

Е.П. Мирошникова,  
А.Е. Аринжанов,  
Ю.В. Килякова,  
А.Н. Сизенцов ✉

Оренбургский государственный  
университет, Оренбург, Россия

✉ asizen@mail.ru

Поступила в редакцию:  
15.09.2022

Одобрена после рецензирования:  
01.06.2023

Принята к публикации:  
19.06.2023

Elena P. Miroshnikova,  
Azamat E. Arinzhonov,  
Yulia V. Kilyakova,  
Alexey N. Sizentsov, ✉

Orenburg State University, Orenburg,  
Russia

✉ asizen@mail.ru

Received by the editorial office:  
15.09.2022

Accepted in revised:  
01.06.2023

Accepted for publication:  
19.06.2023

# Применение фитобиотиков в кормлении рыб в качестве альтернативы антибактериальным и пробиотическим препаратам (обзор)

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Использование антибактериальных препаратов в качестве кормовых добавок на протяжении многих лет позволяло снижать уровни риска развития инфекционных патологий и, как следствие, повышало продуктивность отрасли, помимо очевидных преимуществ, постоянное использование антибиотиков развивает бактериальную резистентность, негативно влияет на представителей нормофлоры биоценозов и обладает аккумулярующим эффектом в аквакультуре. Одним из возможных направлений повышения продуктивности является использование пробиотических штаммов с выраженными антагонистическими характеристиками в отношении патогенных микроорганизмов. Следует отметить, что для оптимального роста рыбы необходим высокий уровень видоспецифичности структурного микробиома, что в конечном итоге не может гарантировать эффективность применения коммерческих пробиотических препаратов в рационах кормления рыб.

**Результаты.** Представленные научные данные по использованию фитобиотиков свидетельствуют не только о выраженном стимулирующем рост рыб действии, но также и о высоком антиоксидантном и иммуностимулирующем действии. Отдельно стоит отметить высокий уровень эффективности тестируемых растений в отношении патогенных штаммов микроорганизмов *A. hydrophila* (порошок листьев портулака; экстракт плодов кизила; комбинация эфирных масел тимьяна, красного тимьяна и перца розмарина; пищевые наночастицы корицы, комбинация экстрактов кориандра, мальвы обыкновенной, дубового желудя; экстракт пандана кровельного), *A. veronii* (порошок косточек абрикоса), *L. monocytogenes* (экстракт листьев базилика гвоздичного), *S. agalactiae* (экстракт плодов айвы бельгийской). Гипотетически данный механизм можно объяснить не только активацией показателей неспецифического иммунитета, но и влиянием большинства тестируемых в экспериментах растений анти Quorum Sensing эффектом. Данный обзор направлен на описание мировой тенденции использования фитобиотиков в кормлении рыб.

**Ключевые слова:** фитобиотики, кормление рыб, профилактика инфекционных заболеваний, антибиотики, пробиотики, литературный обзор

**Для цитирования:** Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., Килякова Ю.В., Сизенцов А.Н. Применение фитобиотиков в кормлении рыб в качестве альтернативы антибактериальным и пробиотическим препаратам (обзор). *Аграрная наука*. 2023; 372(7): 40–47. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-40-47>

© Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е., Килякова Ю.В., Сизенцов А.Н.

## The use of phytobiotics in fish feeding as an alternative to antibacterial and probiotic preparations (review)

### ABSTRACT

**Relevance.** The use of antibacterial drugs as feed additives for many years has made it possible to reduce the risk of developing infectious pathologies and, as a result, increased the productivity of the industry, in addition to obvious advantages, the constant use of antibiotics develops bacterial resistance, negatively affects representatives of the normoflora of biocenoses and has an accumulating effect in aquaculture. One of the possible ways to increase productivity is the use of probiotic strains with pronounced antagonistic characteristics against pathogenic microorganisms. It should be noted that for optimal fish growth, a high level of species-specificity of the structural microbiome is necessary, which ultimately cannot guarantee the effectiveness of the use of commercial probiotic drugs in fish feeding diets.

**Results.** The presented scientific data on the use of phytobiotics indicate not only a pronounced effect stimulating the growth of fish, but also a high antioxidant and immunostimulating effect. Separately, it is worth noting the high level of effectiveness of the tested plants against pathogenic strains of *A. hydrophila* microorganisms (purslane leaf powder; dogwood fruit extract; a combination of essential oils of thyme, red thyme and rosemary pepper; food nanoparticles of cinnamon, a combination of extracts of coriander, mallow, oak acorn; pandanus roofing extract), *A. veronii* (apricot seed powder), *L. monocytogenes* (basil clove leaf extract), *S. agalactiae* (Belgian quince fruit extract). Hypothetically, this mechanism can be explained not only by the activation of indicators of nonspecific immunity, but also by the influence of the majority of plants tested in experiments with the anti Quorum Sensing effect. This review is aimed at describing the global trend in the use of phytobiotics in fish feeding.

**Key words:** phytobiotics, fish feeding, prevention of infectious diseases, antibiotics, probiotics, literature review

**For citation:** Miroshnikova E.P., Arinzhonov A.E., Kilyakova Yu.V., Sizentsov A.N. The use of phytobiotics in fish feeding as an alternative to antibacterial and probiotic preparations (review). *Agrarian science*. 2023; 372(7): 40–47 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-40-47>

© Miroshnikova E.P., Arinzhonov A.E., Kilyakova Yu.V., Sizentsov A.N.

## Введение/Introduction

Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству — одно из приоритетных стратегических важных направлений развития отрасли животноводства и рыбоводства. Следует отметить, что данные отрасли являются рискованными, так как различные инфекционные патологии могут не только привести к снижению качества конечного продукта, но и нанести существенный экономический ущерб. На протяжении последних десятилетий в качестве основного компонента кормовых добавок, профилирующих возникновение и развитие бактериальных инфекций, являлись антибактериальные препараты. Однако их чрезмерное использование привело к повышению концентрации в системах культивирования и ослаблению естественного иммунитета водных организмов. Многочисленные исследования, направленные на оценку эффективности применения антибактериальных препаратов, свидетельствуют о негативном воздействии на структурный микробиом кишечника, проявляющемся в снижении уровня разнообразия таксономических групп нормофлоры [1, 2], что в конечном итоге приводит к существенным различиям в приросте веса, коэффициенте конверсии корма, удельной скорости роста и нормативному превышению антибактериальных химиотерапевтических препаратов в водных экосистемах [3]. Одним из наиболее перспективных методов кормления рыб с учетом безопасности для окружающей среды и сохранения здоровья является использование пробиотиков, пребиотиков, синбиотиков и фитобиотиков в качестве профилактических препаратов для защиты от инфекционных заболеваний [4].

Производство здоровой пищи из животных с микробиологической точки зрения предполагает учет пищевых патогенов, с одной стороны, и методов борьбы с бактериальными инфекциями при разведении — с другой. Использование пробиотиков представляется наиболее подходящей альтернативой антибактериальным препаратам для решения этих проблем из-за их способности модулировать иммунную систему и кишечную микрофлору. Следует также отметить высокий уровень антагонистической активности отдельных пробиотических штаммов в отношении ряда патогенных микроорганизмов, что в свою очередь позволяет их использовать в качестве фактора роста (иногда ассоциированного с пребиотиками) при их использовании в качестве кормовых добавок [5].

Преимуществом пробиотиков является их способность переносить агрессивные условия желудочно-кишечного тракта, такие как желудочная кислота, pH и соли желчи, способность оказывать благотворное влияние на организм хозяина. Следует отметить, что пробиотики могут оказывать благотворное влияние на продуктивность, здоровье и самочувствие по различным параметрам продуктивности животных. Они стимулируют нативную микробиоту (микроорганизмы, которые присутствуют в месте их происхождения) и выработку короткоцепочечных жирных кислот с доказанными эффектами, такими как противомикробный, гипохолестеринемический и иммуномодулирующий, приводящими к улучшению здоровья кишечника, способности всасывания питательных веществ и продуктивной реакции у животных [6]. Согласно литературным данным, в последние годы в качестве потенциальных пробиотиков в рыбоводстве широко используются различные бактериальные штаммы, однако наиболее перспективными являются *Lactobacillus* spp. и *Bacillus* spp. из-за их высокой

антагонистической активности и продукции внеклеточных ферментов [7–11].

Существенным минусом использования специфических (нормофлора) пробиотиков в аквакультуре является то, что приносящая пользу одним видам бактерия может являться патогеном для других и процесс скрининга играет важную роль в определении видовой специфичности пробиотиков [12].

Одним из наиболее перспективных научных изысканий в области кормления рыб с использованием природных ингибиторов роста патогенных микроорганизмов является применение в качестве кормовых добавок лекарственных растений для улучшения иммунологических или пищевых факторов в аквакультуре [13]. Травяные продукты имеют ряд преимуществ, включая экологичность, низкий уровень побочных эффектов, легкий доступ и экономичность [14]. Действительно, это многофункциональные добавки, оказывающие благотворное влияние на физиологическую активность многих видов рыб [15–17]. Способствуют увеличению скорости роста, антиоксидантного статуса, триггера иммунной системы, снижению восприимчивости к стрессу окружающей среды и инфекционным агентам [18].

Для выращивания рыбы в интенсивных системах требуются высококачественные и функциональные корма [19, 20]. В этом случае кормовые добавки рекомендуются при составлении рецептур высококачественных кормов для улучшения продуктивности и благополучия водных организмов [21]. В долгосрочной перспективе вещества природного происхождения рекомендуются для замены химиотерапии и антибиотиков в аквакультуре [22]. В этом контексте предлагаются различные активные вещества для успешной индустрии аквакультуры [23]. Лекарственные травы и их экстракты являются наиболее часто используемыми и проверенными кормовыми добавками в продуктах питания человека и в животноводстве [24]. Растительные вещества содержат различные функциональные компоненты, которые эффективно влияют на самочувствие и сопротивляемость инфекциям водных животных [25, 26].

Была поставлена цель провести системный анализ литературных данных о перспективности использования фитобиотиков в качестве стимуляторов роста и альтернативы антибактериальным и пробиотическим препаратам в кормлении рыб.

## Материал и методы исследования / Material and methods

Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ — <https://www.elibrary.ru>, ScienceDirect — <https://www.sciencedirect.com>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

Современное представление фитотерапии сводится к использованию растений для профилактики или лечения заболеваний различной этиологии у человека и животных [27]. На рубеже XX века данное направление терапии конкурировало с современной медициной, особенно с антибиотиками [28]. Так, например, эфирные масла и обогащенные полифенолами экстракты довольно часто используются в аквакультуре для повышения промышленной и экологической устойчивости [29]. Известно, что некоторые эфирные масла, извлеченные из ароматических растений, обладают выраженной биологической активностью [30], вследствие чего проявляют выраженное антибактериальное и анти-

окислительное действие [31]. Их использование в лечебных кормах может существенно сократить использование противомикробных препаратов и загрязнение окружающей среды, а также повысить общее состояние животных и безопасность пищевых продуктов [32].

В современной научной литературе представлен значительный объем экспериментальных данных по исследованию эффективности применения фитобиотических препаратов в кормлении рыб в качестве стимуляторов роста, повышения антиоксидантной и иммуностимулирующей активности, а также в качестве препаратов для ликвидации инфекционных заболеваний с целью профилактики и ликвидации инфекционных заболеваний, их использовании в качестве активаторов роста, а также компонентов корма, повышающих пищевую ценность готовой продукции [33]. Наряду с этим в публикациях представлены данные об использовании пищевых отходов (продуктов переработки растениеводства) в аквакультуре для повышения иммунологической и антиоксидантной защиты [34].

В качестве источника фитобиотического компонента корма может использоваться различное растительное сырье — от отдельных частей растения и эфирных масел до измельченных до наноразмеров порошкообразных форм. Основная задача сводится к использованию наиболее эффективных форм фитобиотиков в качестве кормовых добавок к основным рационам кормления для увеличения продуктивности — повышения скорости и интенсивности роста, активации пищеварительных ферментов, повышения уровня антиоксидантной и иммуностимулирующей активности и повышения устойчивости к патогенным микроорганизмам.

Рассмотрим лишь некоторые литературные данные эффективности применения различных фитобиотиков в кормлении рыб.

**Анис (*Pimpinella anisum* L.).** Проведенные экспериментальные исследования на модели европейского морского окуня (*Dicentrarchus labrax*) свидетельствуют о достоверно значимом увеличении живой массы рыбы и содержания сырого протеина при добавлении аниса к основному рациону в концентрации 2,5 г/кг и 3,5 г/кг корма ( $p < 0,05$ ). Антибактериальная активность кишечника выявила значительное снижение количества представителей *Vibrio* spp. по отношению к интактной группе ( $p < 0,05$ ). На фоне применения 1,5 г/кг аниса регистрировали максимальное повышение показателей неспецифического иммунитета (лизоцимная и фагоцитарная активность) ( $p < 0,05$ ) [35].

Травосмесь на основе **мальвы обыкновенной** (*Malva sylvestris*), **душицы** (*Origanum vulgare*) и **персидского лука-шалота** (*Allium hirtifolium* boiss). Исследования, проводимые на модели обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*), свидетельствуют о положительной динамике увеличения живой массы при введении в рацион 2%-ной и 3%-ной травосмеси от общего рациона. Данные концентрации способствовали увеличению содержания белка, повышали активность пищеварительных ферментов — амилазы, липазы, протеазы, иммунитета слизистой оболочки и кишечника, включая общий иммуноглобулин (общий Ig), лизоцим, альтернативную активность комплемента [36]. Основной задачей введения в рацион кормовых антибиотиков является профилактика бактериальных инфекций, оказывающих негативное влияние на развитие организма. Введение в кормовую базу фитохимических соединений с выраженным иммуномоделирующим действием способствует активации защитных механизмов неспецифической

резистентности организма, обеспечивая высокие показатели устойчивости в отношении патогенных и условно-патогенных штаммов микроорганизмов и, как следствие, стабильные показатели роста, что функционально соответствует кормовым антибактериальным веществам и позволяет использовать фитобиотические вещества в качестве их альтернативы.

**Персидский лук-шалот (*Allium stipitatum*).** Модельный эксперимент на радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) свидетельствует о значительном повышении конечного веса и удельной скорости роста у рыб, получающих основной рацион с добавлением 1%-ного и 2%-ного фитобиотика. Наряду с этим в данных экспериментальных группах регистрировали снижение коэффициента конверсии корма, увеличение ферментативной (амилаза, липаза, протеаза) и лизоцимной активности, общего иммуноглобулина (Ig) и компонентов комплемента C3 и C4 [37].

**Экстракт плодов барбариса (*Berberis vulgaris*).** Проводимые исследования на модели сибирского осетра (*Acipenser baerii*) свидетельствуют о существенном увеличении лизоцимной активности, компонента комплемента C4 ( $p < 0,05$ ), активности протеазы и эстеразы в образцах кожной слизи, что, как следствие, повышает антибактериальную особенность организма рыбы в отношении *Streptococcus iniae*, *Yersinia ruckeri*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* и *Lactococcus garvieae* на фоне применения экстракта в концентрации 750 мг/кг корма [38].

**Экстракт плодов айвы бельгийской (*Aegle marmelos*).** Исследование эффективности применения данного фитобиотика на модели нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) свидетельствует о значительном увеличении среднесуточного прироста и удельной скорости роста на фоне применения данного фитобиотика в концентрациях 15 г/кг и 20 г/кг корма. Наряду с этим в данных группах регистрировали повышение антиоксидантной активности ферментов, показателей неспецифического иммунитета и активности пищеварительных ферментов. В условиях создания экспериментальной инфекции, вызванной *Streptococcus agalactiae*, была установлена более высокая выживаемость в группе с добавлением 20 г/кг экстракта айвы на 1 кг корма по сравнению с интактной [39].

**Экстракт плодов кизила (*Cornus mas* L.).** На модели обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*) экспериментально установлено, что введение в рацион 0,5%-ного и 1%-ного экстракта на 1 кг корма существенно увеличивает удельный темп роста, среднесуточные привесы ( $p < 0,05$ ), общий иммуноглобулин и лизоцимную активность, что позволило значительно повысить уровень устойчивости организма карпа к патогенному воздействию *A. hydrophila* в условиях тестового заражения [40].

**Порошок листьев портулака (*Portulaca oleracea*).** Исследования, проводимые на нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*), свидетельствуют о том, что рост рыбы, прибавка в весе и удельная скорость роста значительно снижаются по мере увеличения содержания портулака в рационе рыб (2% и 3% на 1 кг) по сравнению с контрольной группой, однако рыба, которую кормили портулаком, показала самый высокий относительный процент выживаемости в условиях создания экспериментальной инфекции *A. hydrophila* с максимальными показателями в группе с применением 3% на 1 кг корма (81,25%), тогда как в контрольной группе рыб летальность составила 100% [41].

**Пищевые наночастицы корицы (*Cinnamotum verum*).** Исследования эффективности применения данного фитобиотика, проводимые на модели нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*), свидетельствуют о значительном увеличении продуктивности рыб в группах с добавлением исследуемой добавки в концентрации 3,0 г/кг, 5,0 г/кг и 10,0 г/кг рациона, наряду с этим в данных группах отмечалось повышение содержания сырого протеина в теле рыбы, антиоксидантной стимулирующей активности, индуцирование секреции протеазы, липазы и амилазы, а также активация показателей неспецифического иммунитета. Авторами исследования установлено, что пищевые наночастицы корицы в концентрации 3,0 г/кг корма предотвращают гибель рыбы от инфекции, вызванной *A. hydrophila*, в то время как в контрольной группе наблюдалась гибель 66,7% рыб [42].

**Базилик (*Ocimum gratissimum*).** На модели африканского сома (*Clarias gariepinus*) экспериментально установлено, что использование листьев данного растения в концентрации 12 г/кг корма основного рациона значительно улучшает показатели интенсивности роста и потребление корма, а также оказывает положительную динамику на гематологические, физиологические показатели организма рыб и повышает антиоксидантную активность и показатели неспецифического иммунитета. Экспериментальное заражение *Listeria monocytogenes* на фоне применения листьев базилика свидетельствует об эффективности данного фитобиотика в качестве антибактериального компонента корма, позволяющего сохранить 86,5% поголовья против 15,0% показателей контрольной группы заражения [43].

**Порошок косточек абрикоса (*Prunus armeniaca*).** Исследования, проводимые на модели обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*), свидетельствуют о значительном улучшении показателей удельной скорости роста, прироста живой массы и увеличении коэффициента конверсии корма при введении в рацион экспериментальной рыбы 10 г порошка на 1 кг корма. Включение в рацион данного фитобиотика способствует повышению активности пищеварительных ферментов, иммунологических биомаркеров (антипротеазная и лизоцимная активность) и антиоксидантной активности. Экспериментальное инфицирование рыб *A. veronii* на фоне применения порошка косточек абрикоса свидетельствует о прямой зависимости между дозой вводимого в корм фитобиотика и уровнем сохранности поголовья: 2,5 г — 50%, 5,0 г — 66,67%, 10,0 г — 83,33% соответственно [44].

**Экстракт плодов витекса (*Vitex agnus-castus*).** На модели золотых рыбок (*Carassius auratus*) установлено наличие выраженной положительной динамики прироста живой массы тела на фоне снижения коэффициента конверсии корма по введению в рацион данного

фитобиотика в концентрации 1,5% на 1 кг корма основного рациона ( $p < 0,05$ ). Экспериментально установлено на активации экспрессии гормонов роста и инсулиноподобного фактора ( $p < 0,05$ ) [45].

**Комбинация экстрактов лекарственных трав: кориандр (*Coriandrum sativum*), мальва обыкновенная (*Malva sylvestris*) и дубовый желудь (*Quercus brantii*).** В исследованиях, проводимых на модели обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*), установлена высокая эффективность применения данного комплекса экстрактов (прирост массы, удельная скорость роста, коэффициент конверсии корма) с максимально значимыми показателями в группе с добавлением 5% на 1 кг основного корма ( $p < 0,05$ ). Также установлено, что во всех опытных группах на фоне применения 0,5%, 1%, 3% и 5% на 1 кг корма отмечается активация антиоксидантных биомаркеров и иммунных параметров (лизоцим, общий иммуноглобулин). Максимальный уровень сохранности поголовья при экспериментальном инфицировании *A. hydrophila* составил в группе с применением фитобиотика в концентрации 3% на 1 кг [46].

**Смесь экстрактов тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris*), майорана (*Origanum majorana*) и чабра душистого (*Satureja hortensis*).** На модели обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*) установлено, что использование в рационе 1% и 2% смеси экстрактов способствует увеличению прироста живой массы, удельной скорости роста, выживаемости по сравнению с показателями интактной группы ( $p < 0,05$ ). Следует отметить, что максимальные показатели лизоцимной активности и количества общего иммуноглобулина регистрируются при добавлении в рацион 2% смеси ( $p < 0,05$ ). Однако обобщенный анализ, основанный на кормовой эффективности, показателях роста, иммунологических реакциях и антиоксидантного статуса карпа, позволяет сделать заключение, что оптимальная дозировка используемых экстрактов составляет 1% на 1 кг общего рациона [47].

**Экстракт пандана кроветельного (*Pandanus tectorius*).** В исследованиях, проводимых в модельном эксперименте на карпе обыкновенном (*Cyprinus carpio*), установлено, что введение в рацион 20 г/кг корма экстракта позволяет существенно увеличить показатели конечной прибавки массы тела ( $p < 0,05$ ), повысить уровень антиоксидантной активности печени. Также установлено, что применение фитобиотика в указанной концентрации демонстрирует самый высокий процент выживаемости (70,37%) на фоне заражения *Aeromonas hydrophila* [48].

Наряду с вышеизложенным в современной литературе представлены обширные данные использования лекарственных трав (фитобиотиков) как для борьбы, так и для снижения негативного эффекта воздействия

Таблица 1. Обзор данных использования фитобиотиков на модели нильской тилапии (*O. niloticus*) для борьбы и профилактики с *Aeromonas hydrophila* (Abdul Kari Z et al. 2022)

Table 1. Review of data on the use of phytochemicals in the Nile tilapia (*O. niloticus*) model for the control and prevention of *Aeromonas hydrophila* (Abdul Karim Z. et al., 2022)

Используемый фитобиотик	Доза	Продолжительность использования	Ссылка
Гуайава обыкновенная ( <i>Psidium guajava</i> )	4–24 мл/кг корма	10 дней	Pachanawan A. et al. 2008 [50]
Астрагал перепончатый и жимолость японская ( <i>Astragalus membranaceus</i> , <i>Lonicera japonica</i> )	0,1% на 1 кг корма	28 дней	Ardó L. et al. 2008 [51]
Зеленый чай ( <i>Camellia sinensis</i> L.)	0,5 г/кг корма	12 недель	Abdel-Tawwab M. et al. 2011 [52]
Корица ( <i>Cinnamotum zeylanicum</i> )	1% от основного рациона	8 недель	Ahmad M.H. et al. 2011 [53]
Американский женьшень ( <i>Panax quinquefolium</i> )	1–5 г/кг рациона	8 недель	Abdel-Tawwab M. 2012 [54]
Омега белая ( <i>Viscum album coloratum</i> )	50 мл/кг корма	80 дней	Park K.H., Choi S.H. 2012 [55]
Фисташка ( <i>Pistacia vera-derived polysaccharide</i> )	5–10 г/кг корма	60 дней	Mohammadi G. et al. 2020 [56]
Розмарин ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )	10 г/кг корма	14 дней	Naiei M.A. et al. 2020 [57]
Эфирное масло тимьяна, красного тимьяна и розмарин	1,2 мл/г корма	20 дней	Estaio de Rezende R.A. et al. 2021 [58]
Сальвадора персидская ( <i>Salvadora persica</i> )	2% от основного рациона	8 недель	Abd El-latif A.M. et al. 2021 [59]



*Aeromonas hydrophila* на различных представителей аквакультуры [49] (табл. 1).

Основным критерием отбора фитобиотических компонентов корма (фитобиотик, фитохимическое вещество) в качестве кормовых добавок в рационах рыб обусловлено в первую очередь их высоким биологическим потенциалом. Следует отметить, что выбор фитобиотиков обусловлен не только их активностью и выраженным стимулирующим рост действием, но доступностью растительного сырья для производства готовых кормовых добавок, что в конечном итоге позволяет снижать себестоимость готовой продукции.

## Выводы/Conclusion

Анализ литературных данных по использованию различных фитобиотических препаратов свидетельствует о перспективности и научной новизне данного направления в области кормления и аквакультуре в целом. Поиск альтернативной замены высокоэффективным антибактериальным препаратам как природного, так и синтетического происхождения для данной отрасли в настоящее время является весьма актуальной проблемой. Это связано с тем, что антибактериальные препараты способны накапливаться в биологических системах, уровень их эффективности постепенно сводится к минимуму, что обусловлено формированием полирезистентных штаммов микроорганизмов, способных передавать генетическую информацию о механизмах резистентности.

Наряду с антибиотиками широкое распространение в животноводческой отрасли и аквакультуре получили кормовые пробиотики, пребиотики и синбиотики, однако следует отметить, что использование в структуре аквакультуры нормоспецифических (представители микробиома) бактериальных штаммов является относительно проблемным направлением, так как типовые представители одного вида рыб могут выступать

в качестве патогена для других, а использование транзитных штаммов не всегда позволяет получить высокие производственные характеристики.

Представленные научные данные по использованию фитобиотиков свидетельствуют не только о выраженном стимулирующем рост рыб действии, но также и о высоком антиоксидантном и иммуностимулирующем действии. Отдельно стоит отметить высокий уровень эффективности тестируемых растений в отношении патогенных штаммов микроорганизмов *A. hydrophila* (порошок листьев портулака, экстракт плодов кизила, комбинация эфирных масел тимьяна, красного тимьяна и перца розмарина, пищевые наночастицы корицы, комбинация экстрактов кориандра, мальвы обыкновенной и дубового желудя, экстракт пандана кровельного), *A. veronii* (порошок косточек абрикоса), *L. monocytogenes* (экстракт листьев базилика гвоздичного), *S. agalactiae* (экстракт плодов айвы бельгийской). Гипотетически данный механизм можно объяснить не только активацией показателей неспецифического иммунитета, но и влиянием большинства тестируемых в экспериментах растений анти *Quorum Sensing* эффектом. Так, например, имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о высоких ингибирующих характеристиках лемонграсса в отношении биопленкообразования [49–51], что подтверждается экспериментальными исследованиями на модели нильской тиляпии [52], в ходе которых было установлено, что данный фитобиотик не только повышает показатели продуктивности, но и существенно снижает смертность от *A. hydrophila*.

Обобщенный анализ полученных данных свидетельствует о необходимости научных изысканий, направленных на поиск новых альтернативных биологически активных соединений на основе растительного сырья, определения способа их подготовки и дозировок с учетом направленности их действия (стимуляторы роста, противомикробные препараты и т. д.) и вида рыб.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

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

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Материалы подготовлены в рамках конкурса Российского научного фонда 2022 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми научными группами» (Соглашение от 27.12.2021 № 22-26-00281).

## FUNDING:

The materials were prepared as part of the 2022 competition of the Russian Science Foundation «Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small scientific groups» (Agreement of 27.12.2021 No. 22-26-00281).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhou L., Mchele Limbu S., Qiao F., Du Z.Y., Zhang M. Influence of Long-Term Feeding Antibiotics on the Gut Health of Zebrafish. *Zebrafish*. 2018; 15(4): 340–348. <https://doi.org/10.1089/zeb.2017.1526>
2. Trushenski J.T. et al. Oxytetracycline does not cause growth promotion in finfish. *Journal of Animal Science*. 2018; 96(5): 1667–1677. <https://doi.org/10.1093/jas/sky120>
3. Huang L. et al. Occurrence, distribution, and health risk assessment of quinolone antibiotics in water, sediment, and fish species of Qingshitan reservoir, South China. *Scientific Reports*. 2020; 10: 15777. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72324-9>
4. Dawood M.A.O., Abo-Al-Ela H.G., Hasan M.T. Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: Probiotics, prebiotics and synbiotics scenarios. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 97: 268–282. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.054>
5. Arsène M.M.J. et al. The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics. *Veterinary World*. 2021; 14(2): 319–328. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.319-328>
6. Melara E.G., Avellaneda M.C., Valdivié M., García-Hernández Y., Aroche R., Martínez Y. Probiotics: Symbiotic Relationship with the Animal Host. *Animals*. 2022; 12: 719. <https://doi.org/10.3390/ani12060719>

## REFERENCES

1. Zhou L., Mchele Limbu S., Qiao F., Du Z.Y., Zhang M. Influence of Long-Term Feeding Antibiotics on the Gut Health of Zebrafish. *Zebrafish*. 2018; 15(4): 340–348. <https://doi.org/10.1089/zeb.2017.1526>
2. Trushenski J.T. et al. Oxytetracycline does not cause growth promotion in finfish. *Journal of Animal Science*. 2018; 96(5): 1667–1677. <https://doi.org/10.1093/jas/sky120>
3. Huang L. et al. Occurrence, distribution, and health risk assessment of quinolone antibiotics in water, sediment, and fish species of Qingshitan reservoir, South China. *Scientific Reports*. 2020; 10: 15777. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72324-9>
4. Dawood M.A.O., Abo-Al-Ela H.G., Hasan M.T. Modulation of transcriptomic profile in aquatic animals: Probiotics, prebiotics and synbiotics scenarios. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 97: 268–282. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.054>
5. Arsène M.M.J. et al. The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics. *Veterinary World*. 2021; 14(2): 319–328. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.319-328>
6. Melara E.G., Avellaneda M.C., Valdivié M., García-Hernández Y., Aroche R., Martínez Y. Probiotics: Symbiotic Relationship with the Animal Host. *Animals*. 2022; 12: 719. <https://doi.org/10.3390/ani12060719>

7. Banerjee G., Ray A.K. The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries. *Research in Veterinary Science*. 2017; 115: 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.016>
8. Hai N.V. Research findings from the use of probiotics in tilapia aquaculture: A review. *Fish & Shellfish Immunology*. 2015; 45(2): 592–597. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.05.026>
9. 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://doi.org/10.1159/000106089>
10. Meidong R. *et al.* A novel probiotic *Bacillus siamensis* B44v isolated from Thai pickled vegetables (*Phak-dong*) for potential use as a feed supplement in aquaculture. *The Journal of General and Applied Microbiology*. 2017; 63(4): 246–253. <https://doi.org/10.2323/jgam.2016.12.002>
11. Olmos J., Acosta M., Mendoza G., Pitones V. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of Microbiology*. 2020; 202(3): 427–435. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01757-2>
12. Hai N.V. The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*. 2015; 119(4): 917–935. <https://doi.org/10.1111/jam.12886>
13. Rashmei M., Shekarabi S.P.H., Mehrgan M.S., Paknejad H. Stimulatory effect of dietary chasteberry (*Vitex agnus-castus*) extract on immunity, some immune-related gene expression, and resistance against *Aeromonas hydrophila* infection in goldfish (*Carassius auratus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 107(A): 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.037>
14. Reverter M., Bontemps N., Lecchini D., Banaigs B., Sasal P. Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture*. 2014; 433: 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>
15. Awad E., Awaad A. Role of medicinal plants on growth performance and immune status in fish. *Fish & Shellfish Immunology*. 2017; 67: 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.05.034>
16. Hoseinifar S.H. *et al.* Dietary supplementation of lemon verbena (*Aloysia citrodora*) improved immunity, immune-related genes expression and antioxidant enzymes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 99: 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.02.006>
17. Yousefi M., Farsani M.N., Ghafarifarani H., Hoseinifar S.H., Doan H.V. The effects of dietary supplementation of mistletoe (*Viscum album*) extract on the growth performance, antioxidant, and innate, immune responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2021; 536: 736385. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736385>
18. Ebrahimi E., Haghighi M., Nematollahi A., Goudarzi F. Effects of rosemary essential oil on growth performance and hematological parameters of young great sturgeon (*Huso huso*). *Aquaculture*. 2020; 521: 734909. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734909>
19. David L.H., Pinho S.M., Agostinho F., Kimpara J.M., Keesman K.J., Garcia F. Energy synthesis for aquaculture: A review on its constraints and potentials. *Reviews in Aquaculture*. 2021; 13(2): 1119–1138. <https://doi.org/10.1111/raq.12519>
20. Paray B.A., El-Basuini M.F., Alagawany M., Albeshr M.F., Farah M.A., Dawood M.A.O. *Yucca schidigera* usage for healthy aquatic animals: potential roles for sustainability. *Animals*. 2021; 11(1): 93. <https://doi.org/10.3390/ani11010093>
21. Dawood M.A.O., Koshio S., Esteban M.Á. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*. 2018; 10(4): 950–974. <https://doi.org/10.1111/raq.12209>
22. Limbu S.M., Chen L.Q., Zhang M.L., Du Z.Y. A global analysis on the systemic effects of antibiotics in cultured fish and their potential human health risk: a review. *Reviews in Aquaculture*. 2021; 13(2): 1015–1059. <https://doi.org/10.1111/raq.12511>
23. Zhou M., Yu S., Hong B., Li J., Han H., Qie G. Antibiotics control in aquaculture requires more than antibiotic-free feeds: a tilapia farming case. *Environmental Pollution*. 2021; 268(B): 115854. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115854>
24. Gupta N., Rani Kar S., Chakraborty A. A review on medicinal plants and immune status of fish. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 2021; 25(2): 897–912. <https://doi.org/10.21608/ejafb.2021.170062>
25. Ashry A.M. *et al.* The impact of dietary curcumin on the growth performance, intestinal antibacterial capacity, and haemato-biochemical parameters of Gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Animals*. 2021; 11(6): 1779. <https://doi.org/10.3390/ani11061779>
26. Reverter M., Tapissier-Bontemps N., Sarter S., Sasal P., Caruso D. Moving towards more sustainable aquaculture practices: a meta-analysis on the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. *Reviews in Aquaculture*. 2021; 13(1): 537–555. <https://doi.org/10.1111/raq.12485>
27. Falzon C.C., Balabanova A. Phytotherapy: An introduction to herbal medicine. *Primary Care: Clinics in Office Practice*. 2017; 44(2): 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2017.02.001>
28. Raman R.P. Applicability, feasibility and efficacy of phytotherapy in aquatic animal health management. *American Journal of Plant Sciences*. 2017; 8(2): 257–287. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.82019>
29. Vaseeharan B., Thaya R. Medicinal plant derivatives as immunostimulants: An alternative to chemotherapeutics and antibiotics in aquaculture. *Aquaculture International*. 2014; 22(3): 1079–1091. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9729-3>
30. Souza C.de.F., Baldissera M.D., Baldisserotto B., Heinzmann B.M., Martos-Sitcha J.A., Mancera J.M. Essential oils as stressreducing agents for fish aquaculture: A review. *Frontiers in Physiology*. 2019; 10: 785. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00785>
7. Banerjee G., Ray A.K. The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries. *Research in Veterinary Science*. 2017; 115: 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.016>
8. Hai N.V. Research findings from the use of probiotics in tilapia aquaculture: A review. *Fish & Shellfish Immunology*. 2015; 45(2): 592–597. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.05.026>
9. 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://doi.org/10.1159/000106089>
10. Meidong R. *et al.* A novel probiotic *Bacillus siamensis* B44v isolated from Thai pickled vegetables (*Phak-dong*) for potential use as a feed supplement in aquaculture. *The Journal of General and Applied Microbiology*. 2017; 63(4): 246–253. <https://doi.org/10.2323/jgam.2016.12.002>
11. Olmos J., Acosta M., Mendoza G., Pitones V. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of Microbiology*. 2020; 202(3): 427–435. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01757-2>
12. Hai N.V. The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*. 2015; 119(4): 917–935. <https://doi.org/10.1111/jam.12886>
13. Rashmei M., Shekarabi S.P.H., Mehrgan M.S., Paknejad H. Stimulatory effect of dietary chasteberry (*Vitex agnus-castus*) extract on immunity, some immune-related gene expression, and resistance against *Aeromonas hydrophila* infection in goldfish (*Carassius auratus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 107(A): 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.037>
14. Reverter M., Bontemps N., Lecchini D., Banaigs B., Sasal P. Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture*. 2014; 433: 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>
15. Awad E., Awaad A. Role of medicinal plants on growth performance and immune status in fish. *Fish & Shellfish Immunology*. 2017; 67: 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.05.034>
16. Hoseinifar S.H. *et al.* Dietary supplementation of lemon verbena (*Aloysia citrodora*) improved immunity, immune-related genes expression and antioxidant enzymes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 99: 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.02.006>
17. Yousefi M., Farsani M.N., Ghafarifarani H., Hoseinifar S.H., Doan H.V. The effects of dietary supplementation of mistletoe (*Viscum album*) extract on the growth performance, antioxidant, and innate, immune responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2021; 536: 736385. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736385>
18. Ebrahimi E., Haghighi M., Nematollahi A., Goudarzi F. Effects of rosemary essential oil on growth performance and hematological parameters of young great sturgeon (*Huso huso*). *Aquaculture*. 2020; 521: 734909. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734909>
19. David L.H., Pinho S.M., Agostinho F., Kimpara J.M., Keesman K.J., Garcia F. Energy synthesis for aquaculture: A review on its constraints and potentials. *Reviews in Aquaculture*. 2021; 13(2): 1119–1138. <https://doi.org/10.1111/raq.12519>
20. Paray B.A., El-Basuini M.F., Alagawany M., Albeshr M.F., Farah M.A., Dawood M.A.O. *Yucca schidigera* usage for healthy aquatic animals: potential roles for sustainability. *Animals*. 2021; 11(1): 93. <https://doi.org/10.3390/ani11010093>
21. Dawood M.A.O., Koshio S., Esteban M.Á. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*. 2018; 10(4): 950–974. <https://doi.org/10.1111/raq.12209>
22. Limbu S.M., Chen L.Q., Zhang M.L., Du Z.Y. A global analysis on the systemic effects of antibiotics in cultured fish and their potential human health risk: a review. *Reviews in Aquaculture*. 2021; 13(2): 1015–1059. <https://doi.org/10.1111/raq.12511>
23. Zhou M., Yu S., Hong B., Li J., Han H., Qie G. Antibiotics control in aquaculture requires more than antibiotic-free feeds: a tilapia farming case. *Environmental Pollution*. 2021; 268(B): 115854. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115854>
24. Gupta N., Rani Kar S., Chakraborty A. A review on medicinal plants and immune status of fish. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 2021; 25(2): 897–912. <https://doi.org/10.21608/ejafb.2021.170062>
25. Ashry A.M. *et al.* The impact of dietary curcumin on the growth performance, intestinal antibacterial capacity, and haemato-biochemical parameters of Gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Animals*. 2021; 11(6): 1779. <https://doi.org/10.3390/ani11061779>
26. Reverter M., Tapissier-Bontemps N., Sarter S., Sasal P., Caruso D. Moving towards more sustainable aquaculture practices: a meta-analysis on the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. *Reviews in Aquaculture*. 2021; 13(1): 537–555. <https://doi.org/10.1111/raq.12485>
27. Falzon C.C., Balabanova A. Phytotherapy: An introduction to herbal medicine. *Primary Care: Clinics in Office Practice*. 2017; 44(2): 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2017.02.001>
28. Raman R.P. Applicability, feasibility and efficacy of phytotherapy in aquatic animal health management. *American Journal of Plant Sciences*. 2017; 8(2): 257–287. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.82019>
29. Vaseeharan B., Thaya R. Medicinal plant derivatives as immunostimulants: An alternative to chemotherapeutics and antibiotics in aquaculture. *Aquaculture International*. 2014; 22(3): 1079–1091. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9729-3>
30. Souza C.de.F., Baldissera M.D., Baldisserotto B., Heinzmann B.M., Martos-Sitcha J.A., Mancera J.M. Essential oils as stressreducing agents for fish aquaculture: A review. *Frontiers in Physiology*. 2019; 10: 785. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00785>

31. Vercelli C. *et al.* In vitro and in vivo evaluation of a new phytotherapeutic blend to treat acute externa otitis in dogs. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 2021; 44(6): 910–918. <https://doi.org/10.1111/jvp.13000>
32. Citarasu T. Herbal biomedicines: A new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International*. 2010; 18(3): 403–414. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9253-7>
33. Dawood M.A.O. *et al.* Exploring the Roles of Dietary Herbal Essential Oils in Aquaculture: A Review. *Animals*. 2022; 12(7): 823. <https://doi.org/10.3390/ani12070823>
34. Bertocci F., Mannino G. Can Agri-Food Waste Be a Sustainable Alternative in Aquaculture? A Bibliometric and Meta-Analytic Study on Growth Performance, Innate Immune System, and Antioxidant Defenses. *Foods*. 2022; 11(13): 1861. <https://doi.org/10.3390/foods11131861>
35. Ashry A.M. *et al.* Dietary anise (*Pimpinella anisum* L.) enhances growth performance and serum immunity of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Reports*. 2022; 23: 101083. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101083>
36. Ghafarifarani H., Hoseinifar S.H., Adorian T.J., Ferrigolo F.R.G., Raissy M., Doan H.V. The effects of combined inclusion of *Malvae sylvestris*, *Origanum vulgare*, and *Allium hirtifolium* boiss for common carp (*Cyprinus carpio*) diet: Growth performance, antioxidant defense, and immunological parameters. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021; 119: 670–677. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.10.014>
37. Pezhman S., Shekarabia H., Javarsiania L., Mehrgana M.S., Dawood M.A.O., Adelc M. Growth performance, blood biochemistry profile, and immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed dietary Persian shallot (*Allium stipitatum*) powder. *Aquaculture*. 2022; 548(1): 737627. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737627>
38. Shekarabi S.P.H. *et al.* Effect of dietary barberry fruit (*Berberis vulgaris*) extract on immune function, antioxidant capacity, antibacterial activity, and stress-related gene expression of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Aquaculture Reports*. 2022; 23: 101041. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101041>
39. Wangkahart E., Wachiraamonloed S., Lee P.-T., Subramani P.A., Qi Z., Wang B. Impacts of *Aegle marmelos* fruit extract as a medicinal herb on growth performance, antioxidant and immune responses, digestive enzymes, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 120: 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.015>
40. Ahmadifar E. *et al.* Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruit extract improves growth performance, disease resistance, and serum immune- and antioxidant-related gene expression of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*. 2022; 558: 738372. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738372>
41. Abdel-Razek N., Awad S.M., Abdel-Tawwab M. Effect of dietary purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves powder on growth, immunostimulation, and protection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* against *Aeromonas hydrophila* infection. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2019; 45(6): 1907–1917. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00685-8>
42. Abdel-Tawwab M., Sameer F., El-Nabi A.S.A., Monnier M.N. Antioxidative and immunostimulatory effect of dietary cinnamon nanoparticles on the performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) and its susceptibility to hypoxia stress and *Aeromonas hydrophila* infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018; 74: 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.12.033>
43. Abdel-Tawwab M., Adeshina I., Jenyo-Oni A., Ajani E.K., Emikpe B.O. Growth, physiological, antioxidants, and immune response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.), to dietary clove basil, *Ocimum gratissimum*, leaf extract and its susceptibility to *Listeria monocytogenes* infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018; 78: 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.04.057>
44. Mahboub H.H. *et al.* Immune-antioxidant trait, *Aeromonas veronii* resistance, growth, intestinal architecture, and splenic cytokines expression of *Cyprinus carpio* fed *Prunus armeniaca* kernel-enriched diets. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 124: 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.03.048>
45. Rashmeei M., Shekarabi S.P.H., Mehrgan M.S., Paknejad H. Assessment of dietary chaste tree (*Vitex agnus-castus*) fruit extract on growth performance, hemato-biochemical parameters, and mRNA levels of growth and appetite-related genes in goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture and Fisheries*. 2022; 7(3): 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.01.007>
46. Raissy M., Ghafarifarani H., Hoseinifar S.H., El-Haroun E.R., Shahbazi N.S., Doan H.V. The effect of dietary combined herbs extracts (oak acorn, coriander, and common mallow) on growth, digestive enzymes, antioxidant and immune response, and resistance against *Aeromonas hydrophila* infection in common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*. 2022; 546: 737287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737287>
47. Rudiansyah M. *et al.* Beneficial alterations in growth performance, blood biochemicals, immune responses, and antioxidant capacity of common carp (*Cyprinus carpio*) fed a blend of *Thymus vulgaris*, *Origanum majorana*, and *Satureja hortensis* extracts. *Aquaculture*. 2022; 555: 738254. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738254>
48. Cheng C., Park S.C., Giri S.S. Effect of *Pandanus tectorius* extract as food additive on oxidative stress, immune status, and disease resistance in *Cyprinus carpio*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 120: 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.004>
49. Abdul Kari Z. *et al.* Role of phytobiotics in relieving the impacts of *Aeromonas hydrophila* infection on aquatic animals: A mini-review. *Front Vet Sci*. 2022; 9: 1023784. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023784>
50. Pachanawan A., Phumkhachorn P., Rattanachaiakunsopon P. Potential of Psidium guajava supplemented fish diets in controlling *Aeromonas hydrophila* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J. Biosci Bioeng*. 2008; 106(5): 419–424. <https://doi.org/10.1263/jbb.106.419>
51. Vercelli C. *et al.* In vitro and in vivo evaluation of a new phytotherapeutic blend to treat acute externa otitis in dogs. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 2021; 44(6): 910–918. <https://doi.org/10.1111/jvp.13000>
52. Citarasu T. Herbal biomedicines: A new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International*. 2010; 18(3): 403–414. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9253-7>
53. Dawood M.A.O. *et al.* Exploring the Roles of Dietary Herbal Essential Oils in Aquaculture: A Review. *Animals*. 2022; 12(7): 823. <https://doi.org/10.3390/ani12070823>
54. Bertocci F., Mannino G. Can Agri-Food Waste Be a Sustainable Alternative in Aquaculture? A Bibliometric and Meta-Analytic Study on Growth Performance, Innate Immune System, and Antioxidant Defenses. *Foods*. 2022; 11(13): 1861. <https://doi.org/10.3390/foods11131861>
55. Ashry A.M. *et al.* Dietary anise (*Pimpinella anisum* L.) enhances growth performance and serum immunity of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Reports*. 2022; 23: 101083. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101083>
56. Ghafarifarani H., Hoseinifar S.H., Adorian T.J., Ferrigolo F.R.G., Raissy M., Doan H.V. The effects of combined inclusion of *Malvae sylvestris*, *Origanum vulgare*, and *Allium hirtifolium* boiss for common carp (*Cyprinus carpio*) diet: Growth performance, antioxidant defense, and immunological parameters. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021; 119: 670–677. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.10.014>
57. Pezhman S., Shekarabia H., Javarsiania L., Mehrgana M.S., Dawood M.A.O., Adelc M. Growth performance, blood biochemistry profile, and immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed dietary Persian shallot (*Allium stipitatum*) powder. *Aquaculture*. 2022; 548(1): 737627. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737627>
58. Shekarabi S.P.H. *et al.* Effect of dietary barberry fruit (*Berberis vulgaris*) extract on immune function, antioxidant capacity, antibacterial activity, and stress-related gene expression of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Aquaculture Reports*. 2022; 23: 101041. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101041>
59. Wangkahart E., Wachiraamonloed S., Lee P.T., Subramani P.A., Qi Z., Wang B. Impacts of *Aegle marmelos* fruit extract as a medicinal herb on growth performance, antioxidant and immune responses, digestive enzymes, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 120: 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.015>
60. Ahmadifar E. *et al.* Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruit extract improves growth performance, disease resistance, and serum immune- and antioxidant-related gene expression of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*. 2022; 558: 738372. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738372>
61. Abdel-Razek N., Awad S.M., Abdel-Tawwab M. Effect of dietary purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves powder on growth, immunostimulation, and protection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* against *Aeromonas hydrophila* infection. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2019; 45(6): 1907–1917. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00685-8>
62. Abdel-Tawwab M., Sameer F., El-Nabi A.S.A., Monnier M.N. Antioxidative and immunostimulatory effect of dietary cinnamon nanoparticles on the performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) and its susceptibility to hypoxia stress and *Aeromonas hydrophila* infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018; 74: 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.12.033>
63. Abdel-Tawwab M., Adeshina I., Jenyo-Oni A., Ajani E.K., Emikpe B.O. Growth, physiological, antioxidants, and immune response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.), to dietary clove basil, *Ocimum gratissimum*, leaf extract and its susceptibility to *Listeria monocytogenes* infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018; 78: 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.04.057>
64. Mahboub H.H. *et al.* Immune-antioxidant trait, *Aeromonas veronii* resistance, growth, intestinal architecture, and splenic cytokines expression of *Cyprinus carpio* fed *Prunus armeniaca* kernel-enriched diets. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 124: 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.03.048>
65. Rashmeei M., Shekarabi S.P.H., Mehrgan M.S., Paknejad H. Assessment of dietary chaste tree (*Vitex agnus-castus*) fruit extract on growth performance, hemato-biochemical parameters, and mRNA levels of growth and appetite-related genes in goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture and Fisheries*. 2022; 7(3): 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.01.007>
66. Raissy M., Ghafarifarani H., Hoseinifar S.H., El-Haroun E.R., Shahbazi N.S., Doan H.V. The effect of dietary combined herbs extracts (oak acorn, coriander, and common mallow) on growth, digestive enzymes, antioxidant and immune response, and resistance against *Aeromonas hydrophila* infection in common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*. 2022; 546: 737287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737287>
67. Rudiansyah M. *et al.* Beneficial alterations in growth performance, blood biochemicals, immune responses, and antioxidant capacity of common carp (*Cyprinus carpio*) fed a blend of *Thymus vulgaris*, *Origanum majorana*, and *Satureja hortensis* extracts. *Aquaculture*. 2022; 555: 738254. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738254>
68. Cheng C., Park S.C., Giri S.S. Effect of *Pandanus tectorius* extract as food additive on oxidative stress, immune status, and disease resistance in *Cyprinus carpio*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 120: 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.004>
69. Abdul Kari Z. *et al.* Role of phytobiotics in relieving the impacts of *Aeromonas hydrophila* infection on aquatic animals: A mini-review. *Front Vet Sci*. 2022; 9: 1023784. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023784>
70. Pachanawan A., Phumkhachorn P., Rattanachaiakunsopon P. Potential of Psidium guajava supplemented fish diets in controlling *Aeromonas hydrophila* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J. Biosci Bioeng*. 2008; 106(5): 419–424. <https://doi.org/10.1263/jbb.106.419>



51. Ardó L., Yin G., Xu P., Váradi L., Szigeti G., Jeney Z. *et al.* Chinese herbs (*Astragalus membranaceus* and *Lonicera japonica*) and boron enhance the non-specific immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and resistance against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*. 2008; 275: 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.022>
52. Abdel-Tawwab M. *et al.* Use of green tea, *Camellia sinensis* L., in practical diet for growth and protection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), against *Aeromonas hydrophila* infection. *Journal of the World Aquaculture Society* 2010; 41: 203–213. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00360.x>
53. Ahmad M.H., El Mesallamy A.M., Samir F., Zahran F. Effect of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) on growth performance, feed utilization, whole-body composition, and resistance to *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia. *J. Appl Aquacult*. 2011; 23: 289–298. <https://doi.org/10.1080/10454438.2011.626350>
54. Abdel-Tawwab M. The use of American ginseng (*Panax quinquefolium*) in practical diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance and challenge with *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Applied Aquaculture*. 2012; 24(4): 366–376. <https://doi.org/10.1080/10454438.2012.733593>
55. Park K.H., Choi S.H. The effect of mistletoe, *Viscum album coloratum*, extract on innate immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol*. 2012; 32(6): 1016–1021. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.02.023>
56. Mohammadi G., Rafiee G., El Basuini M.F., Abdel-Latif H.M.R., Dawood M.A.O. The growth performance, antioxidant capacity, immunological responses, and the resistance against *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed Pistacia vera hulls derived polysaccharide. *Fish Shellfish Immunol*. 2020; 106: 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.07.064>
57. Naiel M.A., Ismael N.E., Negm S.S., Ayyat M.S., Al-Sagheer A.A. Rosemary leaf powder-supplemented diet enhances performance, antioxidant properties, immune status, and resistance against bacterial diseases in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 2020; 526: 735370. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735370>
58. Estaiano de Rezende R.A. *et al.* Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish Shellfish Immunol*. 2021; 114: 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.05.010>
59. Abd El-Latif A.M., Abd El-Gawad E.A., Soror E.I., Shourbela R.M., Zahran E. Dietary supplementation with miswak (*Salvadora persica*) improves the health status of Nile tilapia and protects against *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquacult Rep*. 2021; 19: 100594. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100594>
60. da Silva Gündel S. *et al.* Nanoemulsions containing *Cymbopogon flexuosus* essential oil: Development, characterization, stability study and evaluation of antimicrobial and antibiofilm activities *Microbial Pathogenesis*. 2018; 118: 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.03.043>
61. Gao S. *et al.* Antimicrobial Activity of Lemongrass Essential Oil (*Cymbopogon flexuosus*) and Its Active Component Citral Against Dual-Species Biofilms of *Staphylococcus aureus* and *Candida* Species. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2020; 10: 603858. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.603858>
62. Rossi G.G. *et al.* Antibiofilm activity of nanoemulsions of *Cymbopogon flexuosus* against rapidly growing mycobacteria. *Microbial Pathogenesis*. 2017; 113: 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.11.002>
63. De Souza E.Â.M. *et al.* *Cymbopogon flexuosus* essential oil as an additive improves growth, biochemical and physiological responses and survival against *Aeromonas hydrophila* infection in Nile tilapia. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 2020; 92(1): e20190140. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190140>
51. Ardó L., Yin G., Xu P., Váradi L., Szigeti G., Jeney Z. *et al.* Chinese herbs (*Astragalus membranaceus* and *Lonicera japonica*) and boron enhance the non-specific immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and resistance against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*. 2008; 275: 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.022>
52. Abdel-Tawwab M. *et al.* Use of green tea, *Camellia sinensis* L., in practical diet for growth and protection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), against *Aeromonas hydrophila* infection. *Journal of the World Aquaculture Society* 2010; 41: 203–213. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00360.x>
53. Ahmad M.H., El Mesallamy A.M., Samir F., Zahran F. Effect of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) on growth performance, feed utilization, whole-body composition, and resistance to *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia. *J. Appl Aquacult*. 2011; 23: 289–298. <https://doi.org/10.1080/10454438.2011.626350>
54. Abdel-Tawwab M. The use of American ginseng (*Panax quinquefolium*) in practical diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): growth performance and challenge with *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Applied Aquaculture*. 2012; 24(4): 366–376. <https://doi.org/10.1080/10454438.2012.733593>
55. Park K.H., Choi S.H. The effect of mistletoe, *Viscum album coloratum*, extract on innate immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol*. 2012; 32(6): 1016–1021. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.02.023>
56. Mohammadi G., Rafiee G., El Basuini M.F., Abdel-Latif H.M.R., Dawood M.A.O. The growth performance, antioxidant capacity, immunological responses, and the resistance against *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed Pistacia vera hulls derived polysaccharide. *Fish Shellfish Immunol*. 2020; 106: 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.07.064>
57. Naiel M.A., Ismael N.E., Negm S.S., Ayyat M.S., Al-Sagheer A.A. Rosemary leaf powder-supplemented diet enhances performance, antioxidant properties, immune status, and resistance against bacterial diseases in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 2020; 526: 735370. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735370>
58. Estaiano de Rezende R.A. *et al.* Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish Shellfish Immunol*. 2021; 114: 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.05.010>
59. Abd El-Latif A.M., Abd El-Gawad E.A., Soror E.I., Shourbela R.M., Zahran E. Dietary supplementation with miswak (*Salvadora persica*) improves the health status of Nile tilapia and protects against *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquacult Rep*. 2021; 19: 100594. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100594>
60. da Silva Gündel S. *et al.* Nanoemulsions containing *Cymbopogon flexuosus* essential oil: Development, characterization, stability study and evaluation of antimicrobial and antibiofilm activities *Microbial Pathogenesis*. 2018; 118: 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.03.043>
61. Gao S. *et al.* Antimicrobial Activity of Lemongrass Essential Oil (*Cymbopogon flexuosus*) and Its Active Component Citral Against Dual-Species Biofilms of *Staphylococcus aureus* and *Candida* Species. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2020; 10: 603858. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.603858>
62. Rossi G.G. *et al.* Antibiofilm activity of nanoemulsions of *Cymbopogon flexuosus* against rapidly growing mycobacteria. *Microbial Pathogenesis*. 2017; 113: 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.11.002>
63. De Souza E.Â.M. *et al.* *Cymbopogon flexuosus* essential oil as an additive improves growth, biochemical and physiological responses and survival against *Aeromonas hydrophila* infection in Nile tilapia. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 2020; 92(1): e20190140. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190140>

## ОБ АВТОРАХ:

**Елена Петровна Мирошникова**,  
доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой биотехнологии животного сырья и аквакультуры,  
Оренбургский государственный университет,  
пр-т Победы, 13, корп. 20, Оренбург, 460018, Россия  
elenaakva@rambler.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

**Азамат Ерсайнович Аринжанов**,  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры,  
Оренбургский государственный университет,  
пр-т Победы, 13, корп. 20, Оренбург, 460018, Россия  
arin.azamat@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

**Юлия Владимировна Киликова**,  
кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры,  
Оренбургский государственный университет,  
пр-т Победы, 13, корп. 20, Оренбург, 460018, Россия  
fish-ka06@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

**Алексей Николаевич Сизентцов**,  
кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и микробиологии,  
Оренбургский государственный университет,  
пр-т Победы, 13, корп. 20, Оренбург, 460018, Россия  
kwan111@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1099-3117>

## ABOUT THE AUTHORS:

**Elena Petrovna Miroshnikova**,  
Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture,  
Orenburg State University,  
13 Pobedy Ave., 20 building, Orenburg, 460018, Russia  
elenaakva@rambler.ru  
ORCID:0000-0003-3804-5151

**Azamat Ersainovich Arinzhanov**,  
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture,  
Orenburg State University,  
13 Pobedy Ave., 20 building, Orenburg, 460018, Russia  
arin.azamat@mail.ru  
ORCID:0000-0001-6534-7118

**Yulia Vladimirovna Kilyakova**,  
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture,  
Orenburg State University,  
13 Pobedy Ave., 20 building, Orenburg, 460018, Russia  
fish-ka06@mail.ru  
ORCID:0000-0002-2385-264X

**Alexey Nikolaevich Sizentsov**,  
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biochemistry and Microbiology,  
Orenburg State University,  
13 Pobedy Ave., 20 building, Orenburg, 460018, Russia  
kwan111@yandex.ru  
ORCID:0000-0003-1099-3117