

УДК 639.3:579.64:615.371

Научный обзор



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65

М.Г. Маноян ✉

А.Н. Иванова

А.Н. Панин

А.В. Иванов

Всероссийский государственный
Центр качества и стандартизации
лекарственных средств для животных
и кормов (ФГБУ «ВГНКИ»), Москва,
Россия,

✉ mycology@vgnki.ru

Поступила в редакцию: 30.06.2026

Одобрена после рецензирования: 16.07.2026

Принята к публикации: 30.07.2026

© Маноян М.Г., Иванова А.Н., Панин А.Н.,
Иванов А.В.

Пробиотики в аквакультуре: механизмы действия и технологические подходы (часть 1)

РЕЗЮМЕ

В первой части научного обзора систематизированы современные данные о пробиотиках как инструменте неспецифической профилактики инфекционных болезней рыб и технологического управления здоровьем в аквакультуре. Рассмотрены инфекционные риски интенсивного рыбоводства и иммунологические особенности рыб, определяющие эффективность микробиом-ориентированных вмешательств. Обобщены сведения о кормовых и водных пробиотиках, синбиотиках, парапробиотиках, постбиотиках и использовании функциональных микробных сообществ в биофлок-системах. Проанализированы основные механизмы действия: конкурентное исключение патогенов, продукция антимикробных метаболитов, модуляция кишечной, кожной и жаберной микробиоты, укрепление барьерных функций, иммуномодуляция, улучшение пищеварения, кормовой конверсии и микробиологического состояния водной среды. Отдельное внимание уделено биоконтролю сапролегниоза и других оомикозов, включая ограничения переноса результатов *in vitro* в производственные условия. Представлены технологические подходы к отбору штаммов, ферментации, стабилизации, микрокапсулированию и введению пробиотиков в корм или воду. Показано, что пробиотики наиболее обоснованно рассматривать как фундаментальную фоновую поддержку здоровья и биобезопасности, эффективность которой зависит от штамма, вида рыбы, среды выращивания и качества доказательной валидации.

Ключевые слова: аквакультура, пробиотики, пробиотические кормовые добавки, рыбы, микробиота, антибиотикорезистентность, биофлок, сапролегниоз, *Saprolegnia*, биоконтроль, слизистый иммунитет, биобезопасность.

Для цитирования: Маноян М.Г., Иванова А.Н., Панин А.Н., Иванов А.В. Пробиотики в аквакультуре: механизмы действия и технологические подходы (часть 1). *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 53–65.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65>

Review



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65

Marina G. Manoyan ✉

Anna N. Ivanova

Alexander N. Panin

Arkadiy V. Ivanov

The Russian State Center for Animal
Feed and Drug Standardization and
Quality, Moscow, Russia,

✉ mycology@vgnki.ru

Received by the editorial office: 30.06.2026

Accepted in revised: 16.07.2026

Accepted for publication: 30.07.2026

© Manoyan M.G., Ivanova A.N., Panin A.N.,
Ivanov A.V.

Probiotics in aquaculture: mechanisms of action and technological approaches (Part 1)

ABSTRACT

The first part of this review synthesizes current evidence on probiotics as tools for non-specific prevention of infectious fish diseases and technology-oriented health management in aquaculture. Infectious risks associated with intensive fish production and immunological features of fish that determine the effectiveness of microbiota-oriented interventions are outlined. Feed-based and water-applied probiotics, synbiotics, paraprobiotics, postbiotics, and functional microbial communities used in biofloc systems are reviewed. Major mechanisms of action include competitive exclusion of pathogens, production of antimicrobial metabolites, modulation of intestinal, skin and gill microbiota, strengthening of barrier functions, immunomodulation, improved digestion and feed conversion, and stabilization of the microbiological status of the aquatic environment. Particular attention is paid to probiotic biocontrol of saprolegniosis and other oomycete infections, including the limitations of translating *in vitro* antagonism into field-level protection. Technological approaches to strain selection, fermentation, stabilization, microencapsulation and delivery through feed or water are summarized. The evidence indicates that probiotics are best regarded as a fundamental background component of fish health and biosecurity programs, whose effectiveness is strongly dependent on strain identity, host species, husbandry conditions and rigorous validation under controlled and production settings.

Key words: aquaculture, probiotics, probiotic feed additives, fish, microbiota, antimicrobial resistance, biofloc, saprolegniosis, *Saprolegnia*, biocontrol, mucosal immunity, biosecurity.

For citation: Manoyan M.G., Ivanova A.N., Panin A.N., Ivanov A.V. Probiotics in aquaculture: mechanisms of action and technological approaches (Part 1). *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 53–65 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-53-65>

Введение/Introduction

Аквакультура за последние десятилетия превратилась из вспомогательного источника рыбной продукции в один из базовых сегментов мировой продовольственной системы. Интенсификация выращивания лососевых, карповых, тиляпии, морских окуневых, осетровых и других видов сопровождается повышением плотности посадки, ускорением оборота производственных циклов и ростом перемещения посадочного материала между хозяйствами и регионами. Эти процессы создают благоприятные условия для циркуляции бактериальных, вирусных, грибковых и паразитарных агентов, а также для формирования сложных смешанных инфекций. Поэтому профилактика в современной аквакультуре должна рассматриваться не как набор разрозненных мероприятий, а как управляемая система, в которой биобезопасность, вакцинация, функциональное кормление и контроль микробиоты взаимно дополняют друг друга [1-4].

Ветеринарная медицина рыб отличается от медицины наземных сельскохозяйственных животных рядом принципиальных особенностей. Рыба постоянно контактирует с микробным сообществом водной среды, а кожа, жабры и кишечник одновременно являются физиологическими барьерами, иммунологическими органами и участниками обмена веществ с окружающей средой. При ухудшении гидрохимических параметров, температурных колебаниях, хроническом стрессе или несбалансированном кормлении резко возрастает восприимчивость к оппортунистическим патогенам. В таких условиях применение только лечебных антибактериальных препаратов не решает проблему, поскольку болезнь часто является следствием нарушения системы выращивания, а не изолированного проникновения одного возбудителя.

Исторически антибиотики и химические средства использовались в аквакультуре как быстрый способ купирования вспышек. Однако накопление данных об антимикробной резистентности, остаточных количествах лекарственных средств в рыбной продукции, воздействии на микробиоту водных экосистем и ограничениях экспортных рынков усилило интерес к профилактическим технологиям. Вакцины доказали высокую эффективность против ряда бактериальных и вирусных заболеваний, особенно в индустриальном выращивании лососевых. Пробиотики, в свою очередь, получили распространение как компоненты функциональных кормов и водных биопрепаратов, способные снижать инфекционный прессинг и повышать неспецифическую резистентность рыб [5-9].

Тема комплексного применения пробиотиков и вакцин особенно актуальна потому, что эти технологии действуют на разных уровнях. Вакцина формирует специфическую иммунологическую память или длительную антиген-специфическую готовность, тогда как пробиотик

преимущественно влияет на микробиоту, барьерные ткани, врожденный иммунитет, пищеварение и среду обитания. Следовательно, их сочетание потенциально позволяет закрыть «профилактический разрыв»: период раннего выращивания до вакцинации, стрессовые окна после сортировки и транспортировки, снижение эффективности иммунного ответа при неблагоприятной температуре, а также риск мукозального заражения через жабры и кишечник.

Цель настоящего обзора — обобщить современное состояние применения пробиотиков и вакцин в аквакультуре, раскрыть механизмы их действия, охарактеризовать технологические подходы к доставке и сформулировать перспективы построения комплексных программ профилактики инфекционных болезней рыб. Особое внимание уделяется практической применимости: какие решения уже используются в хозяйствах, какие остаются экспериментальными, какие риски требуют контроля и каким образом пробиотики и вакцины могут быть интегрированы в ветеринарное сопровождение рыбоводческих предприятий.

Дополнительно следует учитывать, что инфекционная безопасность аквакультуры определяется не только наличием возбудителя, но и совокупностью технологических факторов. К факторам, повышающим микробную нагрузку и восприимчивость рыб, относятся высокая плотность посадки, использование несбалансированных или нестабильных кормов, накопление органических отходов, повышение мутности, неблагоприятные значения pH воды, дефицит растворенного кислорода, колебания температуры, транспортный и сортировочный стресс, а также неудовлетворительное санитарное состояние оборудования и водообменных систем [10-12]. Именно поэтому пробиотики и вакцины должны рассматриваться не изолированно, а как элементы единой программы биобезопасности.

Задачи обзора

1. Проанализировать современные данные о применении пробиотиков в аквакультуре и их роли в профилактике инфекционных болезней рыб.
2. Охарактеризовать основные группы пробиотических микроорганизмов, используемые в рыбоводстве, и их функциональные свойства.
3. Рассмотреть механизмы действия пробиотиков, включая конкурентное вытеснение патогенов, продукцию антимикробных веществ, иммуномодуляцию, улучшение пищеварения и влияние на качество воды.
4. Обобщить сведения о составе, критериях отбора и технологиях изготовления пробиотических кормовых добавок для аквакультуры.
5. Оценить значение пробиотиков как альтернативного и дополняющего инструмента по отношению к антибиотикам в профилактических программах.
6. Рассмотреть современные подходы к разработке вакцин для аквакультуры, включая

бактериальные, вирусные и экспериментальные противогрибковые направления.

7. Проанализировать возможность комплексного применения пробиотиков и вакцин для повышения устойчивости рыб к инфекционным заболеваниям.

8. Определить основные трудности разработки вакцин против грибковых и грибоподобных патогенов рыб.

Материал и методы исследования / Material and methods

Обзор выполнен как структурированный нарративный анализ с элементами *scoping review* в соответствии с рекомендациями PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews). Такой формат выбран из-за высокой неоднородности публикаций по аквакультуре: исследования различаются по видам рыб, температуре воды, солености, составу кормов, возрасту и физиологическому состоянию животных, типу хозяйственной системы, штаммам пробиотиков, вакцинным платформам, способам введения и конечным точкам оценки эффективности. В связи с этим количественный метаанализ для всей совокупности данных не проводился.

Поиск литературы осуществлялся в следующих электронных базах данных: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science Core Collection, Google Scholar, а также в специализированных базах по ветеринарии и аквакультуре — CAB Abstracts (CABI) и Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA). Глубина поиска охватывала период с января 2000 г. по июнь 2026 г. включительно, что позволило проследить эволюцию подходов к применению пробиотиков и вакцин в аквакультуре за последние 25 лет — от первых систематических исследований до современных высокотехнологичных разработок. Для ключевых исторических работ, определивших фундаментальные основы иммунологии рыб и пробиотической профилактики, допускалось включение публикаций более раннего периода (1990–1999 гг.) при условии их высокой цитируемости и концептуальной значимости.

Поисковые запросы формировались на английском языке с использованием следующих ключевых слов и их комбинаций: *aquaculture, fish, probiotics, probiotic feed additives, vaccines, bacterial infections, viral diseases, fungal diseases, oomycete infections, saprolegniosis, Saprolegnia, Aphanomyces invadans, immunoprophylaxis, mucosal immunity, adjuvants, DNA vaccines, oral vaccination, synbiotics, paraprobiotics, biofloc, antimicrobial resistance*. Для повышения чувствительности поиска применялись операторы булевой логики (AND, OR, NOT) и усеменение терминов (например, *vaccin, probiot, immun*). Дополнительно проводился ручной поиск по спискам литературы релевантных обзоров и оригинальных статей (метод «снежного кома»).

В информационную базу включались публикации по иммунологии рыб, инфекционным болезням аквакультуры, пробиотикам, парапробиотикам, постбиотикам, биофлок-технологиям, вакцинам, адъювантам, мукозальной иммунизации, грибковым и оомицетным болезням рыб. Приоритет отдавался обзорам и экспериментальным исследованиям последних лет, документам международных организаций (FAO, WOAH), а также базовым работам, определившим современные подходы к вакцинологии рыб и пробиотической профилактике [1-9, 13-20].

Поиск проводился преимущественно на английском языке, что обусловлено статусом английского как основного языка международной научной коммуникации в области аквакультуры, иммунологии рыб и ветеринарной медицины. Подавляющее большинство рецензируемых журналов с высоким импакт-фактором, индексируемых в ведущих базах данных (PubMed, Scopus, Web of Science), публикуют статьи на английском языке. Кроме того, все основные международные руководства и обзоры по вакцинации рыб и применению пробиотиков, включая документы FAO и WOAH, доступны на английском языке.

Вместе с тем, авторы отдают себе отчет в том, что в России и странах СНГ ведутся активные исследования по пробиотикам и вакцинации рыб, результаты которых публикуются в отечественных журналах на русском языке (например, «Ветеринария», «Рыбное хозяйство», «Вопросы рыбоводства», «Аграрная наука»). Для минимизации риска упущения значимых российских разработок в обзор были включены публикации российских авторов в международных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science [21], а также работы, цитируемые в международных обзорах. Авторы признают, что полный охват всей русскоязычной литературы не был достигнут, и рассматривают это как ограничение настоящего обзора, которое может быть восполнено в последующих исследованиях, посвященных сравнительному анализу российских и зарубежных подходов к пробиотической и вакцинной профилактике в аквакультуре.

Для повышения воспроизводимости анализа источники оценивались по следующим признакам: вид рыбы, возраст или производственная стадия, возбудитель или модель инфекции, происхождение и идентификация пробиотического штамма, путь введения, дозировка, продолжительность применения, наличие контрольной группы, наличие экспериментального заражения, иммунологические и микробиологические показатели, производственные показатели, длительность наблюдения и признаки безопасности. Для вакцин дополнительно учитывались тип антигена, адъювант, схема иммунизации, путь введения, длительность защиты, возможность масштабирования и наличие коммерческого или полевого применения.

Доказательность рассматривалась по практико-ориентированной шкале. Наиболее высокий уровень получали технологии, имеющие коммерческое применение, полевые данные и воспроизводимые результаты по снижению заболеваемости или потребности в антибиотиках. Средний уровень присваивался подходам, подтвержденным контролируемыми опытами с экспериментальным заражением. Более низкий уровень имели результаты *in vitro*, исследования микробного антагонизма, иммунологические маркеры без проверки защиты, *in silico*-модели и концептуальные разработки. Такая схема не является формальной системой оценки качества доказательств, но позволяет отделить технологии, уже применимые в рыбоводных хозяйствах, от экспериментальных направлений, требующих дальнейшей проверки.

Ограничением обзора является то, что многие работы по пробиотикам и вакцинам в аквакультуре описывают положительные эффекты в конкретных лабораторных условиях, но не всегда подтверждают их в производственных системах. Поэтому в тексте особое внимание уделено не только механизмам действия, но и трансляционной применимости: масштабированию, безопасности, устойчивости эффекта, экономической целесообразности и регуляторным требованиям.

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

Инфекционные болезни рыб как объект комплексной профилактики

Инфекционная патология рыб включает широкий спектр бактериальных, вирусных, грибковых и паразитарных заболеваний. Среди бактериальных агентов наибольшее практическое значение имеют *Aeromonas spp.*, *Vibrio spp.*, *Flavobacterium columnare*, *Yersinia ruckeri*, *Edwardsiella tarda*, *Edwardsiella ictaluri*, *Streptococcus iniae*, *Streptococcus agalactiae*, *Renibacterium salmoninarum*, *Photobacterium damsela* и *Tenacibaculum spp.* Для вирусных болезней характерны высокая контагиозность, значительные экономические потери и ограниченные терапевтические возможности; к наиболее важным относятся инфекционный некроз гемопозитической ткани, инфекционный некроз поджелудочной железы, вирусная геморрагическая септицемия, инфекционная анемия лососевых, карповый герпесвирус и вирус тилляпии озера [20, 22-26].

В отличие от многих наземных животных, рыбы часто содержатся в условиях, где патоген присутствует в воде постоянно, а его концентрация меняется в зависимости от температуры, органической нагрузки, плотности посадки и состояния биофильтров. Это делает профилактику более сложной: эффективная вакцинация не отменяет необходимости контроля воды, а пробиотическая коррекция микробиоты не заменяет

специфическую иммунопрофилактику против высоковирулентных возбудителей [1, 5, 13]. На практике болезнь возникает на пересечении трех факторов: восприимчивого хозяина, патогена и среды, ослабляющей барьерные механизмы.

Экономическая значимость инфекционных болезней проявляется не только в прямой смертности. Субклинические инфекции ухудшают конверсию корма, замедляют рост, повышают неоднородность партии, ухудшают товарное качество и увеличивают затраты на сортировку, лечение и санитарные мероприятия. В племенных и маточных стадах инфекции также могут снижать качество гамет, выживаемость личинок и иммунологическую полноценность потомства. Поэтому профилактика должна начинаться до клинической вспышки и включать оценку риска для каждого производственного этапа [1, 10-12].

Наиболее перспективной считается модель, при которой специфическая защита создается вакцинами против доминирующих возбудителей, а неспецифическая устойчивость поддерживается функциональными кормами, пробиотиками, пребиотиками, иммуностимуляторами и управлением стрессом. Такой подход соответствует принципам «One Health», поскольку уменьшает потребность в антибиотиках и снижает давление отбора резистентных бактерий в водной среде [1-2, 27].

В практической ихтиопатологии термин «грибковые инфекции рыб» часто используется широко и включает как истинные микозы, вызываемые представителями царства Fungi, так и заболевания, обусловленные грибоподобными организмами — прежде всего, оомицетами. Для ветеринарной аквакультуры это различие принципиально: оомицеты филогенетически относятся не к настоящим грибам, а к группе *Stramenopiles/Chromista*, имеют иные особенности клеточной стенки, метаболизма и чувствительности к препаратам. Тем не менее, в клинической практике сапролегниоз, ахлиоз и эпизоотический язвенный синдром традиционно рассматриваются в блоке микотических болезней рыб, поскольку проявляются ростом мицелия или гифоподобных структур на коже, жабрах, икре и в поврежденных тканях [28-30].

Наиболее значимым оомикозом пресноводной аквакультуры является сапролегниоз, главным образом связанный с *Saprolegnia parasitica* и родственными видами *Saprolegnia*. Заболевание характеризуется беловато-серым «ватобразным» налетом на коже, плавниках, жабрах или икре, поражением эпидермиса, нарушением осморегуляции, вторичными бактериальными инфекциями и повышенной смертностью. У икры сапролегниевые оомицеты быстро колонизируют погибшие икринки и затем распространяются на соседние живые, что делает сапролегниоз одной из ключевых проблем инкубационных цехов лососевых, карповых и других пресноводных рыб [28, 31].

К числу факторов риска относят травмирование кожи при сортировке, вакцинации, транспортировке и нерестовых манипуляциях, высокую плотность посадки, органическое загрязнение воды, неблагоприятную температуру, ухудшение гидрохимических показателей, стресс и иммунную супрессию. Важной особенностью является оппортунистический характер многих вспышек: возбудитель может присутствовать в воде постоянно, а клиническая болезнь развивается при нарушении кожно-слизистого барьера. В связи с этим профилактика оомикозов не может ограничиваться обработкой против возбудителя и должна включать снижение травматизации, удаление погибшей икры, санитарный контроль, стабилизацию воды и поддержание слизистого иммунитета [28, 32].

Отдельное значение имеет инфекция *Aphanomyces invadans*, вызывающая эпизоотический язвенный синдром (EUS), известный также как red spot disease, ulcerative mycosis или mycotic granulomatosis. Это заболевание регистрируется у широкого спектра пресноводных и эстуарных рыб, проявляется некротизирующими язвенными поражениями кожи и мышц, гранулематозной реакцией и может иметь выраженное эпизоотическое значение. В отличие от поверхностного сапролегниоза, EUS связан с глубокой инвазией гиф в ткани, поэтому требует ранней диагностики, гистопатологического подтверждения и строгих мер биобезопасности [30, 33].

К настоящим микозам рыб относят, в частности, бранхиомикоз, ихтиофеноз и отдельные системные или локальные поражения, вызываемые грибами родов *Branchiomyces*, *Ichthyophonus*, *Exophiala*, *Fusarium* и др. Их распространенность ниже, чем бактериальных и вирусных болезней, однако они важны для дифференциальной диагностики хронической смертности, жаберной патологии и гранулематозных поражений. Для темы настоящего обзора наиболее существенны именно сапролегниоз и EUS, поскольку по ним накоплено больше данных о возможных иммунопрофилактических и биоконтрольных подходах (WOAH¹, MSD Veterinary Manual²).

Иммунологические особенности рыб, определяющие эффективность пробиотиков и вакцин

Иммунная система костистых рыб включает врожденные и адаптивные механизмы, но их организация и кинетика отличаются от млекопитающих. У рыб отсутствуют лимфатические узлы и классические пейеровы бляшки, а иммунные реакции слизистых оболочек формируются в диффузных лимфоидных структурах кишечника, кожи и жабр. Основными органами иммуногенеза являются почка, селезенка, тимус

и мукозально-ассоциированные ткани. Важную роль играют фагоцитоз, комплемент, лизоцим, антибактериальные пептиды, интерфероновый ответ, цитокиновая регуляция и иммуноглобулины IgM, IgT/IgZ и IgD [34–37].

Температурная зависимость иммунитета является одним из ключевых факторов рыбной вакцинологии. При снижении температуры замедляются пролиферация лимфоцитов, созревание антительного ответа и метаболическая активность иммунных клеток. Поэтому сроки вакцинации должны согласовываться с температурным профилем хозяйства и биологией вида. Неправильно выбранное время иммунизации может приводить к недостаточной сероконверсии или к защите, которая формируется позже, чем наступает период высокого инфекционного давления [15, 34–35].

Слизистый иммунитет имеет особое значение, поскольку большинство патогенов рыб проникает через жабры, кожу или кишечник. Жабры обладают огромной площадью контакта с водой и одновременно участвуют в дыхании, осморегуляции и экскреции азотистых соединений. Кишечник является местом всасывания питательных веществ и постоянного взаимодействия с микробиотой. Кожа и слизь содержат иммуноглобулины, лизоцим, комплемент, муцины и антимикробные компоненты. Именно поэтому пробиотики и мукозальные вакцины рассматриваются как взаимодополняющие инструменты: первые поддерживают барьерную и микробную устойчивость, вторые стремятся сформировать антиген-специфическую защиту на входных воротах инфекции [38–40].

Иммунологическая память у рыб существует, но ее продолжительность и выраженность зависят от вида, антигена, температуры, возраста, пути введения и адъюванта. Инактивированные инъекционные бактериальные вакцины часто обеспечивают длительную защиту у крупных рыб, но плохо подходят для ранних стадий и мелкой рыбы. Оральная вакцинация технологически привлекательна, однако антиген должен преодолеть протеолиз и кислую среду желудка, достигнуть иммунологически активных участков кишечника и не вызвать толерантность вместо защиты [18, 41].

Иммунологические особенности рыб, рассмотренные выше, определяют принципиальные различия в механизмах и сферах применения двух ключевых профилактических инструментов - пробиотиков и вакцин. Несмотря на то что оба подхода направлены на повышение устойчивости рыб к инфекционным болезням, они существенно отличаются по природе действия, срокам формирования защиты, специфичности и условиям практического применения. Сравнительная характеристика этих инструментов представлена в таблице 1.

¹WOAH. Infection with *Aphanomyces invadans* // Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals. — Paris: World Organisation for Animal Health, 2023. - URL: <https://www.woah.org/> (дата обращения: 10.06.2026).

²MSD Veterinary Manual. Mycotic diseases in aquaculture. — URL: <https://www.msddvetmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/aquaculture/mycotic-diseases-in-aquaculture> (дата обращения: 10.06.2026).

Таблица 1. Сравнительная характеристика профилактических инструментов

Table 1. Comparative characteristics of preventive tools

Инструмент	Основная мишень	Преимущества	Ограничения	Оптимальная роль в программе
Пробиотики	Микробиота, слизистые барьеры, врожденный иммунитет, водная среда	Могут применяться с кормом или водой; подходят для ранних стадий; снижают стресс и поддерживают пищеварение	Эффект штамм- и средозависим; требуется контроль безопасности, дозы и жизнеспособности	Фоновая поддержка здоровья, снижение инфекционного давления, подготовка к вакцинации и стрессовым операциям
Вакцины	Специфический иммунный ответ против конкретного патогена	Высокая доказательная эффективность против ряда бактериальных и вирусных болезней; длительная защита	Не покрывают все патогены; инъекция трудоемка; возможны побочные реакции адъювантов	Целевая защита против доминирующих экономически значимых инфекций
Пребиотики и синбиотики	Субстратная поддержка полезной микробиоты	Стабильнее живых культур; могут усиливать пробиотики	Не всегда предсказуемы при разном составе рациона и микробиоты	Усиление функциональных кормов и стабилизация кишечного микробиома
Биобезопасность	Разрыв путей заноса и распространения патогенов	Действует независимо от возбудителя; снижает риск вспышек	Требуется дисциплины персонала, мониторинга и инвестиций	Базовый каркас, без которого биопрепараты дают неполный эффект

Пробиотики в аквакультуре: современное состояние применения

Под пробиотиками в аквакультуре обычно понимают живые микроорганизмы, которые при введении в достаточном количестве оказывают благоприятное действие на организм хозяина или на среду выращивания. В отличие от наземного животноводства, где пробиотик чаще связывается с кишечником, в аквакультуре он может действовать одновременно в желудочно-кишечном тракте, на слизистых поверхностях и в воде. Поэтому к пробиотикам для рыб относят не только лактобациллы и бифидобактерии, но и *Bacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Saccharomyces*, *Debaryomyces*, *Phaeobacter*, *Pseudoalteromonas*, нитрифицирующие и денитрифицирующие бактерии, фотосинтезирующие бактерии и другие функциональные группы [5–8, 42].

Формы применения пробиотиков в рыбоводстве

Кормовые пробиотические добавки — живые, спорообразующие или инактивированные микроорганизмы вводятся в гранулированный или экструдированный корм для модуляции кишечной микробиоты, повышения барьерной функции слизистой и общей резистентности рыб.

Водные пробиотики — препараты вносятся непосредственно в воду для коррекции микробного фона, подавления условно-патогенной микрофлоры, ускорения минерализации органических веществ и снижения концентрации аммиака и нитритов [43].

Синбиотики — сочетания пробиотиков и пребиотиков, обеспечивающие избирательную поддержку полезных микроорганизмов и повышение их колонизационной активности.

Парапробиотики и постбиотики — инактивированные клетки и метаболиты пробиотических штаммов, включая ферменты, бактериоцины, органические кислоты и компоненты клеточной стенки; они могут сохранять иммуномодулирующий эффект при меньших рисках неконтролируемой колонизации.

Биофлор-технологии — микробные сообщества, участвующие в утилизации азотистых соединений и органических остатков, одновременно служащие дополнительным источником белка и естественным пробиотическим фактором для гидробионтов.

Выбор формы применения зависит от вида рыбы, возраста, температуры и солености воды, схемы кормления, эпизоотической ситуации, а также от того, является ли основной задачей поддержка кишечного барьера, биоремедиация воды или снижение риска конкретной инфекции.

В настоящее время пробиотики применяются преимущественно в трех форматах: как кормовые добавки, как препараты для внесения в воду и как компоненты живых кормов для личинок. Кормовой путь наиболее удобен для молоди и товарной рыбы, поскольку позволяет задавать дозу на килограмм корма и сочетать пробиотик с пребиотиками, органическими кислотами, ферментами, витаминами и иммуномодуляторами. Внесение в воду используется в прудах, установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), инкубационных системах и при выращивании личинок, где важна стабилизация микробного фона. Обогащение артемии, коловраток и других живых кормов пробиотическими микроорганизмами дает возможность доставлять полезные бактерии личинкам и ранней молоди рыб на тех этапах развития, когда применение гранулированных кормов еще невозможно или малоэффективно.

Наиболее широко изучены представители рода *Bacillus*. Их технологическое преимущество связано со спорообразованием, устойчивостью к гранулированию и хранению, способностью продуцировать ферменты, органические кислоты, бактериоцины и другие антагонистические вещества. *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus* и *B. velezensis* используются как кандидаты или компоненты коммерческих добавок для тилапии, карпа, сома, лососевых и морских видов [5–8]. Лактобациллы и педиококки чаще рассматриваются как модуляторы кишечной микробиоты и слизистого иммунитета, однако их устойчивость к водной среде и

технологической обработке обычно ниже, чем у спорообразующих бактерий.

Дрожжи, прежде всего *Saccharomyces cerevisiae* и *Debaryomyces hansenii*, занимают промежуточное положение между пробиотиками и иммунологическими кормовыми добавками. Они могут поставлять β -глюканы, маннаны, нуклеотиды и витамины, улучшать созревание кишечника у личинок и усиливать неспецифическую резистентность. В установках замкнутого водоснабжения и прудовых хозяйствах особое значение имеют микробные препараты, которые помогают перерабатывать соединения азота и органические остатки в воде; их основная роль заключается не столько в заселении кишечника рыб, сколько в улучшении качества водной среды и стабилизации ее микробного баланса [7–8, 43].

Практическая эффективность пробиотиков зависит от исходной микробиоты хозяйства, состава корма, температуры, солености, кислородного режима, плотности посадки и стадии развития рыбы. Одни и те же штаммы могут демонстрировать выраженный эффект в лабораторном испытании и умеренный или нестабильный результат в производственных условиях. Поэтому современный подход смещается от универсальных «пробиотиков вообще» к видоспецифическим, штаммоспецифическим и технологически адаптированным решениям [6–7, 44–45, 21].

Механизмы действия пробиотиков

Конкурентное исключение и антагонизм к патогенам

Один из наиболее изученных механизмов — конкурентное исключение патогенов. Пробиотические бактерии могут занимать места адгезии на слизистых оболочках, конкурировать за железо, углеродные источники и другие лимитирующие ресурсы, а также изменять локальные условия таким образом, что рост патогена становится менее вероятным. Для *Vibrio spp.*, *Aeromonas spp.* и *Streptococcus spp.* показано, что антагонистические штаммы способны снижать адгезию к кишечной слизи, подавлять формирование биопленок и уменьшать экспрессию факторов вирулентности [5, 9, 46].

Антимикробное действие пробиотиков связано с продукцией органических кислот, перекиси водорода, бактериоцинов, лизоцимоподобных ферментов, протеаз, сидерофоров и поверхностно-активных веществ. Снижение pH в микросреде кишечника, связывание железа и нарушение бактериальной химической коммуникации, регулирующей образование биопленок и экспрессию факторов вирулентности, могут ослаблять патогенность бактерий без прямого бактерицидного давления, характерного для антибиотиков [5, 9, 46]. Такой механизм теоретически снижает риск селекции устойчивости, хотя не исключает необходимости мониторинга генов резистентности у самих пробиотических штаммов.

Следует подчеркнуть, что *in vitro*-антагонизм не является достаточным доказательством эффективности. Штамм, подавляющий рост *Aeromonas hydrophila* на агаре, может не выжить в кишечнике, не выдержать гранулирование, не адгезироваться к слизистому слою или быть вытеснен резидентной микробиотой. Поэтому современный скрининг пробиотиков должен сочетать тесты безопасности, геномный анализ, изучение метаболитов, моделирование условий пищеварительного тракта и испытания на целевом виде рыб [5, 7–8].

Это особенно важно для антиоомицетных пробиотиков: подавление *Saprolegnia* на агаре или снижение адгезии цист к слизи не гарантируют защиты рыбы в воде, где решающими становятся доза, гидрохимия, колонизация наружных покровов, органическая нагрузка и стрессовый статус стада [47].

Пробиотики и биоконтроль при сапролегниозе и других оомикозах

Пробиотические подходы при грибковых и оомицетных инфекциях рыб находятся на более ранней стадии, чем при бактериальных болезнях. Их потенциальные механизмы включают конкуренцию за субстраты и места адгезии на коже, икре и слизистых оболочках, продукцию сидерофоров, лизирующих ферментов и низкомолекулярных антагонистических веществ, модификацию микробиома поверхности икры и кожи, а также стимуляцию врожденного иммунитета. В отличие от кишечных пробиотиков, при сапролегниозе особенно важны штаммы, способные действовать в водной среде и на поверхности покровов, поскольку первичная точка контакта *Saprolegnia* — кожа, жабры и оболочка икры [48–49].

Наиболее убедительные экспериментальные данные получены для отдельных изолятов *Pseudomonas fluorescens*, применяемых через воду. Для штаммов LE87 и LE141 показана способность снижать экспериментальную инфекцию *Saprolegnia parasitica* у радужной форели, а предполагаемые механизмы включают продукцию сидерофоров и биоактивных веществ, ингибирующих рост патогена, а также стимуляцию компонентов врожденного ответа. Эти результаты важны технологически: они показывают, что антиоомицетный пробиотик необязательно должен быть кишечным кормовым штаммом; перспективны водные и кожно-ассоциированные бактерии, адаптированные к наружным биотопам рыбы [48].

Вместе с тем переносимость результатов между штаммами, видами рыб и схемами введения остается ограниченной. В исследовании *Enterococcus gallinarum* L1, *Vagococcus fluvialis* L21 и *Lactobacillus plantarum* CLFP3 все три штамма подавляли рост мицелия и прорастание цист *Saprolegnia parasitica* *in vitro*, а также снижали адгезию цист к кожной слизи. Однако при введении с кормом или через воду они не обеспечили

защиты радужной форели *in vivo*, и смертность в опыте достигала 98 % в течение 14 дней после заражения. Этот пример принципиален для практики: *in vitro*-антагонизм против *Saprolegnia* не должен рассматриваться как достаточное основание для включения препарата в производственную схему [47].

Для икры рыб перспективны биоконтрольные бактерии, способные колонизировать поверхность икринок и препятствовать прикреплению зооспор или цист *Saprolegnia*. Описаны ингибирующие свойства представителей *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Frondihabitans*, *Bacillus* и ряда других водных бактерий, однако большинство работ остается экспериментальным, а промышленная стандартизация затруднена из-за вариабельности воды, органической нагрузки, температуры и исходного микробиома инкубационных систем [49-50].

С практической точки зрения пробиотики при сапролегниозе следует рассматривать не как замену санитарным обработкам, а как часть программы снижения риска. Рациональная схема может включать: санитарный отбор и удаление погибшей икры; поддержание оптимальной проточности и кислородного режима; снижение механических повреждений; предварительное тестирование штаммов на безопасность для икры и молоди; внесение водных пробиотиков в периоды повышенного риска; мониторинг *Saprolegnia* методом микроскопии, посева или ПЦР; оценку не только смертности, но и частоты пораженных икринок, площади мицелиального роста и состояния микробиоты поверхности. Для товарной рыбы пробиотики могут дополнительно применяться в корме как иммуномодуляторы до и после стрессовых операций, но для доказательства их антиоомицетного эффекта нужны контролируемые испытания на конкретной модели «вид рыбы — возбудитель — технология выращивания».

Модуляция микробиоты и барьерных функций

Кишечная микробиота рыб участвует в ферментации субстратов, синтезе витаминов, метаболизме желчных кислот, регуляции воспаления и развитии иммунной системы. Пробиотики могут повышать долю комменсальных таксонов, увеличивать микробное разнообразие, снижать относительную представленность условно-патогенных *Proteobacteria* и поддерживать образование короткоцепочечных жирных кислот. Эти эффекты особенно важны при переходе на растительные белковые компоненты кормов, после антибиотикотерапии, при транспортировке и в периоды температурного стресса [6-7, 24].

Барьерная функция кишечника зависит от состояния межклеточных соединений эпителия, плотности и толщины слизистого слоя, продукции муцинов, локальной секреции иммуноглобулинов и активности врожденных факторов защиты.

Пробиотики могут повышать экспрессию генов, связанных с межклеточными соединениями эпителия, стимулировать продукцию муцинов и уменьшать воспалительную реакцию на кормовые антигены или патогены. Для практики это означает не только потенциальное повышение устойчивости рыб к инфекциям, но и более стабильный рост, лучшую конверсию корма и большую однородность выращиваемой группы рыб по размеру и массе [5-6, 8].

Микробиота кожи и жабр также может реагировать на пробиотические вмешательства, особенно при внесении препаратов в воду. Однако эти поверхности более чувствительны к гидрохимическим факторам, механическим повреждениям и изменениям микробного состава окружающей воды [8, 39-40]. Поэтому пробиотики, предназначенные для внесения непосредственно в воду, следует оценивать не только по их способности сохраняться в кишечнике рыб, но и по влиянию на микробный баланс воды, биофильтра, донных отложений и слизистых оболочек.

Иммуномодуляция

Пробиотики воздействуют на иммунитет рыб через микроб-ассоциированные молекулярные паттерны: пептидогликан, липотейхоевые кислоты, липополисахариды, флагеллин, β -глюканы и бактериальную ДНК. Эти структуры распознаются рецепторами врожденного иммунитета, включая Toll-подобные и NOD-подобные рецепторы, что приводит к активации фагоцитов, комплемента, лизоцима, интерфероновой сети и цитокиновой сети. При оптимальной дозе и продолжительности применения такая стимуляция повышает готовность организма к защите от инфекции, однако при избыточной дозе или слишком длительном воздействии может усиливать воспаление и повышать энергетические затраты организма [5, 9, 20].

В экспериментах на тилпии, карпе, радужной форели, соме и морских видах пробиотические добавки часто ассоциируются с повышением активности лизоцима, альтернативного пути комплемента, фагоцитарной активности, респираторного взрыва, экспрессии IL-1, TNF-, IL-10, TGF-, IgM или IgT. Однако интерпретация этих маркеров должна быть осторожной: краткосрочная активация иммунных показателей не всегда означает лучшую защиту, а длительная стимуляция может отражать воспалительный стресс [5-6, 9]. Наиболее значимым критерием эффективности пробиотиков остается сочетание иммунологических данных с результатами экспериментального заражения рыб конкретным возбудителем и оценкой производственных показателей, включая выживаемость, прирост массы и конверсию корма [5-6, 9].

Молекулярные механизмы, посредством которых пробиотики усиливают слизистый противовирусный иммунитет, начали раскрываться лишь

в последние годы. Cheng et al. [51] установили, что бациллярные пробиотики (*Bacillus spp.*) активируют мукозальный антивирусный иммунитет у телеостей через модуляцию метаболизма диглициридов, тем самым усиливая сигнализацию врожденного иммунного ответа в кишечнике и коже. Mistri et al. [52] зафиксировали, что пробиотики значимо увеличивают продукцию IgT — иммуноглобулина, специализированного на мукозальной защите рыб, — а также активность лизоцима, комплемента и антиоксидантных ферментов в слизистых секретах. Совокупность этих данных указывает на то, что пробиотическое стимулирование мукозальных тканей может служить физиологической основой для повышения иммуногенности последующей вакцинации, особенно при мукозальных путях введения — иммерсии и орально.

Иммуномодулирующий эффект пробиотиков создает теоретическую основу для их использования до и после вакцинации. Предварительная нормализация кишечного и слизистого статуса может повысить качество ответа на антиген, а поствакцинальная поддержка — снизить стресс, улучшить кормопотребление и поддержать барьерные ткани. Однако такие схемы должны проверяться отдельно, поскольку чрезмерная стимуляция врожденного иммунитета в момент вакцинации способна изменить профиль адаптивного ответа.

Иммуностимулирующий потенциал пробиотиков как адъювантов рыбных вакцин систематически проанализирован в обзоре Soltani et al. [53], охватывающем как отдельные штаммы, так и комплексные препараты на основе лекарственных растений. Авторы показали, что пробиотики способны усиливать гуморальный и клеточный иммунный ответ на вакцинный антиген, однако степень этого усиления существенно варьирует в зависимости от вида рыбы, патогена, схемы применения и способа введения вакцины. В частности, Rahmani et al. [54] продемонстрировали на тилпии (*Oreochromis niloticus*), что добавление пробиотиков к рациону до и после вакцинации живой аттенуированной вакциной против *Aeromonas hydrophila* повышало титры специфических антител и относительный процент выживаемости при контрольном заражении по сравнению с вакцинированными без пробиотика рыбами. Эти данные подтверждают принципиальную реализуемость пробиотико-вакцинных схем, при этом подчеркивая необходимость индивидуальной валидации для каждой комбинации штамм — вакцина — вид хозяина.

Улучшение пищеварения, роста и качества среды

Многие пробиотические штаммы продуцируют протеазы, амилазы, липазы, фитазы, целлюлазы и другие ферменты, повышающие доступность питательных веществ. Это особенно важно при использовании растительных белков, побочных продуктов

агропромышленного комплекса и рационов с повышенной долей трудноусвояемых полисахаридов. Улучшение пищеварения снижает количество непереваренного органического вещества, поступающего в воду, и тем самым косвенно уменьшает нагрузку на биофильтр и риск развития условно-патогенной микрофлоры [6-7, 43].

В прудовых и биофлор-системах пробиотики могут участвовать в трансформации органических отходов, снижении аммиака и нитритов, стабилизации pH и конкуренции с патогенными вибрионами. Однако водные пробиотики должны подбираться с учетом всей экосистемы. Неконтролируемое внесение микробных смесей может приводить к непредсказуемым изменениям биоценоза, особенно в системах с высокой органической нагрузкой или слабым водообменом [43].

Практическое значение водных пробиотиков особенно велико в хозяйствах с высокой органической нагрузкой и ограниченным водообменом. Их эффект связан не только с прямым антагонизмом к патогенам, но и с ускорением минерализации органических остатков, изменением состава биопленок, снижением концентрации аммонийного азота и нитритов, а также стабилизацией микробного сообщества воды. При этом эффективность таких препаратов необходимо оценивать с учетом температуры, солености, pH, кислородного режима, плотности посадки, применяемых дезинфектантов и совместимости штаммов с конкретной технологической системой [43].

Таким образом, пробиотики следует рассматривать как многофункциональный инструмент. Их эффект может проявляться в уменьшении смертности, повышении прироста массы, улучшении конверсии корма, снижении стрессовых реакций, стабилизации микробиоты и улучшении гидрохимических параметров. Но чем шире заявленный спектр действия, тем важнее доказательная оценка каждого конкретного штамма и технологии применения.

Эффективность пробиотической программы во многом определяется правильным выбором микроорганизма-пробиотика с учетом его биологических и технологических свойств. Различные группы пробиотических микроорганизмов существенно различаются по механизмам действия, термостабильности, совместимости с технологией производства корма и доказательной базе эффективности в аквакультуре. Основные группы пробиотиков, применяемых в рыбоводстве, и их ключевые характеристики систематизированы в таблице 2.

Технологические подходы к применению пробиотиков

Кормовое введение является наиболее стандартизируемым способом доставки пробиотиков. Препарат может наноситься поверх гранул после экструзии, включаться в премикс до гранулирования или вводиться через микрокапсулы,

Таблица 2. Основные группы пробиотиков и технологические особенности

Table 2. Main groups of probiotics and technological features

Группа	Примеры	Преимущества	Риски/ограничения	Наиболее типичное применение
Спорообразующие бактерии	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. velezensis</i>	Высокая технологическая стабильность, устойчивость к гранулированию, ферментативная активность	Необходим контроль токсигенности, генов резистентности и дозы	Кормовые добавки для молоди и товарной рыбы
Молочнокислые бактерии	<i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Enterococcus</i>	Модуляция кишечной микробиоты и слизистого иммунитета	Чувствительность к хранению и технологической обработке; видоспецифичность	Функциональные корма, синбиотики, поддержка после стресса
Дрожжи	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Debaryomyces hansenii</i>	β -глюканы, маннаны, нуклеотиды, витамины; поддержка личинок	Эффект часто связан не с живой колонизацией, а с клеточными компонентами	Личиночные корма, иммунотуриция, стрессовые периоды
Водные бактерии	<i>Phaeobacter</i> , <i>Pseudoalteromonas</i> , фотосинтезирующие и нитрифицирующие бактерии	Стабилизация микробного фона воды, антагонизм к вибрионам, улучшение азотного цикла	Сильная зависимость от гидрохимии и биоценоза	Инкубаторы, УЗВ, пруды, морские личиночные хозяйства
Парапробиотики	Инактивированные клетки <i>Lactobacillus</i> , <i>Bacillus</i> и др.	Повышенная безопасность и стабильность, отсутствие риска неконтролируемого размножения	Меньше экологических эффектов живой культуры; требуется подбор дозы	Корма для ранних стадий, системы с жесткими требованиями безопасности

защищающие клетки от температуры, кислорода и влаги. Постэкструзионное нанесение лучше сохраняет жизнеспособность, но требует равномерного распределения и защиты от смывания в воде [55]. Включение до гранулирования технологически удобно, однако подходит преимущественно для спорообразующих или термоустойчивых форм.

Микрокапсулирование рассматривается как ключевой путь повышения стабильности пробиотиков. Матрицы на основе альгината, хитозана, крахмала, желатина, липидов и белков позволяют защищать клетки от желудочной среды, контролировать высвобождение в кишечнике и сочетать пробиотик с пребиотиком [56]. Для рыб важно, чтобы капсула сохранялась в воде до поедания, не ухудшала органолептические свойства корма и разрушалась в нужном участке пищеварительного тракта.

Внесение пробиотиков непосредственно в воду применяют при выращивании личинок и ранней молоди рыб, а также в прудовых хозяйствах

и установках замкнутого водоснабжения для стабилизации микробного состава воды и улучшения санитарного состояния среды выращивания. Такой способ снижает требования к поедаемости корма и позволяет воздействовать на микробный фон до колонизации кишечника личинок. Недостатком является трудность точного дозирования на уровне отдельной рыбы и зависимость от водообмена, фильтрации, ультрафиолета, озонирования и взаимодействия с биофильтром.

Обогащение живых кормов пробиотиками особенно важно в морском рыбоводстве. Коловратки и артемия могут служить биокапсулами, доставляющими бактерии в пищеварительный тракт личинок и мальков рыб [57]. Однако пробиотик должен быть совместим с культурой живого корма, не снижать его питательную ценность и не накапливать нежелательные метаболиты. На этом этапе контроль микробиологической чистоты критически важен, поскольку личинки обладают незрелыми барьерными механизмами.

Таблица 3. Технологическая схема получения пробиотических кормовых добавок

Table 3. Technological scheme for the production of probiotic feed additives

Этап	Содержание работ	Критические показатели качества
Выделение и идентификация штаммов	Источники: кишечник здоровых рыб, вода благополучных хозяйств, донные отложения, ферментированные корма, коллекционные культуры.	Таксономическая идентификация, отсутствие контаминации, происхождение штамма.
Функциональный скрининг	Оценка антагонизма к патогенам, ферментативной активности, устойчивости к pH, желчи, соли, температуре, адгезивной способности.	Повторяемость антагонистической активности, устойчивость к условиям ЖКТ и технологии кормления.
Оценка безопасности	Тесты на гемолиз, токсигенность, факторы вирулентности, клинически значимые гены антибиотикорезистентности и патогенность для целевого вида рыб.	Безопасность для рыб, человека и водной среды.
Ферментация	Культивирование в биореакторах с контролем pH, температуры, аэрации и состава питательной среды.	Высокий титр жизнеспособных клеток или спор, стабильность производственного процесса.
Стабилизация	Концентрирование, лиофилизация, распылительная сушка, микрокапсулирование или нанесение на носитель.	Сохранность активности при хранении и транспортировке.
Введение в корм или воду	Внесение до гранулирования, постэкструзионное напыление, капсулирование или применение водорастворимой формы.	Сохранение заданного титра после технологической обработки и контакта с кормовой матрицей.
Контроль качества партии	Оценка титра, чистоты культуры, стабильности, отсутствия посторонней микрофлоры и активности против целевых патогенов.	Соответствие спецификации, воспроизводимость и прослеживаемость серии.

Перспективным направлением является использование синбиотиков — сочетаний пробиотика и пребиотического субстрата. Маннанолигосахариды, инулин, фруктоолигосахариды, β -глюканы, хитозановые производные и ферментированные растительные компоненты могут повышать приживаемость полезных бактерий и усиливать иммуномодулирующий эффект. Но синбиотик не должен оцениваться как простая сумма компонентов: иногда субстрат стимулирует не только пробиотик, но и нежелательные бактерии резидентной микробиоты.

Контроль качества пробиотических препаратов включает идентификацию штамма, количество жизнеспособных клеток, отсутствие патогенности, гемолитической активности и переносимых генов антибиотикорезистентности, стабильность при хранении, совместимость с кормом и устойчивость к технологическим операциям. Для производственных хозяйств важны также простые критерии приемки партии: срок годности, CFU на грамм, рекомендации по хранению, способ внесения и доказанные эффекты на целевом виде.

Описанные механизмы действия пробиотиков определяют их место в комплексной программе профилактики. Вакцинные технологии и варианты интеграции двух подходов рассматриваются во второй части обзора, которая будет опубликовано в следующем номере журнала «Аграрная наука».

Выводы/Conclusion

Пробиотики в современной аквакультуре представляют собой не универсальную замену лекарственным средствам или специфической иммунопрофилактике, а многофункциональный

инструмент формирования устойчивого физиологического и микробиологического фона. Их наиболее обоснованная роль состоит в поддержании кишечного, кожного и жаберного барьеров, модуляции микробиоты и врожденного иммунитета, улучшении пищеварения и кормовой конверсии, а при водном применении — в стабилизации микробного сообщества среды выращивания.

Практическая результативность пробиотической программы определяется не принадлежностью препарата к категории «пробиотиков» как таковой, а свойствами конкретного штамма, способом доставки, дозой, видом и возрастом рыбы, температурой, соленостью, качеством воды, составом рациона и исходной микробиотой хозяйства. Поэтому обязательными условиями применения должны быть точная идентификация штамма, контроль безопасности и технологической стабильности, а также подтверждение эффекта в контролируемых опытах и производственных условиях.

Особенно перспективны штамм-специфические кормовые и водные препараты, синбиотические, парaproбиотические и постбиотические решения, а также биоконтроль сапролегниоза и других оомикозов. Вместе с тем экспериментальный антагонизм *in vitro* не может рассматриваться как достаточное доказательство защитного эффекта. В системе комплексной профилактики пробиотики целесообразно рассматривать как фундамент здоровья и биобезопасности, на котором во второй части обзора анализируются возможности специфической вакцинации и интеграции обоих подходов.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 — Blue Transformation in Action. Rome: FAO. 2024; 264. ISBN 978-92-5-138763-4 <https://www.doi.org/10.4060/cd0683en>
2. WOA. Aquatic Animal Health Code. 26th edition. Paris: World Organisation for Animal Health. 2024; xvii, 334, iii. https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en_csaa_2024.pdf
3. Tamas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Transforming Aquaculture through Vaccination: A Review on Recent Developments and Milestones. *Vaccines*. 2024; 12(7): 732. <https://doi.org/10.3390/vaccines12070732>
4. Rahayu S. et al. Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1455905. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905>
5. Mohammed E.A.H., Ahmed A.E.M., Kovács B., Pál K. The Significance of Probiotics in Aquaculture: A Review of Research Trend and Latest Scientific Findings. *Antibiotics*. 2025; 14(3): 242. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242>
6. Calcagnile M., Tredici S.M., Alifano P. A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon*. 2024; 10(24): e40892. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892>
7. Hoseinifar S.H., Sun Y.Z., Wang A., Zhou Z. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2429. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429>
8. Torres-Maravilla E. et al. Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*. 2024; 12(3): 626. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626>
9. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms Used by Probiotics to Confer Pathogen Resistance to Teleost Fish. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 653025. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.653025>

REFERENCES

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 — Blue Transformation in Action. Rome: FAO. 2024; 264. ISBN 978-92-5-138763-4 <https://www.doi.org/10.4060/cd0683en>
2. WOA. Aquatic Animal Health Code. 26th edition. Paris: World Organisation for Animal Health. 2024; xvii, 334, iii. https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en_csaa_2024.pdf
3. Tamas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Transforming Aquaculture through Vaccination: A Review on Recent Developments and Milestones. *Vaccines*. 2024; 12(7): 732. <https://doi.org/10.3390/vaccines12070732>
4. Rahayu S. et al. Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1455905. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905>
5. Mohammed E.A.H., Ahmed A.E.M., Kovács B., Pál K. The Significance of Probiotics in Aquaculture: A Review of Research Trend and Latest Scientific Findings. *Antibiotics*. 2025; 14(3): 242. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242>
6. Calcagnile M., Tredici S.M., Alifano P. A comprehensive review on probiotics and their use in aquaculture: Biological control, efficacy, and safety through the genomics and wet methods. *Heliyon*. 2024; 10(24): e40892. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40892>
7. Hoseinifar S.H., Sun Y.Z., Wang A., Zhou Z. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review of Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2429. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429>
8. Torres-Maravilla E. et al. Importance of Probiotics in Fish Aquaculture: Towards the Identification and Design of Novel Probiotics. *Microorganisms*. 2024; 12(3): 626. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030626>
9. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms Used by Probiotics to Confer Pathogen Resistance to Teleost Fish. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 653025. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2021.653025>

10. Charo F.J., Mbutia P.G., Bebor L.C., Nguta J.M. Influence of aquaculture management practices and water quality on bacterial occurrence in fish culture units in Kenya. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2023; 11(2-A): 1–7. <https://www.doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2782>
11. Wanja D.W. et al. Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International*. 2020; 2020: 6839354. <https://www.doi.org/10.1155/2020/6839354>
12. Mramba R.P., Kahindi E.J. Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16753. <https://www.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753>
13. Ma J., Bruce T.J., Jones E.M., Cain K.D. A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms*. 2019; 7(11): 569. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110569>
14. Brudeseth B.E. et al. Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1759–1768. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.05.029>
15. Sommerset I., Krossøy B., Biering E., Frost P. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*. 2005; 4(1): 89–101. <https://doi.org/10.1586/14760584.4.1.89>
16. Plant K.P., LaPatra S.E. Advances in fish vaccine delivery. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1256–1262. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.007>
17. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Advances in Vaccine Adjuvants for Teleost Fish: Implications for Aquatic Welfare and the Potential of Nanoparticle-Based Formulations. *Vaccines*. 2024; 12(12): 1347. <https://doi.org/10.3390/vaccines12121347>
18. Mutoloki S., Munang'andu H.M., Evensen Ø. Oral Vaccination of Fish – Antigen Preparations, Uptake, and Immune Induction. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 519. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00519>
19. Embregts C.W.E., Forlenza M. Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species. *Developmental & Comparative Immunology*. 2016; 64: 118–137. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.024>
20. Tafalla C., Bøgvold J., Dalmo R.A. Adjuvants and immunostimulants in fish vaccines: Current knowledge and future perspectives. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1740–1750. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.02.029>
21. Gudding R., Van Muiswinkel W.B. A history of fish vaccination: Science-based disease prevention in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1683–1688. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.031>
22. Gómez G.D., Balcázar J.L. A review on the interactions between gut microbiota and innate immunity of fish. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*. 2008; 52(2): 145–154. <https://www.doi.org/10.1111/j.1574-695X.2007.00343.x>
23. Nayak S.K. Role of gastrointestinal microbiota in fish. *Aquaculture Research*. 2010; 41(11): 1553–1573. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02546.x>
24. Merrifield D.L. et al. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. *Aquaculture*. 2010; 302(1–2): 1–18. <https://www.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.02.007>
25. Newaj-Fyzul A., Austin B. Probiotics, immunostimulants, plant products and oral vaccines, and their role as feed supplements in the control of bacterial fish diseases. *Journal of Fish Diseases*. 2015; 38(11): 937–955. <https://www.doi.org/10.1111/jfd.12313>
26. Merrifield D., Ringø E. (eds.). *Aquaculture Nutrition: Gut Health, Probiotics and Prebiotics*. Oxford: Wiley-Blackwell. 2014; XVI, 465. ISBN 978-0-470-67271-6
27. Ringø E., Hoseinifar S.H., Ghosh K., Doan H.V., Beck B.R., Song S.K. Lactic Acid Bacteria in Finfish—An Update. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 1818. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.01818>
28. LindholmLehto P.C., Pykkö P. Saprolegniosis in aquaculture and how to control it? *Aquaculture, Fish and Fisheries*. 2024; 4(4): e2200. <https://www.doi.org/10.1002/aff2.200>
29. Earle G., Hintz W. New Approaches for Controlling Saprolegnia parasitica, the Causal Agent of a Devastating Fish Disease *Tropical Life Sciences Research*. 2014; 25(2): 101–109.
30. Beckmann M.J., Saraiva M., McLaggan D., Pottinger T.G., van West P. Saprolegnia infection after vaccination in Atlantic salmon is associated with differential expression of stress and immune genes in the host. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 106: 1095–1105. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.08.051>
31. Afzali S.F., Daud H.H.M., Sharifpour I., Afsharnasab M., Shankar S. Experimental infection of Aphanomyces invadans and susceptibility in seven species of tropical fish. *Veterinary World*. 2015; 8(9): 1038–1044. <https://www.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1038-1044>
32. González-Palacios C., Fregeneda-Grandes J.-M., Aller-Gancedo J.-M. Possible Mechanisms of Action of Two Pseudomonas fluorescens Isolates as Probiotics on Saprolegniosis Control in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Animals*. 2020; 10(9): 1507. <https://doi.org/10.3390/ani10091507>
33. Pavić D., Geček S., Miljanović A., Grbin D., Bielen A. Characterization of Bacterial Communities on Trout Skin and Eggs in Relation to Saprolegnia parasitica Infection Status. *Microorganisms*. 2024; 12(8): 1733. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081733>
34. Verschuere L., Rombaut G., Sorgeloos P., Verstraete W. Probiotic Bacteria as Biological Control Agents in Aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2000; 64(4): 655–671. <https://www.doi.org/10.1128/MMBR.64.4.655-671.2000>
35. Austin B., Austin D.A. *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. 6th ed. Cham: Springer. 2016; XXXV, 732. ISBN 978-3-319-32673-3 <https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
36. Magnadóttir B. Innate immunity of fish (overview). *Fish & Shellfish Immunology*. 2006; 20(2): 137–151. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006>
37. Salinas I., Parra D. Fish mucosal immunity: intestine. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 135–170. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00006-6>
38. Gomez D., Sunyer J.O., Salinas I. The mucosal immune system of fish: The evolution of tolerating commensals while fighting pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1729–1739. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.032>
10. Charo F.J., Mbutia P.G., Bebor L.C., Nguta J.M. Influence of aquaculture management practices and water quality on bacterial occurrence in fish culture units in Kenya. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2023; 11(2-A): 1–7. <https://www.doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2782>
11. Wanja D.W. et al. Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International*. 2020; 2020: 6839354. <https://www.doi.org/10.1155/2020/6839354>
12. Mramba R.P., Kahindi E.J. Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*. 2023; 9(6): e16753. <https://www.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753>
13. Ma J., Bruce T.J., Jones E.M., Cain K.D. A Review of Fish Vaccine Development Strategies: Conventional Methods and Modern Biotechnological Approaches. *Microorganisms*. 2019; 7(11): 569. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110569>
14. Brudeseth B.E. et al. Status and future perspectives of vaccines for industrialised fin-fish farming. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1759–1768. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.05.029>
15. Sommerset I., Krossøy B., Biering E., Frost P. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*. 2005; 4(1): 89–101. <https://doi.org/10.1586/14760584.4.1.89>
16. Plant K.P., LaPatra S.E. Advances in fish vaccine delivery. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1256–1262. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2011.03.007>
17. Tammas I., Bitchava K., Gelasakis A.I. Advances in Vaccine Adjuvants for Teleost Fish: Implications for Aquatic Welfare and the Potential of Nanoparticle-Based Formulations. *Vaccines*. 2024; 12(12): 1347. <https://doi.org/10.3390/vaccines12121347>
18. Mutoloki S., Munang'andu H.M., Evensen Ø. Oral Vaccination of Fish – Antigen Preparations, Uptake, and Immune Induction. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 519. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00519>
19. Embregts C.W.E., Forlenza M. Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species. *Developmental & Comparative Immunology*. 2016; 64: 118–137. <https://www.doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.024>
20. Tafalla C., Bøgvold J., Dalmo R.A. Adjuvants and immunostimulants in fish vaccines: Current knowledge and future perspectives. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1740–1750. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.02.029>
21. Gudding R., Van Muiswinkel W.B. A history of fish vaccination: Science-based disease prevention in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1683–1688. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.031>
22. Gómez G.D., Balcázar J.L. A review on the interactions between gut microbiota and innate immunity of fish. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*. 2008; 52(2): 145–154. <https://www.doi.org/10.1111/j.1574-695X.2007.00343.x>
23. Nayak S.K. Role of gastrointestinal microbiota in fish. *Aquaculture Research*. 2010; 41(11): 1553–1573. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02546.x>
24. Merrifield D.L. et al. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. *Aquaculture*. 2010; 302(1–2): 1–18. <https://www.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.02.007>
25. Newaj-Fyzul A., Austin B. Probiotics, immunostimulants, plant products and oral vaccines, and their role as feed supplements in the control of bacterial fish diseases. *Journal of Fish Diseases*. 2015; 38(11): 937–955. <https://www.doi.org/10.1111/jfd.12313>
26. Merrifield D., Ringø E. (eds.). *Aquaculture Nutrition: Gut Health, Probiotics and Prebiotics*. Oxford: Wiley-Blackwell. 2014; XVI, 465. ISBN 978-0-470-67271-6
27. Ringø E., Hoseinifar S.H., Ghosh K., Doan H.V., Beck B.R., Song S.K. Lactic Acid Bacteria in Finfish—An Update. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 1818. <https://www.doi.org/10.3389/fmicb.2018.01818>
28. LindholmLehto P.C., Pykkö P. Saprolegniosis in aquaculture and how to control it? *Aquaculture, Fish and Fisheries*. 2024; 4(4): e2200. <https://www.doi.org/10.1002/aff2.200>
29. Earle G., Hintz W. New Approaches for Controlling Saprolegnia parasitica, the Causal Agent of a Devastating Fish Disease *Tropical Life Sciences Research*. 2014; 25(2): 101–109.
30. Beckmann M.J., Saraiva M., McLaggan D., Pottinger T.G., van West P. Saprolegnia infection after vaccination in Atlantic salmon is associated with differential expression of stress and immune genes in the host. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 106: 1095–1105. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.08.051>
31. Afzali S.F., Daud H.H.M., Sharifpour I., Afsharnasab M., Shankar S. Experimental infection of Aphanomyces invadans and susceptibility in seven species of tropical fish. *Veterinary World*. 2015; 8(9): 1038–1044. <https://www.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1038-1044>
32. González-Palacios C., Fregeneda-Grandes J.-M., Aller-Gancedo J.-M. Possible Mechanisms of Action of Two Pseudomonas fluorescens Isolates as Probiotics on Saprolegniosis Control in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Animals*. 2020; 10(9): 1507. <https://doi.org/10.3390/ani10091507>
33. Pavić D., Geček S., Miljanović A., Grbin D., Bielen A. Characterization of Bacterial Communities on Trout Skin and Eggs in Relation to Saprolegnia parasitica Infection Status. *Microorganisms*. 2024; 12(8): 1733. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081733>
34. Verschuere L., Rombaut G., Sorgeloos P., Verstraete W. Probiotic Bacteria as Biological Control Agents in Aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2000; 64(4): 655–671. <https://www.doi.org/10.1128/MMBR.64.4.655-671.2000>
35. Austin B., Austin D.A. *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. 6th ed. Cham: Springer. 2016; XXXV, 732. ISBN 978-3-319-32673-3 <https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-32674-0>
36. Magnadóttir B. Innate immunity of fish (overview). *Fish & Shellfish Immunology*. 2006; 20(2): 137–151. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2004.09.006>
37. Salinas I., Parra D. Fish mucosal immunity: intestine. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 135–170. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00006-6>
38. Gomez D., Sunyer J.O., Salinas I. The mucosal immune system of fish: The evolution of tolerating commensals while fighting pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 35(6): 1729–1739. <https://www.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.032>

39. Esteban M.Á., Cerezuela R. Fish mucosal immunity: skin. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 67–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00004-2>
40. Mondal H., Thomas J. A review on the recent advances and application of vaccines against fish pathogens in aquaculture. *Aquaculture International*. 2022; 30(4): 1971–2000. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-022-00884-w>
41. Hlordzi V. et al. The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100503. <https://www.doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>
42. Kumar A. et al. Current Challenges of Vaccination in Fish Health Management. *Animals*. 2024; 14(18): 2692. <https://doi.org/10.3390/ani14182692>
43. Hoseinifar S.H., Faheem M., Liaqat I., Van Doan H., Ghosh K., Ringø E. Promising Probiotic Candidates for Sustainable Aquaculture: An Updated Review. *Animals*. 2024; 14(24): 3644. <https://doi.org/10.3390/ani14243644>
44. Цицкиева К.Р., Бетляева Ф.Х., Маркин Ю.В. Использование пробиотика «Бацифолин А» при выращивании радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в условиях интенсивного рыбоводства. *Рыбное хозяйство*. 2024; (6): 83–89. EDN NPEWKI
45. Hopo M.G., Mabrok M., Abu-Elala N., Yu Y. Navigating Fish Immunity: Focus on Mucosal Immunity and the Evolving Landscape of Mucosal Vaccines. *Biology*. 2024; 13(12): 980. <https://doi.org/10.3390/biology13120980>
46. Fachri M. et al. Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: a sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention—a review. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1499228. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1499228>
47. Gatesoupe F.J. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*. 1999; 180(1–2): 147–165. [https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00187-8](https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00187-8)
48. Fregeneda-Grandes J.-M., González-Palacios C., Pérez-Sánchez T., Padilla D., Real F., Aller-Gancedo J.-M. Limited Probiotic Effect of *Enterococcus gallinarum* L1, *Vagococcus fluvialis* L21 and *Lactobacillus plantarum* CLFP3 to Protect Rainbow Trout against Saprolegniosis. *Animals*. 2023; 13(5): 954. <https://doi.org/10.3390/ani13050954>
49. Lategan M.J., Torpy F.R., Gibson L.F. Control of saprolegniosis in the eel *Anguilla australis* Richardson, by *Aeromonas* media strain A199. *Aquaculture*. 2004; 240(1–4): 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.009>
50. Irianto A., Austin B. Probiotics in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*. 2002; 25(11): 633–642. <https://www.doi.org/10.1046/j.1365-2761.2002.00422.x>
51. Mistri A., Sardar S. Srivastava A. Mucosal immunity of farmed fish within aquaculture: Mechanisms, challenges, and advances. *Aquaculture International*. 2025; 33(7): 665. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-025-02353-6>
52. Miryala K.R., Swain B. Advances and Challenges in *Aeromonas hydrophila* Vaccine Development: Immunological Insights and Future Perspectives. *Vaccines*. 2025; 13(2): 202. <https://doi.org/10.3390/vaccines13020202>
53. Soltani M., Lymbery A., Song S.K., Shekarabi P.H. Adjuvant effects of medicinal herbs and probiotics for fish vaccines. *Reviews in Aquaculture*. 2019; 11(4): 1325–1341. <https://www.doi.org/10.1111/raq.12295>
54. Aly S.M., Al Zohairy M.A., Rahmani A.H., Fathi M., Atti N.M.A. Trials to improve the response of *Oreochromis niloticus* to *Aeromonas hydrophila* vaccine using immunostimulants (garlic, Echinacea) and probiotics (Organic GreenTM and Vet-YeastTM). *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(21): 989–994. <https://www.doi.org/10.5897/AJB2015.15155>
55. Gatesoupe F.-J. Updating the Importance of Lactic Acid Bacteria in Fish Farming: Natural Occurrence and Probiotic Treatments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 2008; 14(1–3): 107–114. <https://www.doi.org/10.1159/000106089>
56. Ghani M.U. et al. Unveiling the multifaceted role of toll-like receptors in immunity of aquatic animals: pioneering strategies for disease management. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1378111. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2024.1378111>
57. Paveljšek D., Ivičak-Kocjan K., Treven P., Benčina M., Jerala R., Rogelj I. Distinctive probiotic features share common TLR2-dependent signalling in intestinal epithelial cells. *Cellular Microbiology*. 2021; 23(1): e13264. <https://www.doi.org/10.1111/cmi.13264>
39. Esteban M.Á., Cerezuela R. Fish mucosal immunity: skin. Beck B.H., Peatman E. (eds.). *Mucosal Health in Aquaculture*. Academic Press. 2015; 67–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417186-2.00004-2>
40. Mondal H., Thomas J. A review on the recent advances and application of vaccines against fish pathogens in aquaculture. *Aquaculture International*. 2022; 30(4): 1971–2000. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-022-00884-w>
41. Hlordzi V. et al. The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100503. <https://www.doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>
42. Kumar A. et al. Current Challenges of Vaccination in Fish Health Management. *Animals*. 2024; 14(18): 2692. <https://doi.org/10.3390/ani14182692>
43. Hoseinifar S.H., Faheem M., Liaqat I., Van Doan H., Ghosh K., Ringø E. Promising Probiotic Candidates for Sustainable Aquaculture: An Updated Review. *Animals*. 2024; 14(24): 3644. <https://doi.org/10.3390/ani14243644>
44. Tsitsikieva K.R., Betlyayeva F.H., Markin Yu.V. Use of the probiotic «Bacifolin A» in growing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under intensive fish farming conditions. *Fisheries*. 2024; (6): 83–89 (in Russian). EDN NPEWKI
45. Hopo M.G., Mabrok M., Abu-Elala N., Yu Y. Navigating Fish Immunity: Focus on Mucosal Immunity and the Evolving Landscape of Mucosal Vaccines. *Biology*. 2024; 13(12): 980. <https://doi.org/10.3390/biology13120980>
46. Fachri M. et al. Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: a sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention—a review. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1499228. <https://www.doi.org/10.3389/fmars.2024.1499228>
47. Gatesoupe F.J. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*. 1999; 180(1–2): 147–165. [https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00187-8](https://www.doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00187-8)
48. Fregeneda-Grandes J.-M., González-Palacios C., Pérez-Sánchez T., Padilla D., Real F., Aller-Gancedo J.-M. Limited Probiotic Effect of *Enterococcus gallinarum* L1, *Vagococcus fluvialis* L21 and *Lactobacillus plantarum* CLFP3 to Protect Rainbow Trout against Saprolegniosis. *Animals*. 2023; 13(5): 954. <https://doi.org/10.3390/ani13050954>
49. Lategan M.J., Torpy F.R., Gibson L.F. Control of saprolegniosis in the eel *Anguilla australis* Richardson, by *Aeromonas* media strain A199. *Aquaculture*. 2004; 240(1–4): 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.009>
50. Irianto A., Austin B. Probiotics in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*. 2002; 25(11): 633–642. <https://www.doi.org/10.1046/j.1365-2761.2002.00422.x>
51. Mistri A., Sardar S. Srivastava A. Mucosal immunity of farmed fish within aquaculture: Mechanisms, challenges, and advances. *Aquaculture International*. 2025; 33(7): 665. <https://www.doi.org/10.1007/s10499-025-02353-6>
52. Miryala K.R., Swain B. Advances and Challenges in *Aeromonas hydrophila* Vaccine Development: Immunological Insights and Future Perspectives. *Vaccines*. 2025; 13(2): 202. <https://doi.org/10.3390/vaccines13020202>
53. Soltani M., Lymbery A., Song S.K., Shekarabi P.H. Adjuvant effects of medicinal herbs and probiotics for fish vaccines. *Reviews in Aquaculture*. 2019; 11(4): 1325–1341. <https://www.doi.org/10.1111/raq.12295>
54. Aly S.M., Al Zohairy M.A., Rahmani A.H., Fathi M., Atti N.M.A. Trials to improve the response of *Oreochromis niloticus* to *Aeromonas hydrophila* vaccine using immunostimulants (garlic, Echinacea) and probiotics (Organic GreenTM and Vet-YeastTM). *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(21): 989–994. <https://www.doi.org/10.5897/AJB2015.15155>
55. Gatesoupe F.-J. Updating the Importance of Lactic Acid Bacteria in Fish Farming: Natural Occurrence and Probiotic Treatments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*. 2008; 14(1–3): 107–114. <https://www.doi.org/10.1159/000106089>
56. Ghani M.U. et al. Unveiling the multifaceted role of toll-like receptors in immunity of aquatic animals: pioneering strategies for disease management. *Frontiers in Immunology*. 2024; 15: 1378111. <https://www.doi.org/10.3389/fimmu.2024.1378111>
57. Paveljšek D., Ivičak-Kocjan K., Treven P., Benčina M., Jerala R., Rogelj I. Distinctive probiotic features share common TLR2-dependent signalling in intestinal epithelial cells. *Cellular Microbiology*. 2021; 23(1): e13264. <https://www.doi.org/10.1111/cmi.13264>

ОБ АВТОРАХ

Марина Геворковна Маноян

кандидат ветеринарных наук, начальник
отдела микологии
mycology@vgnki.ru

Анна Николаевна Иванова

кандидат экономических наук, заведующий отделом
научного планирования и НИР
a.ivanova@vgnki.ru

Александр Николаевич Панин

доктор ветеринарных наук, профессор, академик
Российской академии наук
alexanderpanin5083@gmail.com

Аркадий Васильевич Иванов

доктор биологических наук, профессор, член-
корреспондент Российской академии наук
a.ivanov@vgnki.ru

Всероссийский государственный центр качества и
стандартизации лекарственных средств для животных и
кормов,
Звенигородское шоссе, д. 5, Москва, 123022, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Marina Gevorkovna Manoyan

Candidate of Veterinary Sciences, Chief of Mycology
Department
mycology@vgnki.ru

Anna Nikolaevna Ivanova

Candidate of Economics Science, Head of the Scientific
Researches Department
a.ivanova@vgnki.ru

Alexander Nikolaevich Panin

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, full member of the
Russian Academy of Science
alexanderpanin5083@gmail.com

Arkadiy Vasilevich Ivanov

Doctor of Biological Sciences, Professor, part-member of the
Russian Academy of Science
a.ivanov@vgnki.ru

The Russian State Center for Animal Feed and Drug
Standardization and Quality,
5 Zvenigorodskoe highway, Moscow, 123022, Russia