп

адаптировался к повышенной температуре 33 °С, и гибели молоди не было отмечено.

Жизнестойкость молоди карпа при экстремаль-

ной солевой нагрузке (15 %) оказалась наиболее высокой в 1-й опытной группе (рис. 3).

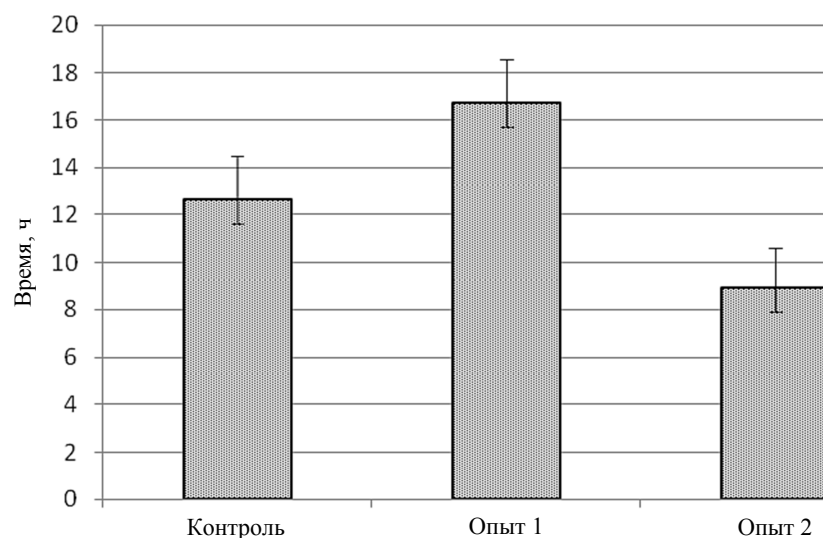


Рис. 3. Среднее время выживания молоди карпа при солевом шоке

Fig. 3. Average survival time of juvenile carp during salt shock

После кратковременного возбуждения особи, помещенные в соленую воду, успокаивались и оставались у дна или в толще воды. Постепенно у них наблюдалось увеличение частоты дыхания по сравнению с исходными показателями эксперимента. В дальнейшем было отмечено, что рыбы начали периодически подниматься к поверхности для заглатывания воздуха. Частота дыхательных движений уве-

личилась на фоне развивающейся аритмии, у некоторых наблюдалась потеря равновесия, а также появились мертвые особи. Среднее время выживаемости молоди в 1-й опытной группе составило 16,7 ч.

Гибель рыбы во 2-й опытной и контрольной группах началась после 4-х часов содержания в соленой воде, в 1-й опытной группе после 7-ми часов содержания (рис. 4).

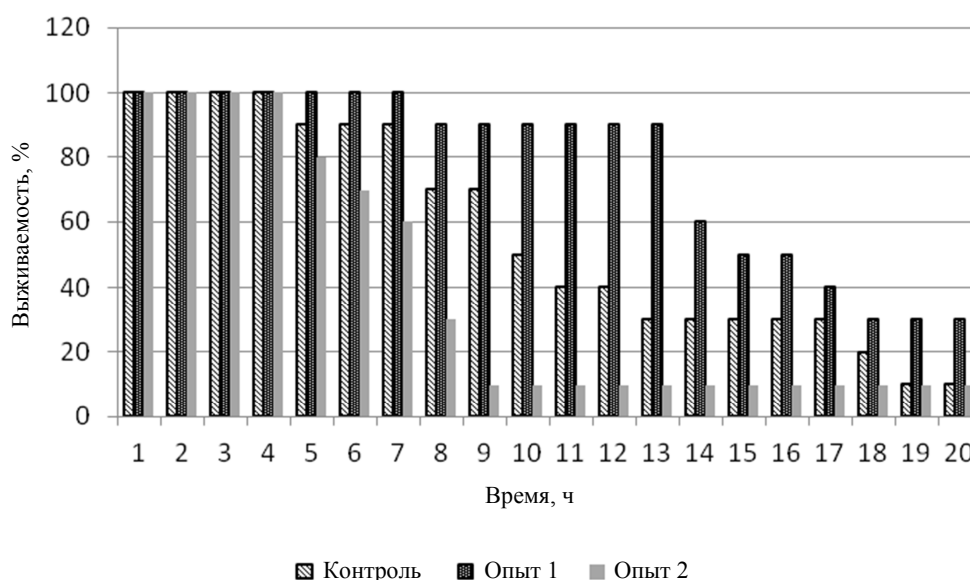


Рис. 4. Показатели солеустойчивости молоди карпа

Fig. 4. Indicators of salt resistance of juvenile carp

По завершении 24-часового эксперимента было установлено, что часть молоди выжила. Наивысший уровень выживаемости наблюдался в 1-й опытной группе, он составил 30 %. При оценке качества этой молоди выяснилось, что рыбы из 1-й группы проявили большую устойчивость к повышенной солености по сравнению с рыбой из 2-й и контрольной групп, где выживаемость составила лишь 10 %.

Вызывает интерес разница показателей между двумя опытными группами. Несмотря на то, что пробиотические штаммы для данного исследования отбирались по экзоферментативной активности, не следует забывать, что бациллы способны на образование других соединений, оказывающих стимулирующее действие на различные системы организма: иммунную, нервную, гормональную [32, 33]. Они способны вырабатывать антиоксиданты, снижающие количество свободных радикалов и оксидативный стресс.

Пресноводные рыбы используют многогранный набор физиологических и молекулярных механизмов для преодоления солевого стресса, такие как изменение транспорта ионов, активация иммунной системы и белков теплового шока. Рыбы активируют белки транспорта ионов в жабрах и почках для поддержания осмотического баланса. Например, тилипия быстро повышает экспрессию факторов транскрипции, контролирующей гены выделения соли при увеличении солености воды [34]. Одновременно активизируется иммунная система. У белого амура, подвергнутого воздействию солености, наблюдаются дисрегуляция сигнальных путей NOD-подобных рецепторов (NLR) и толл-подобных рецепторов (TLR), которые имеют решающее значение для обнаружения патогенов и иммунного ответа. Гены NLR и TLR, специфичные для рыб, играют ключевую роль в восприятии как стресса из-за солености, так и инфекций [35]. У пескарей при увеличении солености наблюдаются изменения экспрессии генов, связанных с иммунитетом, в мозговой ткани, включая сигнальные пути MAPK [36]. Белки теплового шока (HSP), такие как HSP70 и HSP7C, активируются в печени пескарей при стрессе от солености, способствуя сворачиванию белков и клеточному восстановлению [35]. Клеточная реакция на стресс (CSR) – консервативный механизм, включающий HSP и переносчики ионов – активируется у рыб, сталкивающихся с быстрыми или постепенными изменениями солености [37].

Вероятно, пробиотические бактерии *B. velezensis* MT14 и *B. velezensis* MT42, входящие в состав корма группы «опыт 1», вырабатывают некоторые из перечисленных выше веществ, стимулирующих активность иммунной системы и активирующих белки теплового шока, что приводит к повышению устойчивости карпов к солености воды. Так, показано, что бациллы также способны активировать TLR и NLR-связанные системы у рыб [32, 33], мо-

дулировать активацию белков теплового шока [38], играющих решающую роль в устойчивости рыб к изменениям солености.

Заключение

Проведенные исследования по выращиванию молоди карпа на кормах, в состав которых входили экспериментальные пробиотики, выявили их эффективность. Показано, что лучшие результаты были у особей из опытных групп, которые получали комбикорм с пробиотиками, включающими бактерии *B. velezensis*. Конечная масса была достоверно больше в 1,3–1,4 раза, абсолютный прирост на 45,53 и 32,63 %, коэффициент массонакопления на 25,81 и 19,35 % у рыб, получавших комбикорма, в состав которых входили препараты, основанные на штаммах *B. velezensis* MT14, *B. velezensis* MT42 и *B. velezensis* MT141, *B. velezensis* MT142 соответственно, по сравнению с рыбами, потреблявшими комбикорм с промышленным пробиотиком, разработанным для животноводства и содержащим *B. subtilis* PB6. Выживаемость рыб во всех группах была высокой, 95–97 %. Исследование состава мышечной ткани карпа, получавшего комбикорм с промышленным пробиотиком, показало, что содержание жира было на 11 % ниже, а протеина – на 4 % ниже по сравнению с рыбами, получавшими комбикорм с пробиотической добавкой со штаммами *B. velezensis* MT14 и *B. velezensis* MT42. Уровень липидов и протеина во 2-й экспериментальной группе, получавшей комбикорм с пробиотиком на основе штаммов *B. velezensis* MT141 и *B. velezensis* MT142, оказался ниже, чем в первой опытной, на 8,7 и 5,4 % соответственно. Эти результаты указывают на более высокий энергетический статус рыб из 1-й экспериментальной группы, что свидетельствует об их потенциальной способности к более быстрому и эффективному росту.

В тесте «открытое поле» у молоди карпа, которая получала в составе корма пробиотические бактерии *B. velezensis* MT14 и *B. velezensis* MT42, была зафиксирована ориентировочная активность, которая достоверно превышала таковую других групп в 1,7–2 раза, составив 29,8 ед./мин. В дальнейшем у рыб всех групп наблюдалось снижение активности. У молоди опытных групп фоновая активность оказалась ниже ориентировочной на 52,35 и 46,36 % соответственно. В контрольной группе этот показатель снизился на 76,97 % и фоновая активность составила 4 ед./мин. Фоновая активность рыб опытных групп была достоверно выше, чем у контрольной, в 2–3,6 раза. В контрольной группе у молоди наблюдались чередующиеся процессы значительного возбуждения и торможения при воздействии виброакустического и световых раздражителей. В то же время молодь из опытных групп, сначала активно проявившая себя в новой обстановке, адаптировалась и стала менее резко реагировать на

изменения окружающей среды.

Жизнестойкость молоди карпа при экстремальной солевой нагрузке была наивысшей в 1-й опытной группе, получавшей комбикорм, включающий препарат, основанный на штаммах *B. velezensis* MT14 и *B. velezensis* MT42. Среднее время выживания составило 16,7 ч, а уровень выживаемости – 30 %.

Показано, что количество активных пробиотических микроорганизмов в кишечниках рыб опытных групп значительно превышает аналогичный показатель в контрольной группе.

Количество пробиотических бацилл в кишечнике рыб опытных групп соответствовало уровню пробиотика в корме и составляло около 50 % после 30 дней эксперимента и 25 % после 60 дней. В обоих случаях штаммы оставались метаболически активными. У рыб после выращивания в течение 30 дней доля вегетативных клеток составила 94–95 %. У рыб, находившихся на 60-дневном этапе, эти показатели составили 76–86 %, что свидетельствует о высокой приживаемости пробиотика.

В контрольной группе количество промышленного пробиотика в кишечном содержимом рыб уменьшалось на 90 % по сравнению с его уровнем

в корме, тем не менее клетки пробиотика оставались в вегетативном состоянии на 98 и 91 % для рыб в возрасте 30 и 60 дней соответственно.

Полученные результаты связаны с литической активностью использованных нами штаммов. Протео-, амило- и целлюлозолитические ферменты, вырабатываемые штаммами, помогали молоди карпов в переваривании компонентов кормов, что увеличивало доступность и усвояемость питательных веществ. На этом основан лучший рост и адаптивность рыб из опытных групп.

Полученные результаты подчеркивают эффективность специально разработанных для аквакультуры штаммов пробиотика по сравнению с пробиотиком, эффективным в животноводстве и птицеводстве. Данные штаммы могут использоваться как средство для улучшения качества выращиваемых рыб и служить основой для дальнейшего развития этого направления в аквакультуре. Исследования подчеркивают потенциал пробиотиков, выделенных из естественных мест обитания рыб, для повышения продуктивности и устойчивости рыб к стрессовым факторам, что в конечном итоге способствует улучшению качества выращиваемых рыб.

Список источников

1. Suguna T. Role of Probiotics in Aquaculture // Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 2020. V. 9 (10). P. 143–149.
2. Shinde S. V., Sawant Sh., Rathod S., Patekar P., Sheikh S., Narsale S., Tekam I., Limbola M. Unlocking the potential: A comprehensive review on the application of probiotics in aquaculture // International Journal of Advanced Biochemistry Research. 2024. V. 8. N. 3S. P. 168–173.
3. Ameniyogbe E., Droepenu E. K., Ayisi Ch. L., Boamah G. A., Duker R. Q., Abarike E. D., Huang J. Sh. Impact of probiotics, prebiotics, and synbiotics on digestive enzymes, oxidative stress, and antioxidant defense in fish farming: current insights and future perspectives // Frontiers in Marine Science. 2024. V. 11. URL: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1368436> (дата обращения: 12.12.2024).
4. Меррифилд Д. Роль пробиотиков в улучшении пищеварения у рыб // Комбикорма. 2017. № 9. С. 112–114.
5. Пономарева Е. Н., Григорьев В. А., Гуляева А. Ю., Мазанко М. С., Празднова Е. В., Чистяков В. А., Рудой Д. В., Брень А. Б., Сорокина М. Н., Иванов Ю. А. Влияние кормов с пробиотиками на рост, развитие и поведенческие реакции карпа *Cyprinus carpio*, стерляди *Acipenser ruthenus* и бестера *Huso huso* × *Acipenser ruthenus* // Наука Юга России. 2024. Т. 20. № 2. С. 83–90.
6. Cryan J. F., Dinan T. G. Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behaviour // Nature Reviews Neuroscience. 2012. V. 13 (10). P. 701–712.
7. Ponomareva E. N., Sorokina M. N., Grigoriev V. A., Mazanko M., Chistyakov V. A., Rudoy D. V. Probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* B-1895 improved growth of juvenile // Food Science of Animal Resources. 2024. V. 44. N. 4. P. 805–816.
8. Конькова А. В., Файзулина Д. Р., Ширина Ю. М., Богатов И. А. Влияние кормовой пробиотической добавки «Ветоспорин-ж» (*Bacillus subtilis*) и минеральной добавки «Цеолиз» (опока) на проявление генотоксических эффектов в клетках крови молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*) в условиях аквакультуры // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 90–100.
9. Hao Q., Olsen R. E., Ringø E., Ding Q., Teame T., Yao Y., Ran C., Yang Y., Zhang Z., Zhou Z. Dietary Solid-state-fermentation product of *Bacillus velezensis* T23 alleviate hepatic steatosis, oxidative stress, gut barrier damage, and microbiota dysbiosis in juvenile genetically improved farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) // Aquaculture Reports. 2025. V. 40. P. 102523.
10. Khalid F., Khalid A., Fu Y., Hu Q., Zheng Y., Khan S., Wang Z. Potential of *Bacillus velezensis* as a probiotic in animal feed: a review // J. Microbiol. Jul. 2021. V. 59 (7). P. 627–633.
11. Shadrack R. S., Manabu I., Yokoyama S. Efficacy of single and mix probiotic bacteria strain on growth indices, physiological condition and bio-chemical composition of juvenile amberjack (*Seriola dumerili*) // Aquaculture Reports. 2021. V. 20. P. 100753.
12. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.
13. Никоноров С. И., Витвицкая Л. В. Эколого-генетические проблемы искусственного воспроизводства осетровых и лососевых рыб. М.: Наука, 1993. 254 с.
14. Лукьяненко В. И., Касимов Р. Ю., Кокоза А. А. Возрастно-весовой стандарт заводской молоди каспийских осетровых: экспериментальное обоснование. Волгоград: Изд-во ИБВВ АН СССР, 1984. 229 с.
15. ГОСТ ISO 5983-2-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Ч. 2. Метод с использованием блока озоления и перегонки с во-

дяным паром. URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=6260226> (дата обращения: 27.10.2024).

16. ГОСТ 13496.15-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/63036/?ysclid=m2tcwol2oo58523756> (дата обращения: 27.10.2024).

17. ГОСТ 26226-95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/9294/?ysclid=m2tc97robk330738365> (дата обращения: 27.10.2024).

18. ГОСТ 32045-2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания золы, не растворимой в соляной кислоте. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55206/?ysclid=m2tc97robk330738365> (дата обращения: 27.10.2024).

19. Li J., Wu J., Wang J., Wang X. Phenotypic variations induced emergence of orientation order and morphology in *Bacillus subtilis* biofilm growth // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2023. V. 686. P. 149198.

20. Li X., Kong R., Wang J., Wu J., He K., Wang X. The formation mechanism of *Bacillus subtilis* biofilm surface morphology under competitive environment // *Can. J. Microbiol.* 2023. V. 69 (7). P. 251–261.

21. Wang X., Kong Y., Zhao H., Yan X. Dependence of the *Bacillus subtilis* biofilm expansion rate on phenotypes and the morphology under different growing conditions // *Dev. Growth. Differ.* 2019. V. 61 (7-8). P. 431–443.

22. Wang J., Li X., Kong R., Wu J., Wang X. Fractal morphology facilitates *Bacillus subtilis* biofilm growth // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022. V. 29 (37). P. 56168–56177.

23. Rawls J. F., Mahowald M. A., Ley R. E., Gordon J. I. Reciprocal gut microbiota transplants from zebrafish and mice to germ-free recipients reveal host habitat selection // *Cell*. 2006. V. 127. N. 2. P. 423–433.

24. Хохрин С. Н., Волкова И. И. Использование пробиотика Клострат в рационах птицы и влияние его на сохранность и продуктивность кур-несушек // *Изв. Санкт-Петербург. гос. аграр. ун-та*. 2013. № 32. С. 78–85.

25. Проскурина Л. И., Подвинская Е. А. Применение пробиотика Клострат в рационе поросят // *Вестн. Иннов. Евразийск. ун-та*. 2018. № 2 (70). С. 50–54.

26. Капитонова Е. А., Мехова О. С. Применение пробиотика «КлоСТАТ ТМ сухой» в бройлерном птицеводстве // *Уч. зап. учреждения образования «Витебская орден «Знак почта» гос. акад. ветеринар. медицины»*. 2015. Т. 51. Вып. 1 (1). С. 208–212.

27. Хохрин С. Н., Пристац Л. Н., Волкова И. И. Влияние пробиотика Клострат в чистом виде и в сочетании с Салмониллом на качество яиц кур // *Изв. Санкт-Петербург. гос. аграр. ун-та*. 2015. № 38. С. 54–59.

28. Саврасова Н. П., Семенова Е. В., Михайлов Е. В., Мармурова М. А. Влияние пробиотика «Бацелл-М» на

химический состав мышечной и костной ткани карпа обыкновенного *Cyprinus carpio* // *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2024. № 3 (26). С. 18–25.

29. Guo M., Meng L., Li F., Liu Y., Zhang Z., Zhang Q., Kong W. Effects of dietary *Bacillus pumilus* on the growth, intestinal health, lipid metabolism, and mTOR signaling pathway of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // *Water Biology and Security*. 2025. V. 4. Iss. 1. P. 100313.

30. Ji Zh., Lu X., Xue M., Fan Y., Tian J., Dong L., Zhu Ch., Wen H., Jiang M. The probiotic effects of host-associated *Bacillus velezensis* in diets for hybrid yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* ♀ × *Pelteobagrus vachelli* ♂) // *Animal Nutrition*. 2023. V. 15. P. 114–125.

31. Сорокина М. Н., Ковалева А. В., Пономарева Е. Н. Результаты адаптации молоди судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) к выращиванию в индустриальных условиях // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство*. 2009. № 2. С. 95–101.

32. Dang Y., Sun Y., Zhou Y., Men X., Wang B., Li B., Ren Y. Effects of probiotics on growth, the toll-like receptor mediated immune response and susceptibility to *Aeromonas salmonicida* infection in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // *Aquaculture*. 2022. V. 561. P. 738668.

33. Li F., Xie Y., Guo M., Liu Y., Tong T., Zhang Q., Kong W. Effects of dietary *Bacillus cereus* supplementation on the growth performance, serum physiology and biochemistry, Nrf2, TLR/NF-κB signaling pathways, and intestinal health of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // *Aquaculture Reports*. 2024. V. 36. P. 102177.

34. Kültz D. Physiological mechanisms used by fish to cope with salinity stress // *The Journal of experimental biology*. 2015. V. 218 (12). P. 1907–1914.

35. Fang H., Yang Y. Y., Wu X. M., Zheng S. Y., Song Y. J., Zhang J., Chang M. X. Effects and Molecular Regulation Mechanisms of Salinity Stress on the Health and Disease Resistance of Grass Carp // *Front. Immunol.* 2022. V. 13. P. 917497.

36. Escobar-Sierra C., Cañedo-Argüelles M., Vinyoles D., Lampert K. P. Unravelling the molecular mechanisms of fish salinity adaptation in the face of multiple stressors: A comparative multi-tissue transcriptomic study in the Llobregat River, Barcelona, Spain // *bioRxiv*. 2023. V. 11. P. 49.

37. Evans T. G., Kültz D. The cellular stress response in fish exposed to salinity fluctuations // *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*. 2020. V. 333 (6). P. 421–435.

38. Elbahnaswy S., Elshopakey G. E., Abdelwarith A. A., Younis E. M., Davies S. J., El-Son M. A. Immune protective, stress indicators, antioxidant, histopathological status, and heat shock protein gene expression impacts of dietary *Bacillus* spp. against heat shock in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* // *BMC Veterinary Research*. 2024. V. 20 (1). P. 469.

References

1. Suguna T. Role of Probiotics in Aquaculture. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 2020, vol. 9 (10), pp. 143–149.

2. Shinde S. V., Sawant Sh., Rathod S., Patekar P., Sheikh S., Narsale S., Tekam I., Limbola M. Unlocking the potential: A comprehensive review on the application of probiotics in aquaculture. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 2024, vol. 8, no. 3S, pp. 168–173.

3. Amenyogbe E., Droepenu E. K., Ayisi Ch. L., Boamah G. A., Duker R. Q., Abarike E. D., Huang J. Sh. Impact of probiotics, prebiotics, and synbiotics on digestive enzymes, oxidative stress, and antioxidant defense in fish farming: current insights and future perspectives. *Frontiers in Marine Science*, 2024, vol. 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1368436> (accessed: 12.12.2024).

4. Merrifield D. Rol' probiotikov v uluchshenii pishchevarenii u ryb [The role of probiotics in improving fish digestion]. *Kombikorma*, 2017, no. 9, pp. 112-114.
5. Ponomareva E. N., Grigor'ev V. A., Gulyaeva A. Yu., Mazanko M. S., Prazdnova E. V., Chistyakov V. A., Rudoy D. V., Bren' A. B., Sorokina M. N., Ivanov Yu. A. Vliianie kormov s probiotikami na rost, razvitie i povedencheskie reaktsii karpa *Cyprinus carpio*, sterliadi *Acipenser ruthenus* i bestera *Huso huso* × *Acipenser ruthenus* [The effect of probiotic feeds on the growth, development and behavioral reactions of carp *Cyprinus carpio*, sterlet *Acipenser ruthenus* and bester *Huso huso* × *Acipenser ruthenus*]. *Nauka iuga Rossii*, 2024, vol. 20, no. 2, pp. 83-90.
6. Cryan J. F., Dinan T. G. Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behaviour. *Nature Reviews Neuroscience*, 2012, vol. 13 (10), pp. 701-712.
7. Ponomareva E. N., Sorokina M. N., Grigoriev V. A., Mazanko M., Chistyakov V. A., Rudoy D. V. Probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* B-1895 improved growth of juvenile. *Food Science of Animal Resources*, 2024, vol. 44, no. 4, pp. 805-816.
8. Kon'kova A. V., Faizulina D. R., Shirina Iu. M., Bogatov I. A. Vliianie kormovoi probioticheskoi dobavki «Vetospirin-zh» (*Bacillus subtilis*) i mineral'noi dobavki «Tseolit» (opoka) na proiavlenie genotoksicheskikh effektov v kletkakh krovi molodi sterliadi (*Acipenser ruthenus*) v usloviakh akvakul'tury [The effect of the probiotic feed 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*) in aquaculture]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2024, no. 2, pp. 90-100.
9. Hao Q., Olsen R. E., Ringø E., Ding Q., Teame T., Yao Y., Ran C., Yang Y., Zhang Z., Zhou Z. Dietary Solid-state-fermentation product of *Bacillus velezensis* T23 alleviate hepatic steatosis, oxidative stress, gut barrier damage, and microbiota dysbiosis in juvenile genetically improved farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 2025, vol. 40, p. 102523.
10. Khalid F., Khalid A., Fu Y., Hu Q., Zheng Y., Khan S., Wang Z. Potential of *Bacillus velezensis* as a probiotic in animal feed: a review. *J. Microbiol. Jul.*, 2021, vol. 59 (7), pp. 627-633.
11. Shadrack R. S., Manabu I., Yokoyama S. Efficacy of single and mix probiotic bacteria strain on growth indices, physiological condition and bio-chemical composition of juvenile amberjack (*Seriola dumerili*). *Aquaculture Reports*, 2021, vol. 20, p. 100753.
12. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. Kormlenie ryb v presnovodnoi akvakul'ture [Fish feeding in freshwater aquaculture]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2006. 360 p.
13. Nikonorov S. I., Vitvitskaia L. V. *Ekologo-geneticheskie problemy iskusstvennogo vosproizvodstva osetrovyykh i lososevyykh ryb* [Ecological and genetic problems of artificial reproduction of sturgeon and salmonids]. Moscow, Nauka Publ., 1993. 254 p.
14. Luk'ianenko V. I., Kasimov R. Iu., Kokoza A. A. *Vozrastno-vesovoi standart zavodskoi molodi kaspiiskikh osetrovyykh: eksperimental'noe obosnovanie* [Age and weight standard of the factory juvenile Caspian sturgeon: experimental substantiation]. Volgograd, Izd-vo IBVV AN SSSR, 1984. 229 p.
15. GOST ISO 5983-2-2016. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. *Opreделение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Част' 2. Метод с использованием блока озонирования и перегонки с водяным паром* [ISS ISO 5983-2-2016. Feed, mixed feed, feed raw materials. Determination of the mass fraction of nitrogen and calculation of the mass fraction of crude protein. Part 2. Method using an ozonation and steam distillation unit]. Available at: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=6260226> (accessed: 27.10.2024).
16. GOST 13496.15-2016. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. *Методы определения массовой доли сырого жира* [ISS 13496.15-2016. Feed, mixed feed, feed raw materials. Methods for determining the mass fraction of crude fat]. Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/63036/?ysclid=m2tcwol2oo58523756> (accessed: 27.10.2024).
17. GOST 26226-95. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. *Методы определения сырой золь* [ISS 26226-95. Feed, mixed feed, feed raw materials. Methods for the determination of crude ash]. Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/9294/?ysclid=m2tc97robk330738365> (accessed: 27.10.2024).
18. GOST 32045-2012. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. *Методы определения содержания золь, не растворимой в соляной кислоте* [ISS 32045-2012. Feed, mixed feed, feed raw materials. Methods for determining the content of ash insoluble in hydrochloric acid]. Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55206/?ysclid=m2tccpfj7n351219435> (accessed: 27.10.2024).
19. Li J., Wu J., Wang J., Wang X. Phenotypic variations induced emergence of orientation order and morphology in *Bacillus subtilis* biofilm growth. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 2023, vol. 686, p. 149198.
20. Li X., Kong R., Wang J., Wu J., He K., Wang X. The formation mechanism of *Bacillus subtilis* biofilm surface morphology under competitive environment. *Can. J. Microbiol.*, 2023, vol. 69 (7), pp. 251-261.
21. Wang X., Kong Y., Zhao H., Yan X. Dependence of the *Bacillus subtilis* biofilm expansion rate on phenotypes and the morphology under different growing conditions. *Dev. Growth. Differ.*, 2019, vol. 61 (7-8), pp. 431-443.
22. Wang J., Li X., Kong R., Wu J., Wang X. Fractal morphology facilitates *Bacillus subtilis* biofilm growth. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2022, vol. 29 (37), pp. 56168-56177.
23. Rawls J. F., Mahowald M. A., Ley R. E., Gordon J. I. Reciprocal gut microbiota transplants from zebrafish and mice to germ-free recipients reveal host habitat selection. *Cell*, 2006, vol. 127, no. 2, pp. 423-433.
24. Khokhrin S. N., Volkova I. I. Ispol'zovanie probiotika Klostat v ratsionakh ptitsy i vliianie ego na sokhrannost' i produktivnost' kur-nesushek [The use of probiotic Klostat in poultry diets and its effect on the safety and productivity of laying hens]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 32, pp. 78-85.
25. Proskurina L. I., Podvinskaia E. A. Primenenie probiotika Klostat v ratsione porosiat [The use of probiotic Klostat in the diet of piglets]. *Vestnik Innovatsionnogo Evraziiskogo universiteta*, 2018, no. 2 (70), pp. 50-54.
26. Kapitonova E. A., Mekhova O. S. Primenenie probiotika «KloSTAT TM sukhoi» v broilernom pitsevodstve [The use of probiotic «KloSTAT TM dry» in broiler poultry farming]. *Uchenye zapiski uchrezhdeniia obrazovaniia «Vitebskaia ordena «Znak pocheta» gosudarstvennaia akademiia veterinarnoi meditsiny»*, 2015, vol. 51, iss. 1 (1), pp. 208-212.
27. Khokhrin S. N., Pristach L. N., Volkova I. I. Vliianie

probiotika Klostat v chistom vide i v sochetanii s Salmonilom na kachestvo iaits kur [The effect of probiotic Klostat in its pure form and in combination with Salmonil on the quality of chicken eggs]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no. 38, pp. 54-59.

28. Savrasova N. P., Semenova E. V., Mikhailov E. V., Marmurova M. A. Vliianie probiotika «Batsell-M» na khimicheskii sostav myshechnoi i kostnoi tkani karpa obyknovennogo *Cyprinus carpio* [The effect of the probiotic "Bacell-M" on the chemical composition of muscle and bone tissue of the common carp *Cyprinus carpio*]. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhoziaistvennoi produktsii*, 2024, no. 3 (26), pp. 18-25.

29. Guo M., Meng L., Li F., Liu Y., Zhang Z., Zhang Q., Kong W. Effects of dietary *Bacillus pumilus* on the growth, intestinal health, lipid metabolism, and mTOR signaling pathway of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Water Biology and Security*, 2025, vol. 4, iss. 1, p. 100313.

30. Ji Zh., Lu X., Xue M., Fan Y., Tian J., Dong L., Zhu Ch., Wen H., Jiang M. The probiotic effects of host-associated *Bacillus velezensis* in diets for hybrid yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* ♀ × *Pelteobagrus vachelli* ♂). *Animal Nutrition*, 2023, vol. 15, pp. 114-125.

31. Sorokina M. N., Kovaleva A. V., Ponomareva E. N. Rezul'taty adaptatsii molodi sudaka *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) k vyrashchivaniyu v industrial'nykh usloviyakh [The results of adaptation of juvenile walleye *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) to cultivation in industrial conditions]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2009, no. 2, pp. 95-101.

32. Dang Y., Sun Y., Zhou Y., Men X., Wang B., Li B., Ren Y. Effects of probiotics on growth, the toll-like receptor

mediated immune response and susceptibility to *Aeromonas salmonicida* infection in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 2022, vol. 561, p. 738668.

33. Li F., Xie Y., Guo M., Liu Y., Tong T., Zhang Q., Kong W. Effects of dietary *Bacillus cereus* supplementation on the growth performance, serum physiology and biochemistry, Nrf2, TLR/NF-κB signaling pathways, and intestinal health of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture Reports*, 2024, vol. 36, p. 102177.

34. Kültz D. Physiological mechanisms used by fish to cope with salinity stress. *The Journal of experimental biology*, 2015, vol. 218 (12), pp. 1907-1914.

35. Fang H., Yang Y. Y., Wu X. M., Zheng S. Y., Song Y. J., Zhang J., Chang M. X. Effects and Molecular Regulation Mechanisms of Salinity Stress on the Health and Disease Resistance of Grass Carp. *Front. Immunol.*, 2022, vol. 13, p. 917497.

36. Escobar-Sierra C., Cañedo-Argüelles M., Vinyoles D., Lampert K. P. Unravelling the molecular mechanisms of fish salinity adaptation in the face of multiple stressors: A comparative multi-tissue transcriptomic study in the Llobregat River, Barcelona, Spain. *bioRxiv*, 2023, vol. 11, p. 49.

37. Evans T. G., Kültz D. The cellular stress response in fish exposed to salinity fluctuations. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 2020, vol. 333 (6), pp. 421-435.

38. Elbahnaswy S., Elshopakey G. E., Abdelwarith A. A., Younis E. M., Davies S. J., El-Son M. A. Immune protective, stress indicators, antioxidant, histopathological status, and heat shock protein gene expression impacts of dietary *Bacillus* spp. against heat shock in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *BMC Veterinary Research*, 2024, vol. 20 (1), p. 469.

Статья поступила в редакцию 11.02.2025; одобрена после рецензирования 25.04.2025; принята к публикации 05.06.2025
The article was submitted 11.02.2025; approved after reviewing 25.04.2025; accepted for publication 05.06.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Николаевна Пonomareva – доктор биологических наук, профессор; заведующий отделом водных биологических ресурсов бассейнов южных морей; Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук; научный руководитель научно-исследовательской лаборатории биотехнологии сохранения и воспроизводства ценных видов рыб Центра научно-инновационного развития; Астраханский государственный технический университет; kafavb@mail.ru

Марина Николаевна Сорокина – кандидат биологических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории водных биоресурсов и аквакультуры; Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук; доцент кафедры аквакультуры и водных биоресурсов; Астраханский государственный технический университет; kafavb@mail.ru

Elena N. Ponomareva – Doctor of Biological Sciences, Professor; Head of the Department of Aquatic Biological Resources of South Sea Basins; Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences; Head of the Research Laboratory of Biotechnology for the Preservation and Reproduction of Valuable Fish Species of the Center for Scientific and Innovative Development; Astrakhan State Technical University; kafavb@mail.ru

Marina N. Sorokina – Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Leading Researcher of the Laboratory of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences; Assistant Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources; Astrakhan State Technical University; kafavb@mail.ru

Вадим Алексеевич Григорьев – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории водных биоресурсов и аквакультуры; Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук; научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории биотехнологии сохранения и воспроизводства ценных видов рыб центра научно-инновационного развития; Астраханский государственный технический университет; kafavb@mail.ru

Мария Сергеевна Мазанко – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр агrobiотехнологии»; Донской государственный технический университет; mary.bio@list.ru

Дмитрий Владимирович Рудой – доктор технических наук, доцент; декан агропромышленного факультета; Донской государственный технический университет; rudoy.d@gs.donstu.ru

Vadim A. Grigoriev – Candidate of Biological Sciences; Leading Researcher of the Laboratory of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences; Researcher of the Research Laboratory of Biotechnology for the Preservation and Reproduction of Valuable Fish Species of the Center for Scientific and Innovative Development; Astrakhan State Technical University; kafavb@mail.ru

Maria S. Mazanko – Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher of Research Laboratory “Center for Agrobiotechnology”; Don State Technical University; mary.bio@list.ru

Dmitriy V. Rudoy – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Dean Agribusiness Faculty; Don State Technical University; rudoy.d@gs.donstu.ru

