

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ АНТИОКСИДАНТНОГО И ФЕРМЕНТАТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ШТАММА *BACILLUS SUBTILIS* НА РОСТ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЫБ

^{1,2}Е.Н. Пономарева, ¹М.Н. Сорокина, ¹В.А. Григорьев, ^{2,3}М.С. Мазанко, ^{2,3}В.А. Чистяков

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия

³ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: kafavb@mail.ru

Для цитирования: Оценка действия пробиотических препаратов антиоксидантного и ферментативного действия на основе штамма *Bacillus subtilis* на рост и физиологическое состояние рыб / Е.Н. Пономарева, М.Н. Сорокина, В.А. Григорьев, М.С. Мазанко, В.А. Чистяков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 250–264. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-250-264.

Ключевые слова: осетровые рыбы, стерлядь, комбикорм для рыб, пробиотики, поведение рыб, терморезистентность, солеустойчивость, физиолого-биохимические показатели крови.

Реферат. Проведенные эксперименты показали, что рыба, выращенная с использованием кормов, содержащих пробиотики с различными механизмами действия — ферментативными и антиоксидантными, показала приросты, коэффициент упитанности, превышающие контрольные значения более чем на 7 % и 5–13 % соответственно при снижении кормовых затрат 6,7 %. Анализ распределения массы среди исследуемых групп рыб выявил, что в экспериментах процент особей с более высокой массой тела оказался выше на 9,65 и 14,75 %, составив 58,16 и 63,26 % соответственно. В тесте «открытое поле» у молоди стерляди из 2-й опытной группы была зафиксирована ориентировочная активность, которая оказалась ниже, чем в первой опытной и контрольной группах, на 3,79 и 1,61 % соответственно, составив 34,8 ед/мин. Однако фоновая двигательная активность в этой группе была наивысшей — 36,78 ед./мин. В 1-й опытной и контрольной группах, напротив, наблюдалось снижение данного показателя. Установлено, что у особей опытных групп наблюдается усиление реакции на первичный раздражитель (вибракустический стимул), за которым следует резкое снижение активности при воздействии второго раздражителя. Это указывает на проявление защитной реакции (затаивания), характерной для осетровых рыб. В контрольной группе реакция на первичный раздражитель также увеличивается, но в меньшей степени, и затем остается практически неизменной. После воздействия третьего раздражителя у особей контрольной группы активность не возвращается к исходному уровню, превышая его на 13,35 %. В то же время у особей опытных групп активность приближается к фоновому уровню. Отношение ориентировочной активности к фоновой активности (уровень активации) у рыб второй экспериментальной группы оказался на 13,9 % ниже, чем у первой опытной и контрольной групп. Это указывает на то, что рыбы из первой экспериментальной и контрольной групп проявляют более высокую активность при попадании в новую среду. В то же время особи из второй экспериментальной группы демонстрируют более сдержанное двигательное поведение. Показатели реактивности у экспериментальных групп при воздействии низкочастотного звука на 1,46–10,54 % выше, при кратковременном световом раздражителе и постоянном воздействии света ниже на 12,09–27,47 % и на 9,72–14,88 % во второй и первой группах соответственно по сравнению с контрольной группой. Рыбы, получавшие корма с экспериментальными пробиотическими добавками, продемонстрировали повышенную устойчивость к высокой температуре и солености. Наивысшую терморезистентность и солеустойчивость показали рыбы из первой опытной группы. Пробиотические препараты направленного действия стимулируют рост и стабилизируют физиологическое состояние рыб в экстремальных условиях.

EVALUATION OF THE EFFECT OF PROBIOTIC PREPARATIONS WITH ANTIOXIDANT AND ENZYMATIC ACTION BASED ON THE BACILLUS SUBTILIS STRAIN ON THE GROWTH AND PHYSIOLOGICAL STATE OF FISH

^{1,2}E.N. Ponomareva, ¹M.N. Sorokina, ¹V.A. Grigoriev, ^{2,3}M.S. Mazanko, ^{2,3}V.A. Chistyakov¹Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (SSC RAS), Rostov-on-Don, Russia²Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia³Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: kafavb@mail.ru

Keywords: Keywords: sturgeon fish, sterlet, fish feed, probiotics, fish behavior, thermoresistance, salt resistance, physiological and biochemical parameters of blood.

Abstract. The conducted experiments showed that fish grown using feed containing probiotics with different mechanisms of action — enzymatic and antioxidant — showed gains and fatness coefficient exceeding the control values by more than 7 % and 5–13 %, respectively, with a decrease in feed costs of 6.7 %. Analysis of weight distribution among the studied fish groups revealed that in the experiments the percentage of individuals with higher body weight was higher by 9.65 and 14.75 %, amounting to 58.16 and 63.26 %, respectively. In the open field test, the juvenile sterlet from the 2nd experimental group recorded orientation activity, which was lower than in the 1st experimental and control groups by 3.79 % and 1.61 %, respectively, amounting to 34.8 units/min. However, the background motor activity in this group was the highest — 36.78 units/min. In the 1st experimental and control groups, on the contrary, a decrease in this indicator was observed. It was found that in individuals of the experimental groups, an increase in the reaction to the primary stimulus (vibroacoustic stimulus) was observed, followed by a sharp decrease in activity when exposed to the second stimulus. This indicates the manifestation of a defensive reaction (freezing), characteristic of sturgeon fish. In the control group, the reaction to the primary stimulus also increases, but to a lesser extent, and then remains almost unchanged. After exposure to the third stimulus, the activity of individuals of the control group does not return to the original level, exceeding it by 13.35 %. At the same time, in individuals of the experimental groups, the activity approaches the background level. The ratio of orienting activity to background activity (activation level) in fish of the second experimental group was 13.9% lower than in the first experimental and control groups. This indicates that fish from the first experimental and control groups exhibit higher activity when entering a new environment. At the same time, individuals from the second experimental group demonstrate more restrained motor behavior. The reactivity indices in the experimental groups under the influence of low-frequency sound are 1.46–10.54 % higher, under short-term light stimulus and constant light exposure they are lower by 12.09–27.47 % and by 9.72–14.88 % in the 2nd and 1st groups, respectively, compared to the control group. Fish fed with feeds with experimental probiotic additives demonstrated increased resistance to high temperature and salinity. The highest heat resistance and salt tolerance were shown by fish from the first experimental group. Probiotic preparations with targeted action stimulate growth and stabilize the physiological state of fish in extreme conditions.

В последние годы в мире идет интенсивный рост аквакультуры, в докладе ФАО «Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2024» отмечено, что в аквакультуре впервые было произведено больше продукции, чем в промышленном мировом рыболовстве. В 2022 г. в мире было произведено 223,2 млн т продукции рыболовства и аквакультуры, продукция мировой аквакультуры достигла 130,9 млн т, продукция мирового рыболовства составила 92,3 млн т [1]. По данным ФАО, объем производства продукции аквакультуры по итогам 2023 г. был на 2,8 % больше показателя 2022 г. [2].

В России планируется почти вдвое нарастить производство аквакультурной продукции. Как следует из Стратегии развития агропромышлен-

ного и рыбохозяйственного комплексов, объемы производства товарной аквакультуры, включая посадочный материал, к 2030 г. должны достичь 618 тыс. т. В 2023 г. произведено 402 тыс. т. (7,5 % от доли рыболовства) [3].

Для развития эффективной и устойчивой аквакультуры нужны новые технологии и процессы. Основным современным трендом является разведение рыбы в рециркуляционных системах (УЗВ), где на основе точных данных ускоряется процесс разведения, что способствуют развитию контролируемой среды обитания рыб и принятию решений на основе полученных данных. Решения в области сбалансированного кормления дополняют основные тенденции в аквакультуре и

регулируют процесс кормления, делая его более эффективным [4].

Интенсификация и индустриальное выращивание часто приводит к ухудшению экологических условий для гидробионтов, вызывает увеличение уровня органического загрязнения, рост условно-патогенных микроорганизмов в водной среде и вызывает проблемы со здоровьем [5].

Использование антибиотиков в кормах приводит к тому, что у гидробионтов появляются антибиотико-устойчивые патогенные бактерии. Альтернативой этому являются в настоящее время разрабатываемые пробиотики для аквакультуры. Одним из методов поддержания и восстановления стабильного физиологического состояния организма рыб, повышения их резистентности является введение в корма пробиотических препаратов [6].

Пробиотики, живые микроорганизмы при поступлении в организм в достаточном количестве приносят пользу здоровью хозяина и поддерживают микробный баланс в кишечнике [7, 8].

Современные корма для аквакультуры достаточно сбалансированы и отвечают всем требованиям на определенном этапе онтогенеза организма рыб. В последние годы интенсивно стали использовать пробиотики в кормах для объектов аквакультуры. Создание новых эффективных пробиотиков, пребиотиков, метабиотиков, фитобиотиков является перспективным направлением обеспечения кормовыми добавками предприятий аквакультуры для повышения продуктивности или лечения разводимых гидробионтов [9].

Последние исследования по разработке новых пробиотических добавок показали, что, используя менее энергоемкие технологические решения, можно получить препараты с высокими титрами пробиотических микроорганизмов. Использование роста микроорганизмов в биопленках – ключевой биотехнологический прием, определяющий возможность отказа от энергоемких и материалоемких элементов технологии, перехода к использованию доступного и дешевого сырья, а также достижения высоких экономических показателей при небольших масштабах производства и высокой технологической гибкости. Первые исследования действия новых пробиотических добавок, выращенных на биопленках, были проведены на радужной форели и показали хорошие результаты. У молоди форели, получавшей корма с пробиотиками, отмечено увеличение роста, выживаемости и массы тела. Использование пробиотика обеспечило нормаль-

ное физиологическое состояние рыбы [10]. Актуальны исследования действия пробиотиков на других объектах аквакультуры.

В данной работе впервые в отечественной практике для создания пробиотических препаратов для аквакультуры целевые штаммы отобраны не только по антагонизму к патогенам, но по способности продуцировать литические ферменты и вторичные метаболиты с антиоксидантной активностью. Таким образом, закладываются фундаментальные основы для создания пробиотиков направленного действия, рассчитанных не только на подавление патогенов, но и на управление адаптационными системами хозяина. Комбинируя препараты различной направленности, можно будет получать полифункциональные продукты, оказывающие системный адаптогенный и стимулирующий эффект [11].

Целью исследования являлось изучение действия пробиотических препаратов антиоксидантного и ферментативного действия на основе штамма *Bacillus subtilis* на рост, поведение и физиологическое состояние молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования была молодь стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) средней начальной массой 5,21–5,65 г, длиной 10,51–11,2 см. Рыб содержали в бассейнах диаметром 1,5 м, глубиной 0,7 м установки замкнутого водоснабжения аквариального комплекса береговой научно-экспедиционной базы «Кагальник» Южного научного центра Российской академии наук (с. Кагальник Ростовской области). В каждый бассейн было посажено по 173 экз. молоди стерляди. В период проведения эксперимента поддерживался оптимальный гидрохимический режим в бассейнах, где выращивались объекты. Температура воды колебалась в пределах 21,5–22,5 °С, pH 7,3–7,5, кислород 7–7,5 мг/л.

Рыбы были разделены на три группы: 1-я опытная (для кормления рыб применяли комбикорм с добавлением пробиотика ферментативного действия), 2-я опытная (для кормления рыб применяли комбикорм с добавлением пробиотика антиоксидантного действия), контрольная (в рационе рыб этой группы использовали комбикорм с промышленным пробиотиком).

Корм для группы «Опыт 1» содержал мультиштаммовый препарат на основе штаммов *Bacillus* sp. MT14 и *Bacillus* sp. MT42, обладающих

высокой экзоферментативной активностью (протеолитической и амилалитической), конечное содержание бактерий в корме – $4,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Корм для группы «Опыт 2» содержал мультиштаммовый препарат на основе штаммов *Bacillus* sp. МТ74 и *Bacillus* sp. МТ48, обладающих высокой антиоксидантной активностью, конечное содержание бактерий в корме – $4,0 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Контрольный корм содержал промышленный пробиотик на основе *Bacillus*, конечное содержание бактерий в корме – $1,0 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

В корм опытным и контрольной (на основе *Bacillus*) группам добавляли 0,1 % пробиотического препарата с высокоэффективными штаммами *Bacillus subtilis*.

Корм с содержанием протеина 54 % и жира 12 % был произведен на лабораторной установке. Количество корма рассчитывали с помощью нормативных методов, принимая во внимание среднюю массу тела рыб, норма кормления в среднем составила 3 %. Контроль за ростом осуществляли раз в 10 дней, взвешивая рыбу индивидуально с последующим расчетом среднесуточного прироста. Условия содержания были одинаковыми для всех экспериментальных групп. Все рыбы выращивались в течение 64 дней. Рост рыб оценивали по показателям прироста, коэффициентам массонакопления и упитанности по Фультону [12]. Выживаемость рассчитывали по данным учета погибшей молоди при ежедневной чистке бассейнов.

Затраты кормов на единицу прироста рассчитывали по формуле:

$$Зк = Ск / (Мк - Мн), \quad (1)$$

где $Зк$ – затраты корма; $Ск$ – количество корма, затраченного на выращивание за период эксперимента, г; $Мн$ и $Мк$ – масса рыбы в начале и конце эксперимента, г.

Для оценки поведенческих реакций рыб применяли метод «открытое поле» [13]. Рыбы по одной помещались в экспериментальную установку с координатной сеткой на дне (размер ячеей 10×10 см, слой воды – 20 см). Двигательную активность определяли по среднему количеству пересечений рыбой линий сетки. В исследовании участвовало по 10 особей из каждой группы. Адаптация молоди к новой среде занимает не более 3 мин (ориентировочная активность $ОА$, ед./мин), после чего двигательная активность стабилизируется. Поэтому среднее количество пересечений координатных линий за период с четвертой по седьмую минуту опыта рассматривалось как фоновая двигательная активность

($ФА$, ед./мин). Через 7 мин после начала эксперимента воздействовали виброакустическим раздражителем, имитирующим низкочастотный звук (удар по стенке емкости) с частотой 20–150 Гц, воспринимаемый боковой линией рыб. Количество пересечений линий сетки оценивалось как $РА1$ (ед./мин). На девятой минуте над установкой включали свет мощностью 250–300 люкс, фиксируя реакцию рыб на кратковременный световой раздражитель ($Р2$, ед./мин). Освещенность измерялась люксметром. Этот раздражитель воздействует на зрительные доли головного мозга. Через 10 мин от начала эксперимента осуществляли воздействие постоянным светом ($Р3$, ед./мин).

Показатели активации двигательной активности и реактивность на раздражители рассчитывали по формулам (2) и (3) соответственно:

$$ПА \% = ОА / ФА \times 100 \%, \quad (2)$$

где $ПА$ % – показатель активации; $ОА$ – ориентировочная двигательная активность, ед./мин; $ФА$ – фоновая двигательная активность, ед./мин.

$$ПР \% = РА / ФА \times 100 \%, \quad (3)$$

где $ПР$ % – показатель реактивности; $РА$ – реактивность, ед./мин; $ФА$ – фоновая двигательная активность, (ед./мин).

Для определения жизнестойкости молоди применяли метод функциональных нагрузок [14], тестируя по показателям терморезистентности (32°C) и солеустойчивости (12 %). Опыты по тестированию молоди проводили в пластиковых емкостях объемом 20 л при аэрации воды с помощью компрессоров. В каждую емкость было посажено 14 шт. молоди. Продолжительность опытов – 36 ч.

При определении терморезистентности емкости наполняли водой и помещали в них молодь для адаптации заранее, далее включали нагреватели и нагревали воду до 32°C , поддерживая ее на заданном уровне. Колебания температуры не превышали $+0,1^\circ\text{C}$. Время выживания отмечали с момента нагрева воды до 32°C . При определении солеустойчивости раствор с заданной соленостью готовили заранее, затем помещали молодь в емкости. Содержание кислорода не падало ниже 7 мг/л. Гибель молоди определяли по остановке движения жаберных крышек.

Оценка физиологических показателей осуществлялась на основе гематологических показателей. Биологический материал (цельная кровь) был получен из хвостовой вены прижизненно. Каждая проба формировалась из крови трех особей. Уровень гемоглобина определялся унифицированным фотометрическим методом

цианметгемоглобина с использованием аппарата «МиниГЕМ–540». Концентрацию β -липопротеидов измеряли по методу Бурштейна, гемоглобин – на гемометре ГФ-3, а скорость оседания эритроцитов (СОЭ) – по методу Т.П. Панченкова [15]. Содержание сывороточного белка определялось биуретовым методом с применением набора реактивов «Ольвекс диагностикум», глюкозы энзиматическим колориметрическим методом с использованием набора реагентов «Глюкоза – ольвекс».

Полученные данные были подвергнуты статистической обработке на предмет достоверности различий (при $p < 0,05$). При нормальном распределении данных использовался параметрический критерий Стьюдента, при ненормальном – непараметрический критерий Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные эксперименты по выращиванию молоди стерляди на кормах, в состав которых входили пробиотики разного направления действия ферментативный и антиоксидантный, выявили их эффективность. Все значения параметров роста и использования корма, а также выживаемости показаны в табл. 1. В целом введение испытываемых пробиотиков улучшает показатели роста стерляди. Рыба, выращенная с их использованием, продемонстрировала абсолютный и относительный приросты на 7,77–8,09 % и 8,33 % выше контроля соответственно. Коэффициент упитанности рыб в опытных группах был выше на 5–13 %. Выживаемость рыб во всех группах была высокой: 96–99 %. Применение пробиотиков улучшило использования корма молодью стерляди в опытных группах, получавших корм с пробиотиками, по сравнению с контрольной группой. Кормовые затраты были ниже в опытных группах на 6,7 %.

Таблица 1

Показатели роста и выживаемости стерляди
Growth and survival rates of sterlet

Показатель	Группа		
	1-я опытная	2-я опытная	Контрольная
Масса начальная, г	5,4±0,11	5,21±0,10	5,65±0,33
Масса конечная, г	22,18±0,78	22,04±0,71	21,22±0,81
Абсолютный прирост, г	16,78	16,83	15,57
Среднесуточный прирост,	0,26	0,26	0,24
Среднесуточная скорость роста, %	2,2	2,3	2,1
Коэф. массонакопления, ед.	0,05	0,05	0,05
Коэф. упитанности	0,40±0,01	0,43±0,03	0,38±0,02
Кормовые затраты, ед.	1,4	1,4	1,5
Выживаемость, %	99,42	96,53	96,53

Примечание. $M \pm m$, M – среднее арифметическое; m – ошибка среднего арифметического.

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии изучаемых штаммов микроорганизмов на рыбоводно-биологические показатели. Возможно, длительное использование пробиотиков привело бы к более заметным различиям между исследуемыми группами.

Анализ массы стерляди показал, что молодь контрольной группы имела вес в диапазоне от 2 до 40,54 г, в первой опытной группе – от 4,6 до 44,75 г, а во второй опытной группе – от 4,29 до 36,72 г (рис. 1). Были исследованы наиболее круп-

ные особи в контрольной и экспериментальных группах. Процент молоди с массой более 20 г в первой и второй опытных группах превысил контрольные показатели на 9,65 и 14,75 %, составив 58,16 и 63,26 % соответственно (рис. 2).

В тесте «Открытое поле» у молоди стерляди из 2-й опытной группы было зафиксировано, что ориентировочная активность оказалась ниже, чем в 1-й опытной и контрольной группах, на 3,79 и 1,61 % соответственно, составив 34,8 ед./мин (см. рис. 2). Рыбы из 2-й группы продемонстриро-

вали наивысшие показатели фоновой двигательной активности — 36,78 ед./мин. В 1-й опытной и контрольной группах наоборот произошло

снижение данного показателя на 7,85 и 7,89 % в сравнении с ориентировочной активностью до 33,33 и 32,56 ед./мин соответственно.

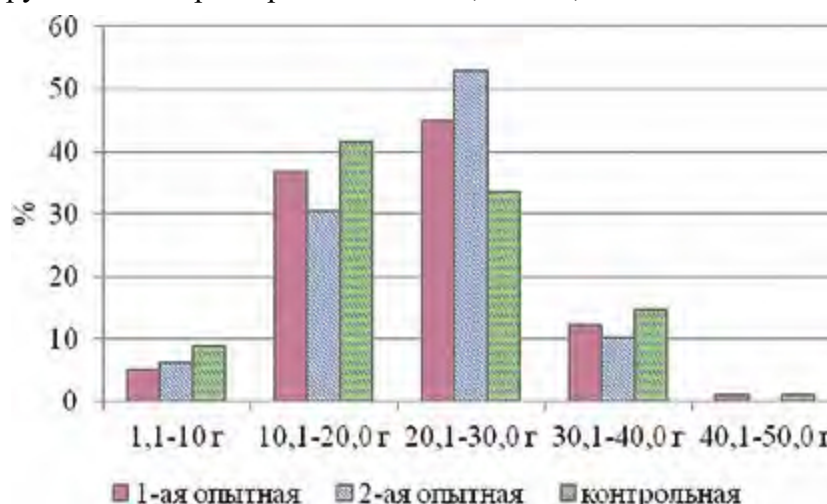


Рис. 1. Распределение молоди стерляди по массе тела в конце эксперимента
Distribution of juvenile sterlet by body weight at the end of the experiment

При воздействии низкочастотного раздражителя двигательная активность увеличилась по сравнению с фоновым уровнем во всех группах, однако реакция на неспецифический виброакустический раздражитель была наиболее выраженной (на 25,55 %) в группе «Опыт 2». В сравнении с первой опытной и контрольной группами реакция на этот раздражитель оказалась выше в 1,2 раза. Реакция на кратковременный световой раздражитель в опытных группах была менее интенсивной по сравнению с первым

воздействием. Активность молоди снизилась на 23,48–30,22 %, что свидетельствует о том, что рыба реагирует затаиванием, в то время как в контрольной группе снижение активности было менее значительным – всего на 7,2 %. На длительное воздействие светом особи из группы «Опыт» показали увеличение активности на 2,83–13,13 %. В контрольной группе двигательная активность при этом раздражителе практически не изменилась и составила 37,6 ед./мин.

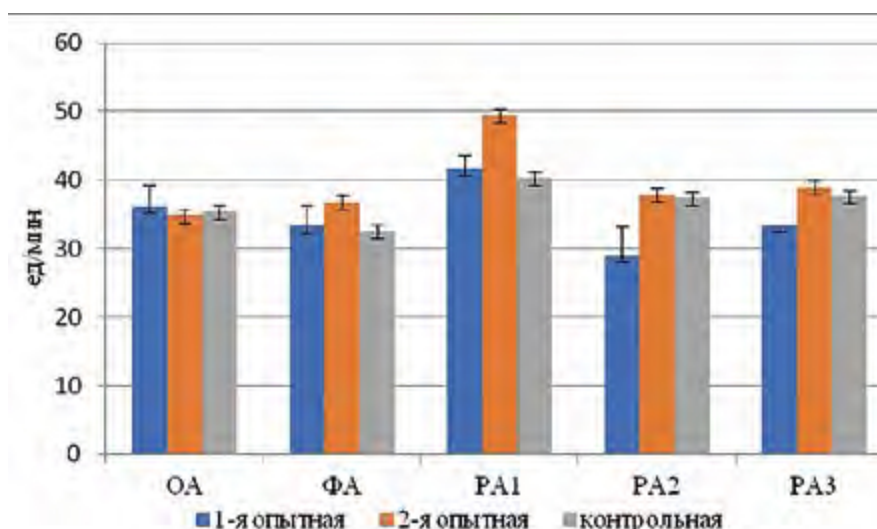


Рис. 2. Изменение поведенческих реакций молоди стерляди в тесте «Открытое поле»
Changes in behavioral responses of juvenile sterlet in the open field test

Примечание. ОА – ориентировочная активность; ФА – фоновая активность; РА1 – реактивность на низкочастотный раздражитель; РА2 – реактивность на кратковременный световой раздражитель; РА3 – реактивность на постоянный световой раздражитель.

В ходе эксперимента было установлено, что у особей опытных групп наблюдается усиление реакции на первичный раздражитель (виброакустический стимул), сопровождающееся последующим резким снижением активности при воздействии второго раздражителя. Это свидетельствует о проявлении защитной реакции (затаивания), свойственной представителям осетровых рыб. В контрольной группе реакция на первичный раздражитель также возрастает, но менее значительно, и в дальнейшем остается практически неизменной. После воздействия третьего раздражителя у особей контрольной группы активность не возвращается к исходному уровню, превышая его на 13,35 %. В то же время у особей опытных групп активность приближается к фоновому уровню.

Дальнейший анализ полученных абсолютных характеристик показал, что отношение ориентировочной активности к фоновой активности (уровень активации) у рыб второй экспериментальной группы оказался на 13,9 % ниже, чем у первой опытной и

контрольной групп (табл. 2). Это связано с тем, что рыбы из первой экспериментальной и контрольной групп проявили более высокую активность при попадании в новую среду. В то же время представители второй опытной группы сначала демонстрировали более сдержанное двигательное поведение, а затем увеличили свою активность, что указывает на их большую реактивность.

Исследование выявило, что при воздействии низкочастотным звуком показатель реактивности у экспериментальных групп был выше на 1,46–10,54 % по сравнению с контролем. В то же время воздействие первичными световыми стимулами сопровождалось снижением этого показателя по сравнению с контрольной группой на 10,53–23,92 %, а вторичными – на 9,72–14,88 % во 2-й и 1-й группах соответственно. Данные результаты свидетельствуют о стабилизации состояния молоди и ее возвращении к базовому (фоновому) уровню двигательной активности.

Таблица 2

Относительные показатели двигательной активности молоди стерляди

Показатель	Группа		
	1-я опытная	2-я опытная	Контрольная
Активация, %	108,52	94,62	108,60
Реактивность после воздействия низкочастотным звуком, %	125,23	134,31	123,77
Реактивность после воздействия кратковременной вспышкой света, %	87,39	102,77	114,86
Реактивность после воздействия постоянным светом, %	100,6	105,76	115,48

Рыба, будучи пойкилотермным холоднокровным животным, особенно чувствительна к температуре воды, которая является одним из ключевых абиотических факторов, влияющих на рост, метаболизм, иммунитет и выживаемость. Каждый вид рыб имеет свой оптимальный температурный диапазон, в котором они демонстрируют наилучшие показатели роста и продуктивности. Температура, превышающая физиологические пределы для конкретного вида, вызывает стрессовую реакцию, что может негативно сказаться на иммунной функции рыб. Негативные последствия субоптимальной температуры привлекли внимание исследователей, которые ищут эффективные методы защиты рыб, выращиваемых в условиях изменяющейся окружающей среды. Одной из стратегий, способной улучшить иммунитет рыб, является использование пробиотиков.

Принцип функциональных нагрузок дает возможность оценить, насколько молодь способна

выживать в условиях воздействия экстремальных физических и химических раздражителей. Это позволяет определить степень жизнестойкости, а точнее – физиологическую полноценность или сформированность молоди [14].

В ходе экспериментов по терморезистентности при повышении температуры воды с 22 до 30 °С, которое происходило в течение трех часов, отмечено увеличение двигательной активности молоди и усиление дыхания. В последующие три часа, при повышении температуры до 32 °С, эти реакции становятся более выраженными. Наблюдается постепенное нарушение координации движений, снижение двигательной активности и угнетение дыхания. В конечной стадии у погибающей молоди отмечается потеря равновесия, резкие конвульсивные движения и прерывистое дыхание.

Терморезистентность молоди 1-й опытной группы оказалась в среднем равна 16,57 ч, что выше

2-й опытной группы и контрольной в 1,4–1,6 раза (рис. 3).

При помещении молоди в солевой раствор наблюдалось незначительное повышения двигательной активности с последующей постепенной ее нормализацией. Первая гибель рыб отмечена

через 22–24 ч. При тестировании по отношению к солёности менее устойчивой была молодь стерляди в контроле: максимальный период выживания ее до момента гибели составил 23,64 ч, что достоверно ниже ($P \leq 0,01$) опытных групп на 7,0–10,8 % (см. рис. 3).

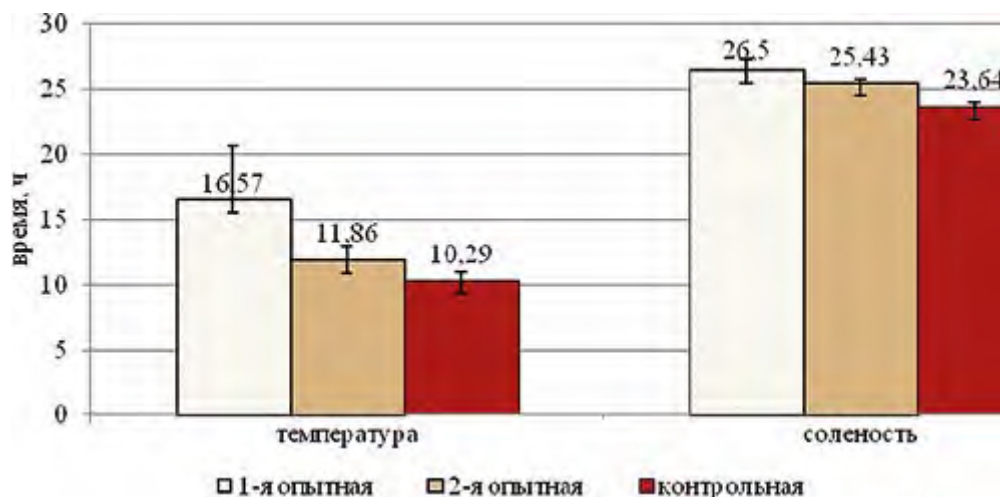


Рис. 3. Среднее время выживания молоди стерляди при температурном и солевом шоке
Average survival time of juvenile sterlet under temperature and salt shock

Для более полной характеристики уровня терморезистентности и солёности определяли не только время выживания, но и процент выживания молоди в течение эксперимента.

Гибель первых особей в 2-й опытной и контрольной группе была зафиксирована спустя 6 ч после начала тестирования на термоустойчивость (рис. 4). У рыб отмечали потерю рефлекса равновесия, резкие конвульсивные движения, прерывистое дыхание. Во второй опытной группе гибель

началась через 8 ч, при этом выживаемость на тот момент составила 85,7 %. Через 13 ч от начала выдерживания в контрольной группе погибло 100 % особей, во 2-й опытной группе молодь полностью погибла через 17 ч.

При этом необходимо отметить, что молодь 1-й опытной группы оказалась чрезвычайно выносливой и выживаемость ее составила 50 %, т. е. по истечении 1,5 сут рыбы оставались живы и активно двигались, адаптировавшись к температуре 32 °С.

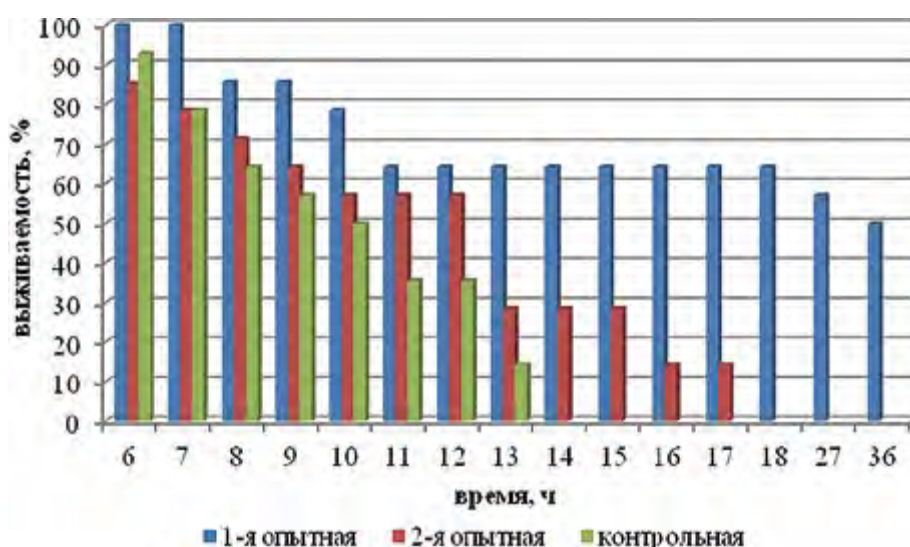


Рис. 4. Показатели терморезистентности молоди стерляди
Thermal resistance indices of young sterlet

Жизнестойкость молоди при экстремальной солевой нагрузке оказалась наиболее высокой в 1-й опытной группе (рис. 5). Несмотря на то, что гибель рыбы началась раньше на 2 ч по сравне-

нию со 2-й опытной группой, общая продолжительность жизни 7,1 % молоди при солёности была больше на 6 ч. В контрольной группе 100 % молоди погибло в течение 22–24 ч.

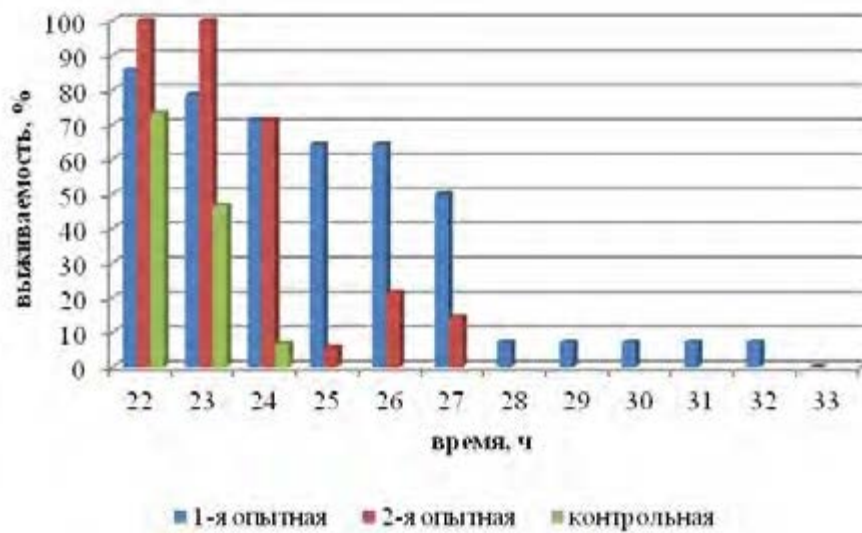


Рис. 5. Показатели солеустойчивости молоди стерляди
Salt tolerance indicators of young sterlet

В ходе оценки качества выращенной молоди было установлено, что рыбы, получавшие корма с экспериментальными пробиотическими добавками, проявляли большую устойчивость к повышенной температуре и солёности.

Предыдущие исследования продемонстрировали, что в условиях высоких температур и неблагоприятной окружающей среды пробиотики способны модулировать состав кишечной микрофлоры, увеличивать активность пищеварительных ферментов, производить антагонистические соединения против патогенных микроорганизмов, снижать уровень стресса [16–21].

Добавление пробиотиков в корм или воду для выращивания может оказать положительное влияние на хозяев, способствуя улучшению роста, иммунной функции и реакции на стресс за счет оптимизации микробиотического баланса [22–25]. Например, иммуностимулирующие пробиотики, такие как *Aspergillus oryzae*, снижали негативное воздействие солёности [26] и гипоксии [27] путем уменьшения уровня глюкозы в крови, кортизола, малонового диальдегида, аланинтрансаминазы и аспартаттрансаминазы, а также увеличения активности антиоксидантов, сывороточных белков, активности лизоцима и иммуноглобулина у нильской тиляпии. Пробиотики улучшили неспецифический иммунитет и устойчивость к тепловому стрессу у японской камбалы [28], а

также увеличили рост и устойчивость к стрессу у морского леща [29]. Кроме того, после применения пробиотиков у *O. niloticus* были обнаружены заметные улучшения в биохимии крови, иммунитете, росте и устойчивости к стрессу [30–31].

Анализ гематологических показателей позволяет оценить реакцию организма на определенные виды стрессовых воздействий и выявить патологические изменения, вызванные неблагоприятными факторами среды. Исследования установили статистически значимое ($P \leq 0,05$) снижение уровня гемоглобина у контрольной группы на 11,8–14,3 % по сравнению с экспериментальными группами. Более высокий уровень гемоглобина может способствовать усилению обмена веществ и повышению адаптационных возможностей к выживанию в неблагоприятных условиях [33, 34].

Следует отметить, что у молоди стерляди уровень гемоглобина оказался ниже физиологической нормы для осетровых рыб из естественных водоемов (50,0–80,0 г/л) [35]. При этом, как показали ранее проведенные исследования, выращивание осетровых в условиях замкнутых водных систем (УЗВ) сопровождается более низким уровнем гемоглобина по сравнению с естественной средой обитания и условиями тепловодного хозяйства. Также у молоди отмечается сниженная концентрация гемоглобина в крови (от 24 до 47 г/л) и об-

щего белка в сыворотке крови (от 8,0 до 20,0 г/л) по сравнению с рыбами более старшего возраста. С увеличением возраста и массы тела увеличивается содержание гемоглобина и сывороточных белков в крови, что обусловлено нормализацией обменных процессов в организме [36].

Средний уровень концентрации сывороточного белка у рыб в контрольной группе оказался выше, чем в опытных на 11,4–16,9 %. В контрольной группе этот показатель находился в пределах нижней границы нормы, составляя 20–25 г/л [37]. Как уже упоминалось, более низкое содержание белка в сыворотке крови может быть связано с возрастными особенностями стерляди. У рыб, получавших комбикорм с пробиотическими добавками, снижение уровня белка, вероятно, объясняется тем, что белок расходуется на более интенсивный рост. В ранее проведенном исследовании, посвященном влиянию пробиотика «Субтилис» на рыбоводно-биологические и гематологические показатели стерляди, также было отмечено снижение концентрации общего белка в сыворотке крови у младших возрастных групп рыб, что связано с увеличением их роста [38].

У стерляди опытных групп отмечено снижение содержания глюкозы в сыворотке крови до 1,14 и 1,15 ммоль/л, в то время как в контрольной группе оно было больше на 28 % (табл. 3). Нормальный диапазон значений данного показателя

у осетровых составляет от 2,0 до 4,0 ммоль/л [38]. Однако у осетровых наблюдаются более выраженные колебания уровня глюкозы, которые варьируют от 1 до 11 ммоль/л [39].

Уровень глюкозы в крови представляет собой важный показатель гомеостаза у водных организмов. Увеличение концентрации глюкозы в крови указывает на активный распад гликогена в печени или на недостаточное потребление глюкозы тканями, в то время как снижение уровня глюкозы свидетельствует об истощении запасов гликогена в печени или о высоком потреблении глюкозы клетками организма. Изменения в уровне глюкозы в крови позволяют оценить скорость ее аэробного окисления в тканях во время мышечной активности и степень мобилизации гликогена из печени [37].

Скорость оседания эритроцитов находилось в норме, которая для осетровых составляет 1–6 мм/ч. Можно отметить более высокое значение СОЭ у рыб из 1-й опытной группы, превышающее таковое у самок контрольной и 2-й опытной групп на 3,9–9,6 %, что может свидетельствовать о небольшом стрессовом состоянии этих рыб [40]. Значение β -липопротеидов было наиболее высоким у рыб контрольной группы 6,65 мг/л, что выше 1-й и 2-й опытной групп на 16,2 и 37,4 % соответственно.

Таблица 3

Физиолого-биохимические показатели крови молоди стерляди
Physiological and biochemical parameters of blood of young sterlet

Показатель	Группа		
	1-я опытная	2-я опытная	контрольная
Гемоглобин, г/л	42,0 $\pm$ 1,35*	40,8 $\pm$ 1,88*	36,0 $\pm$ 2,83
Скорость оседания эритроцитов, мм/ч	1,78 $\pm$ 0,19	1,61 $\pm$ 0,23	1,71 $\pm$ 0,21
Глюкоза, ммоль/л	1,14 $\pm$ 0,16	1,15 $\pm$ 0,07*	1,6 $\pm$ 0,20
Общий белок, г/л	17,9 $\pm$ 2,17	16,79 $\pm$ 1,11	20,2 $\pm$ 1,43
β -липопротеиды, г/л	5,57 $\pm$ 1,71	4,16 $\pm$ 0,54	6,65 $\pm$ 0,80

Примечание. 1. * – Различия достоверны с контрольной группой при $P \leq 0,05$.

2. $M \pm m$, M – среднее арифметическое; m – ошибка среднего арифметического.

В результате оценки эффективности введения в состав рецептуры продукционного осетрового комбикорма пробиотических добавок было установлено увеличение продуктивности выращивания стерляди в промышленных условиях.

Следует отметить, что препарат с повышенной ферментативной активностью обладал большим протекторным действием при помещении

рыб в экстремальные условия. Этот эффект был несколько неожиданным, так как в основе патогенеза как минимум теплового стресса лежат процессы свободно-радикального окисления.

Полученные биологические и физиологические показатели позволяют рекомендовать пробиотические добавки нового поколения в составе комбикормов для выращивания осетровых в ин-

дустриальных условиях, так как они увеличивали показатели роста, выживаемости, снижение кормовых затрат, способствовали стабилизации физиологического состояния у выращиваемых рыб.

ВЫВОДЫ

1. Введение пробиотиков нового поколения антиоксидантного и ферментативного действия в корма для молоди стерляди оказало положительное действие на рост рыб, в опытных группах абсолютный и относительный прирост массы был выше на 7,7 % при достаточно высоком коэффициенте упитанности и высокой выживаемости 96–99 %.

2. Анализ распределения массы в исследуемых группах рыб показал, что в опытах процент рыб с более высокой массой тела был выше на 9,65 и 14,75 %, составив 58,16 и 63,26 % соответственно.

3. Молодь стерляди, выращенная на комбикорме с пробиотиками ферментативного действия, показывает более адекватное поведение в ориентировочной ситуации и выраженные реакции на сенсорные раздражители. В незнакомой обстановке

молодь стерляди, получавшая комбикорм с антиоксидантной пробиотической добавкой, демонстрирует замедленную ориентировочную реакцию (реакция затаивания). В дальнейшем у нее наблюдается незначительное возбуждение, увеличение фоновой активности и значительное повышение двигательной активности в ответ на раздражители.

4. Реактивность на внешние раздражители у рыб из опытных групп на первый раздражитель (низкочастотный звук) была выше на 1,46–10,54 %, а при воздействии световых стимулов (кратковременная вспышка – на 12,09–27,44 %, постоянный свет – на 9,72–14,88 %) она снижалась по сравнению с контролем, достигая уровня фоновой активности, в то время как в контрольной группе реакция оставалась на прежнем уровне.

5. В ходе оценки качества выращенной молоди было установлено, что рыбы, получавшие корма с экспериментальными пробиотическими добавками, проявляли большую устойчивость к повышенной температуре и солености. Рыбы 1-й опытной группы проявили самую высокую терморезистентность и солеустойчивость.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-76-30006.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. – P. 264. – DOI: 10.4060/cd0683en.*
2. *FAO. 2023. International markets for fisheries and aquaculture products – Fourth issue 2023, with January–June 2023 statistics. GLOBEFISH Highlights, No. 4–2023. – P. 73 Rome. – DOI: 10.4060/cc9176en.*
3. *Коллегия. Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2023 году и задачи на 2024 год. Материалы к заседанию. 2024. URL: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf> (дата обращения: 10.06.2024)*
4. *Recent trends in aquaculture technologies / P. Ruby, B. Ahilan, A. Cheryl, S. Selvaraj // Aqua Trop. – 2022. – Vol. 37, No. 1–4. – P. 29–36. – DOI: 10.32381/JAT.2022.37.1-4.2.*
5. *Преимущества использования пробиотиков на основе молочнокислых бактерий в аквакультуре / А.В. Чижаева, Е.А. Олейникова, А.А. Амангелды, А.Ж. Алыбаева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 9. – С. 12–16.*
6. *Putri A.K., Permatasari I.M.N. Anjaini J. Application of probiotics in aquaculture jfas // J. Food. Agri. Sci. Lowl. Coast. Area – 2024. – Vol. 1 (2). – P. 24–36. – URL: <https://jfas.upnjatim.ac.id/index.php/jfas/index> (дата обращения 11.06.2024).*
7. *Jorgen S. Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Report of a joint FAO/WHO expert consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. FAO/WHO. Archived from the original 2012. – URL: <https://www.fao.org/4/y6398e/y6398e.pdf> (дата обращения: 10.06.2024).*
8. *Функ И.А., Огт Е.Ф. Подбор пробиотических микроорганизмов в состав нового биопрепарата для сельскохозяйственных животных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 3 (68). – С. 302–308. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-302-308.*
9. *Complex Bioactive Supplements for Aquaculture—Evolutionary Development of Probiotic Concepts / N.A. Ushakova, V.G. Pravdin, L.Z. Kravtsova. [et al.] // Probiotics and Antimicrobial Proteins, 2021. – Vol. 13 (6). – P. 1696–1708. – DOI: 10.1007/s12602-021-09835-y.*

10. *Probiotic* Bacillus amyloliquefaciens B-1895 / E.N. Ponomareva, M.N. Sorokina, V.A. Grigoriev [et al.] // Improved Growth of Juvenile Trout. Food Science of Animal Resources. – 2024. – Vol. 44 (4). – P. 805–816. – DOI: 10.5851/kosfa.2023.e75.
11. Миралимова Ш.М., Чистяков В.А., Пепоян А.З. Полифункциональные пробиотики в аквакультуре // Информационный бюллетень РЦНИ. – 2022. – № 2. – С. 59–66. – URL: https://www.rfbr.ru/view_book/3360/ (дата обращения 10.06.2024).
12. Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. – М.: 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: ИБВВ АН СССР, 1984. – 229 с.
15. Методы исследования в профпатологии (биохимические). – М.: Медицина, 1988. – 206 с.
16. Effects of probiotic supplementation of a plant-based protein diet on intestinal microbial diversity, digestive enzyme activity, intestinal structure, and immunity in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) / W.J. Jang, J.M. Lee, M.T. Hasan [et al.] // Fish. Shellfish Immunol. – 2019. – Vol. 92. – P. 719–727 – DOI: 10.1016/j.fsi.2019.06.056.
17. Probiotic yeast enhances growth performance of rohu (*Labeo rohita*) through upgrading hematology, and intestinal microbiota and morphology / N. Jahan, S.M.M. Islam, M.F. Rohani [et al.] // Aquaculture. – 2021. – Vol. 545. – Art. 737243. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737243.
18. Effects of immunostimulants, prebiotics, probiotics, symbiotics, and potentially immunoreactive feed additives on olive flounder (*Paralichthys olivaceus*): a review / M.T. Hasan, W.J. Jang, J.M. Lee [et al.] // Rev. Fish. Sci. Aquac. – 2019. – Vol. 27. – P. 417–437 – DOI: 10.1080/23308249.2019.1622510.
19. Dietary administration of probiotic Lactobacillus rhamnosus modulates the neurological toxicities of perfluorobutanesulfonate in zebrafish / M. Liu, S. Song, C. Hu [et al.] // Environ. Pollut. – 2020. – Vol. 265. – Art. 114832. – DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114832.
20. The effects of dietary clinoptilolite and chitosan nanoparticles on growth, body composition, haemato-biochemical parameters, immune responses, and antioxidative status of Nile tilapia exposed to imidacloprid / N.E.M. Ismael, S.A.A. Abd El-hameed, A.M. Salama [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2021. – Vol. 28. – P. 29535–29550 – DOI: 10.1007/s11356-021-12693-4.
21. Kewcharoen W., Srisapoom P. Probiotic effects of Bacillus spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to Vibrio parahaemolyticus (AHPND strains) // Fish. Shellfish Immunol. – 2019. – Vol. 94. – P. 175–189. – DOI: 10.1016/j.fsi.2019.09.013.
22. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids / D.L. Merrifield, A. Dimitroglou, A. Foey [et al.] // Aquaculture. – 2010. – Vol. 302. – P. 1–18. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.02.007.
23. Multi-species probiotics improve growth, intestinal microbiota and morphology of Indian major carp mrigal *Cirrhinus cirrhosus* / M.K. Hossain, M.M. Hossain, Z.T. Mim [et al.] // Saudi J. Biol. Sci. – 2022. – Vol. 29. – Art. 103399. – DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.103399.
24. Multi-species probiotics enhance growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through upgrading gut, liver and muscle health / M.K. Hossain, S.M.M. Islam, S.M. Rafiquzzaman [et al.] // Aquac. Res. – 2022. – Vol. 53. – P. 5710–5719. – DOI: 10.1111/are.16052.
25. Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish / M.F. Rohani, S.M. Islam, M.K. Hossain [et al.] // Fish. Shellfish Immunol. – 2022. – Vol. 120. – P. 569–589. – DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.037.
26. Dietary Aspergillus oryzae Modulates Serum Biochemical Indices, Immune Responses, Oxidative Stress, and Transcription of HSP70 and Cytokine Genes in Nile Tilapia Exposed to Salinity Stress / M. Shukry, M.F. Abd El-Kader, B.M. Hendam [et al.] // Animals. – 2021/ – Vol. 11. – P. 1621. – DOI: 10.3390/ani11061621.
27. Dawood M.A.O., Abo-Al-Ela H.G., Hasan M.T. Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: probiotics, prebiotics and symbiotics scenarios // Fish. Shellfish Immunol. – 2020. – Vol. 97. – P. 268–282. – DOI: 10.1016/j.fsi.2019.12.054.
28. Growth, stress tolerance and non-specific immune response of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* to probiotics in a closed recirculating system / J.Y. Jo, M.J. Jeon, S.C. Bai, W.J. Lee // Nippon Suisan Gakkaishi (Jpn. Ed.). – 2012. – Vol. 78. – P. 660. – DOI: 10.2331/suisan.78.660.
29. Dietary administration of probiotic Pdp11 promotes growth and improves stress tolerance to high stocking density in gilthead seabream *Sparus auratus* / J.L. Varela, I. Ruiz-Jarabo, L. Vargas-Chacoff [et al.] // Aquaculture. – 2010. – Vol. 309. – P. 265–271. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.029.
30. Islam S.M.M., Rohani M.F., Shahjahan M. Probiotic yeast enhances growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through morphological modifications of intestine // Aquac. Rep. – 2021. – Vol. 21. – Art. 100800. – DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100800.

31. Sutthi N., Thaimuangphol W. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth performances, body composition and blood chemistry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) under different salinity conditions // Iran. J. Fish. Sci. – 2020. – Vol. 19. – P. 1428–1446. – DOI: 10.22092/ijfs.2019.119254.
32. Probiotics relieve growth retardation and stress by upgrading immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during high temperature events / Md K Hossain, A. Naziat, Md Atikullah [et al.] // Animal Feed Science and Technology. – 2024. – Vol. 316. – P. 116054. – DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116054.
33. Пронина Г.И., Артеменков Д.В., Петрушин А.Б. Сравнительная характеристика сомов разных видов по гематологическим и биохимическим показателям // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 165. – С. 111–117.
34. Влияние компонентов биологически активной добавки для функциональных комплексов кормления на показатели крови рыб / Т.М. Шленкина, Е.М. Романова, В.В. Романов, Л.А. Шадыева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 (56). – С. 124–129. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-124-129.
35. Опыт выращивания гибрида «русский осетр × ленский осетр» (*Acipenser queldenstqdtii brandt et ratzeburg*, 1833 × *Acipenser baerii*, brandt 1869) в установке замкнутого водоснабжения / О.А. Левина, И.П. Степанова, Г.Ф. Металлов, М.Н. Сорокина // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. – № 3 (7). – С. 17–25.
36. Оценка физиологического состояния осетра при выращивании в условиях индустриальных хозяйств / А.А. Иванов, П.П. Головина, Н.Н. Романова, О.В. Корабельникова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 4. – С. 81–85.
37. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Референсные значения физиолого-иммунологических показателей гидробионтов разных видов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 103–108.
38. Сементина Е.В., Серпунин Г.Г. Влияние пробиотика «Субтилис» на гематологические показатели разновозрастной стерляди, выращиваемой в установке с замкнутым водоснабжением // Инновации в науке и образовании – 2010: тр. VIII Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию образования университета. В 3-х ч., Калининград, 19–21 октября 2010 г. Ч. 1. – Калининград, 2010. – С. 118–121.
39. Гематологические параметры молоди стерляди на фоне совместного использования культуры *Bacillus subtilis* и наночастиц сплава Cu-Zn / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101, № 3. – С. 100–109.
40. Некоторые аспекты управления репродукционной функцией у самок осетровых рыб / Е.Н. Пономарева, П.П. Гераскин, М.Н. Сорокина [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1 (66). – С. 157–170. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-157-170.

REFERENCES

1. FAO. 2024., *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*, Rome, pp. 264, DOI: 10.4060/cd0683en.
2. FAO. 2023., *International markets for fisheries and aquaculture products – Fourth issue 2023*, with January–June 2023 statistics, GLOBEFISH Highlights, No. 4–2023, pp. 73, Rome, DOI: 10.4060/cc9176en.
3. Kollegiya. Itogi deyatel'nosti Federal'nogo agentstva po rybolovstvu v 2023 godu i zadachi na 2024 god. Materialy k zasedaniyu. 2024 (Collegium. Results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2023 and tasks for 2024. Materials for the meeting. 2024), available at: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf> (data obrashcheniya: June 10, 2024). (In Russ.)
4. Ruby P., Ahilan B., Cheryl A., Selvaraj S., Recent trends in aquaculture technologies, *Aqua Trop.*, 2022, Vol. 37, No. (1–4), pp. 29–36, DOI: 10.32381/JAT.2022.37.1-4.2.
5. Chizhaeva A.V., Oleinikova E.A., Amangeldy A.A., Alybaeva A.Zh., *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2021, No. 9, pp. 12–16. (In Russ.)
6. Putri A.K., Permatasari M.N., Anjaini J., Application of probiotics in aquaculture jfas, *J. Food. Agri. Sci. Lowl. Coast. Area*, 2024, Vol. 1(2), pp. 24–36, URL: <https://jfas.upnjatim.ac.id/index.php/jfas/index> (дата обращения: 11.06.2024).
7. Jorgen S., Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria, *Report of a joint FAO/WHO expert consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. FAO/WHO. Archived from the original 2012*, URL: <https://www.fao.org/4/y6398e/y6398e.pdf> (дата обращения: 10.06.2024).
8. Funk I. A., Ott E. F., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 3 (68), pp. 302–308, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-302-308. (In Russ.)

9. Ushakova N.A., Pravdin V.G., Kravtsova L.Z. [et al.], Complex Bioactive Supplements for Aquaculture-Evolutionary Development of Probiotic Concepts, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2021, Vol. 13 (6), pp. 1696–1708, DOI: 10.1007/s12602-021-09835-y.
10. Ponomareva E.N., Sorokina M.N., Grigoriev V.A. [et al.], Probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* B-1895, Improved Growth of Juvenile Trout. *Food Science of Animal Resources*, 2024, Vol. 44 (4), pp. 805–816, DOI: 10.5851/kosfa.2023.e75.
11. Miralimova Sh.M., Chistyakov V.A., Pepoyan A.Z., *Informatsionnyi byulleten' RTsNI*, 2022, No. 2, pp. 59–66, URL: https://www.rfbr.ru/view_book/3360/ (дата обращения: 10.06.2024). (In Russ.)
12. Shcherbina M.A., Gamygin E.A., *Kormlenie ryb v presnovodnoi akvakul'ture* (Fish feeding in freshwater aquaculture), Moscow: VNIRO, 2006, 360 p.
13. Nikonorov S.I., Vitvitskaya L.V., *Ekologo-geneticheskie problemy iskusstvennogo vosпроизводства osetrovyykh i lososyevyykh ryb* (Ecological and genetic problems of artificial reproduction of sturgeon and salmon fish), Moscow: Nauka, 1993, 254 p.
14. Luk'yanenko V.I., Kasimov R.Yu., Kokoza A.A., *Vozrastno-vesovoi standart zavodstskoi molodi kaspiiskikh oetrovykh: eksperimental'noe obosnovanie* (Age and weight standard of the breeder juveniles of the Caspian Sea otters: experimental substantiation), Volgograd: IBVV AN SSSR, 1984, 229 p.
15. *Metody issledovaniya v profpatologii (Biokhimicheskie)* (Research methods in occupational pathology (Biochemical)), Moscow: Meditsina, 1988, 206 p.
16. Jang W.J., Lee J.M., Hasan M.T. [et al.], Effects of probiotic supplementation of a plant-based protein diet on intestinal microbial diversity, digestive enzyme activity, intestinal structure, and immunity in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), *Fish. Shellfish Immunol.*, 2019, Vol. 92, pp. 719–727, DOI: 10.1016/j.fsi.2019.06.056.
17. Jahan N., Islam S.M.M., Rohani M.F., Hossain M.T., Shahjahan M., Probiotic yeast enhances growth performance of rohu (*Labeo rohita*) through upgrading hematology, and intestinal microbiota and morphology, *Aquaculture*, 2021, Vol. 545, Art. 737243, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737243.
18. Hasan M.T., Jang W.J., Lee J.M. [et al.], Effects of immunostimulants, prebiotics, probiotics, symbiotics, and potentially immunoreactive feed additives on olive flounder (*Paralichthys olivaceus*): a review, *Rev. Fish. Sci. Aquac.*, 2019, Vol. 27, pp. 417–437, DOI: 10.1080/23308249.2019.1622510.
19. Liu M., Song S., Hu C., Tang L. [et al.], Dietary administration of probiotic *Lactobacillus rhamnosus* modulates the neurological toxicities of perfluorobutanesulfonate in zebrafish, *Environ. Pollut.*, 2020, Vol. 265, Art. 114832, DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114832.
20. Ismael N.E.M., Abd El-hameed S.A.A., Salama A.M., Naiel M.A.E., Abdel-Latif H.M.R., The effects of dietary clinoptilolite and chitosan nanoparticles on growth, body composition, haemato-biochemical parameters, immune responses, and antioxidative status of Nile tilapia exposed to imidacloprid, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2021, Vol. 28, pp. 29535–29550, DOI: 10.1007/s11356-021-12693-4.
21. Kewcharoen W., Srisapoom P., Probiotic effects of *Bacillus* spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND strains), *Fish. Shellfish Immunol.*, 2019, Vol. 94, pp. 175–189, DOI: 10.1016/j.fsi.2019.09.013.
22. Merrifield D.L., Dimitroglou A., Foey A. [et al.], The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids, *Aquaculture*, 2010, Vol. 302, pp. 1–18, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.02.007.
23. Hossain M.K., Hossain M.M., Mim Z.T. [et al.], Multi-species probiotics improve growth, intestinal microbiota and morphology of Indian major carp mrigal *Cirrhinus cirrhosus*, *Saudi J. Biol. Sci.*, 2022, Vol. 29, Art. 103399, DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.103399.
24. Hossain M.K., Islam S.M.M., Rafiquzzaman S.M. [et al.], Multi-species probiotics enhance growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through upgrading gut, liver and muscle health, *Aquac. Res.*, 2022, Vol. 53, p. 5710–5719, DOI: 10.1111/are.16052.
25. Rohani M.F., Islam S.M., Hossain M.K. [et al.], Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish, *Fish. Shellfish Immunol.*, 2022, Vol. 120, pp. 569–589, DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.037.
26. Shukry M., Abd El-Kader M.F., Hendam B.M. [et al.], Dietary *Aspergillus oryzae* Modulates Serum Biochemical Indices, Immune Responses, Oxidative Stress, and Transcription of HSP70 and Cytokine Genes in Nile Tilapia Exposed to Salinity Stress, *Animals*, 2021, Vol. 11, pp. 1621, DOI: 10.3390/ani11061621.
27. Dawood M.A.O., Abo-Al-Ela H.G., Hasan M.T., Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: probiotics, prebiotics and symbiotics scenarios, *Fish. Shellfish Immunol.*, 2020, Vol. 97, pp. 268–282, DOI: 10.1016/j.fsi.2019.12.054.
28. Jo J.Y., Jeon M.J., Bai S.C., Lee W.J., Growth, stress tolerance and non-specific immune response of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* to probiotics in a closed recirculating system, *Nippon Suisan Gakkaishi (Jpn. Ed.)*, 2012, Vol. 78, pp. 660, DOI: 10.2331/suisan.78.660.

29. Varela J.L., Ruiz-Jarabo I., Vargas-Chacoff L. [et al.], Dietary administration of probiotic Pdp11 promotes growth and improves stress tolerance to high stocking density in gilthead seabream *Sparus auratus*, *Aquaculture*, 2010, Vol. 309, pp. 265–271, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.029.
30. Islam S.M.M., Rohani M.F., Shahjahan M., Probiotic yeast enhances growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through morphological modifications of intestine, *Aquac. Rep.*, 2021, Vol. 21., Art. 100800, DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100800.
31. Sutthi N., Thaimuangphol W., Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth performances, body composition and blood chemistry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) under different salinity conditions, *Iran. J. Fish. Sci.*, 2020, Vol. 19, pp. 1428–1446, DOI: 10.22092/ijfs.2019.119254.
32. Hossain Md.K., Naziat A., Atikullah Md. [et al.], Probiotics relieve growth retardation and stress by upgrading immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during high temperature events, *Animal Feed Science and Technology*, 2024, Vol. 316, pp. 116054, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116054.
33. Pronina G.I., Artemenkov D.V., Petrushin A.B., *Trudy VNIRO*, 2017, Vol. 165, pp. 111–117. (In Russ.)
34. Shlenkina T.M., Romanova E.M., Romanov V.V., Shadyeva L.A., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2021, No. 4 (56), pp. 124–129, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-124-129. (In Russ.)
35. Levina O.A., Stepanova I.P., Metallov G.F., Sorokina M.N., *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2015, No. 3 (7), pp. 17–25. (In Russ.)
36. Ivanov A.A., Golovina P.P., Romanova N.N., Korabel'nikova O.V., *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2008, No. 4, pp. 81–85. (In Russ.)
37. Pronina G.I., Koryagina N.Yu., *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaistvo*, 2015, No. 4, pp. 103–108. (In Russ.)
38. Sementina E.V., Serpunin G.G., *Innovatsii v nauke i obrazovanii – 2010*, (Innovations in Science and Education – 2010), Proceedings of the VIII International Scientific Conference dedicated to the 80th anniversary of the University. In 3 parts, Kaliningrad, October 19–21, 2010. Vol. 1, Kaliningrad, 2010, pp. 118–121. (In Russ.)
39. Miroshnikova E.P., Arinzhanov A.E., Kilyakova Yu.V., Miroshnikova M.S., Malenkina K.A., Miroshnikov I.S., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2018, Vol. 101, No. 3, pp. 100–109. (In Russ.)
40. Ponomareva E.N., Geraskin P.P., Sorokina M.N., Grigor'ev V.A., Kovalyova A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No.1 (66), pp. 157–170. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-157-170. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.Н. Пономарева, доктор биологических наук, профессор
 М.Н. Сорокина, кандидат биологических наук, доцент
 В.А. Григорьев, кандидат биологических наук
 М.С. Мазанко, кандидат биологических наук
 В.А. Чистяков, доктор биологических наук

Contribution of the authors:

E.N. Ponomareva, Doctor of biological sciences, professor
 M.N. Sorokina, Candidate of biological sciences, docent
 V.A. Grigoriev, Candidate of biological sciences
 M. S. Mazanko, Candidate of biological sciences
 V.A. Chistyakov, Doctor of biological sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.