

Повышение пищевых характеристик рыбы с использованием фитобиотиков и пробиотиков в кормлении (обзор)

А. Н. Сизенцов^{1✉}, Е. П. Мирошникова¹, А. Е. Аринжанов¹, Ю.В. Килякова¹

¹Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург

✉E-mail: kwan111@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – сбор и анализ литературных данных об использовании пробиотиков и фитобиотиков в системе откорма рыб для получения экологически безопасной продукции на примере откорма карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*). **Материалы и методы исследования.** Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ – <https://www.elibrary.ru>, Science-Direct – <https://www.sciencedirect.com>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>. **Результаты.** В данном обзоре с использованием метааналитических данных обобщены основные результаты о применении пробиотиков и фитобиотиков в системе откорма рыб для получения экологически безопасных продуктов с высокими показателями пищевой ценности. Современные тенденции высокого спроса на продукты питания сосредоточены преимущественно на поиске инновационных решений для интенсификации процессов производства. С позиции пищевой ценности белки рыбы усваиваются лучше белков животного происхождения. Рыба содержит значительные показатели содержания кальция, что в сочетании с высоким уровнем витамина D и низким содержанием холестерина делает ее чрезвычайно полезной для организма человека. В качестве основной модели для сбора метааналитических данных нами использовались результаты международного опыта применения различных фитобиотиков при откорме карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*). Системный анализ данных позволяет судить о высоком потенциале различных по происхождению и фармакохимическому составу кормовых добавок в качестве активаторов роста, антиоксидантной и гуморальной защиты организма, а также повышение пищевой ценности готовой продукции за счет увеличения содержания сырого протеина в конечном продукте. Представленные данные свидетельствуют о высоком потенциале использования агропищевых отходов для устойчивого развития промышленного рыбководства. Следует отметить, что проведенное библиометрическое исследование обзора последних публикаций свидетельствует о высоком уровне интереса в мире к решению проблемы и заинтересованности мирового научного сообщества. **Научная новизна** заключается в системном анализе эмпирических литературных данных разработки и использования пробиотических и фитобиотических кормовых добавок для повышения продуктивности, пищевой ценности и устойчивости к инфекционным заболеваниям различных представителей аквакультуры.

Ключевые слова: антибиотики, пробиотики, фитобиотики, коэффициент конверсии корма, аквакультура, *Cyprinus carpio*.

Для цитирования: Сизенцов А. Н., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Килякова Ю. В. Повышение пищевых характеристик рыбы с использованием фитобиотиков и пробиотиков в кормлении (обзор) // Аграрный вестник Урала. 2023. № 03 (232). С. 52–63. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-52-63.

Дата поступления статьи: 30.10.2022, **дата рецензирования:** 23.11.2022, **дата принятия:** 19.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Внедрение полуинтенсивных и интенсивных технологий в отрасли аквакультуры позволяет существенно увеличить уровень продуктивности рыб и, как следствие, выход готовой продукции. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной ассоциации, ежегодно ряд стран, таких как Китай, Индия, Норвегия, Индонезия и т. д., сталкивается с

большими потерями в производстве аквакультуры в основном из-за бактериальных и вирусных заболеваний, при этом использование антибиотиков является обычной практикой в рыбководстве для борьбы со вспышками инфекционных заболеваний [1]. Интенсивное применение антибактериальных препаратов в водной экологической системе в качестве стимуляторов роста (повышение резистентности

к инфекционным заболеваниям, увеличение показателей выживаемости и роста) создает реальную угрозу возникновения полирезистентных патогенных штаммов микроорганизмов и, как следствие, не могут быть безопасны для потребителей готовой продукции [2; 3].

Одним из перспективных направлений для решения данной задачи является поиск природных биологически безопасных (как с позиции организма рыб и потребителей, так и с экологической точки зрения) биологически активных кормовых добавок микробного и растительного происхождения. Исследования, проводимые в области оценки эффективности пробиотиков в качестве иммуномодуляторов, активаторов пищеварительной системы и т. д., в модельных экспериментах как на модельных животных и птице [4; 5] так и на рыбе [6–9], свидетельствуют о высоком уровне биологической активности отдельных штаммов, что в итоге привело к разработке не только кормовых добавок в состав которых включены пробиотические штаммы, но и коммерческих препаратов, направленных на лечение патологических состояний различной этиологии.

Согласно литературным данным, наибольшее распространение в последнее время в качестве потенциальных пробиотиков в рыбоводстве получили различные транзиторные штаммы и представители нормофлоры, однако особо выделяют *Lactobacillus* spp. и *Bacillus* spp. из-за их высокой антагонистической активности, продукции внеклеточных ферментов и доступности [1]. Положительная динамика роста и состояния рыбы на фоне применения пробиотических препаратов обусловлена действием продуцируемых пробиотическими штаммами бактерий веществ (бактериоцины сидерофоры, лизоцим, протеазы и перекись водорода), подавляющих рост патогенных микроорганизмов. Так, например, активными продуцентами амилазы являются *Aeromonas* spp., *Bacillus subtilis*, *Bacteridaceae*, *Clostridium* spp., *Lactobacillus plantarum* и *Staphylococcus* spp., протеазы и целлюлазы – *B. subtilis*, *L. plantarum* и *Staphylococcus* spp. [8].

Проводимые экспериментальные исследования свидетельствуют о высоких биологических характеристиках. Так, например, исследованиями, проводимыми на модели рыб-мандааринок (*Siniperca chuatsi*), установлено наличие положительной динамики использования пробиотических штаммов *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus rhamnosus* и *Clostridium butyricum* в концентрации 10^8 колониеобразующих единиц (КОЕ)/мл. В частности, установлено, что их использование снижает коэффициент конверсии гранулированного корма, положительно влияет на процент выживаемости, стимулирует аппетит, повышает содержание лизоцима, общего иммуноглобулина в сыворотке и существенно уве-

личивает активность антиоксидантных ферментов глутатиона и каталазы [10].

Модельные эксперименты по использованию *Lactococcus lactis* L19 (Genbank: MT102745.1) и *Enterococcus faecalis* W24 (Genbank: MT102746.1), выделенных из кишечника змеоголова (*Channa argus*) в концентрациях 10^8 КОЕ/мл, свидетельствуют о том, что корректирование микробиома кишечника с использованием штаммов, входящих в его структуру (нормобиотики), позволяет существенно повысить коэффициент конверсии корма, удельную скорость роста, привесы и, как следствие, более высокие показатели живой массы тела ($p < 0,05$). Кроме того, данные штаммы позволили существенно повысить уровень активности IgM в отношении патогенного микроорганизма *Aeromonas veronii*, а также индуцировали показатели гуморального иммунитета, что в итоге положительно влияло на показатели выживаемости в условиях экспериментального заражения [11].

Несмотря на высокий процент положительных результатов по использованию специфических пробиотических штаммов (представители нормофлоры) представленных в литературе, существенным минусом является отсутствие возможности унификации использования бактериальных препаратов, обусловленное тем, что процесс скрининга играет важную роль в определении видовой специфичности пробиотиков (приносит пользу одним видам рыб, может выступить в качестве патогенного агента для других) [12].

Научные изыскания в области использования травяных продуктов в качестве пищевых добавок в аквакультуре, в качестве стимуляторов роста, повышения антиоксидантных и иммуностимулирующих препаратов свидетельствуют о том, что данные многофункциональные добавки оказывают благоприятное влияние на физиологическое состояние рыб, являются экологически безопасными и повышают пищевую ценность готовой продукции рыбоводческой отрасли [13–17].

Цель исследования – сбор и анализ литературных данных об использовании пробиотиков и фитобиотиков в системе откорма рыб для получения экологически безопасной продукции на примере откорма карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*).

Методология и методы исследования (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 (Results)

Библиометрический анализ данных применения фитобиотиков

Активный промысловый отлов рыбы приводит к сокращению мировых рыбных запасов, что, в свою очередь, приводит к поиску альтернативного ис-

точника данной категории продуктов. Основным и приоритетным направлением в данной области является промышленное разведение рыбы в условиях рыбоводческих хозяйств. Однако следует отметить, что для повышения экономической прибыли, получения экологически чистой и конкурентоспособной продукции (высокие показатели пищевой ценности продукта) необходимо вести поиск новых устойчивых компонентов кормов для аквакультуры. Обыкновенный карп входит в тройку ведущих культивируемых пресноводных видов рыб. Так, например, только в Китае в 2016 году было произведено 349 800 тонн готовой продукции [18]. Микробная популяция кишечника участвует в моделировании развития организма, росте и здоровье хозяина. Функция кишечной микробиоты и последующие физиологические реакции хозяина в основном зависят от состава кишечной микробиоты. Микробиом кишечника рыб развивается и формируется за счет взаимодействия ряда ключевых факторов окружающей среды, а именно генетики хозяина, диеты и действия транзитной микрофлоры [18]. Исходя из этого гипотетически можно предположить, что основными направлениями повышения продуктивности с позиции биологической безопасности продукта является либо селекционная работа [19], либо разработка кормов с максимальным положительным эффектом в отношении структурного микробиома, активацией показателей гуморального иммунитета в отношении патогенных штаммов микроорганизмов и высокой питательной ценностью [20; 21].

Использование растительных экстрактов в кормлении рыб не только повышает уровень их сопротивляемости патогенным микроорганизмам, но и существенно влияет на морфометрические и пищевые показатели. Данный механизм в первую очередь обусловлен повышением активности пищеварительных ферментов (амилаза, липаза, протеаза) и активацией антиоксидантных механизмов защиты организма.

Сложный биохимический состав большинства фитобиотиков обеспечивает их высокие стимулирующие рост характеристики. Так, например, базилик гвоздичный (*Ocimum gratissimum*) включает в себя различные фитохимические соединения (олеаноловая кислота, кофейная кислота, эллаговая кислота, эпикатехин, синапиновая кислота, розмариновая кислота, хлорогеновая кислота, лютеолин, апигенин, непетонин, ксантомикрол, неваденсин, сальвигенин, галловая кислота, катехин, кверцетин, рутин и кемпферол) и эфирные масла. (камфен, β -кариофиллен, α - и β -пинен, α -гумулен, сабинен, β -мирцен, лимонен, 1,8-цинеол, транс- β -оцимен, линалоол, α - и δ -терпинеол, эвгенол, α -копаен, β -элемен, п-цимол, тимол и карвакрол) и, как следствие, обладает выраженными антиоксидантными,

противовоспалительными, гепатопротекторными, противомикробными и другими физиологически значимыми свойствами [22]. Экспериментальные исследования по использованию листьев базилика гвоздичного на модели африканского сома (*Clarias gariepinus*) в концентрации 12 г/кг корма основного рациона свидетельствуют не только об увеличении показателей интенсивности роста, но и о положительной динамике физиологических показателей организма рыб, о повышении антиоксидантной активности и показателей неспецифического иммунитета. Экспериментально установлено, что на фоне применения данного фитобиотика повышается уровень устойчивости к патогенетическому *Listeria monocytogenes*, тем самым увеличивается сохранность поголовья в среднем на 71,5 % [23].

Представленные в литературе данные свидетельствуют о довольно высоком распределении показателей пищевой ценности филе карпа обыкновенного. Так, например, в зависимости от происхождения и сезонного фактора показатели концентрации белка колебались в диапазоне от 13,0 % до 21,9 %, липидов – от 0,3 % до 23,9 %, влажности – от 59,8 % до 84,2 %, золы – от 0,01 % до 1,6 % [24].

Проведенный обзор литературных данных по экспериментальному исследованию эффективности применения фитобиотических компонентов корма (таблица 1) на ростовые, антиоксидантные, иммунологические показатели карпа обыкновенного свидетельствует о высокой эффективности и перспективности использования как отдельных растений, так и их травосмесей [20; 25–32]. В аквакультуре лекарственные травы и их экстракты широко используются. При этом следует отметить, что перспективность исследования различных экстрактов растений обусловлена установлением не только их эффективности, но и оптимальной дозировки введения в рационы рыб [33].

Лекарственные травы, известные как фитобиотики, а также экстракты и масляные производные этих растений играют важную роль в качестве усилителей аппетита, стимуляторов роста и иммуностимуляторов для водных животных. Эфирные масла получили особое распространение как природные антиоксиданты и иммуностимуляторы. Данные химические структурные соединения устойчивы к действию кислоты желудочного сока, что обеспечивает их высокую биологическую эффективность. Наряду с этим летучие масла улучшают вкусовые характеристики и регулируют гены контроля аппетита в гипоталамо-гипофизарных железах рыб. Эфирные масла обладают ярко выраженным антибактериальным эффектом в отношении многих патогенных штаммов микроорганизмов, снижают их патогенетическую активность. При этом многие фитобиотики выступают в качестве пребиотического компонента корма, усиливая тем самым био-

логическую активность структурного микробиома, что в итоге способствует активации показателей усвоения корма, опосредованного секрецией ряда пищеварительных ферментов, а также улучшением

местного кишечного иммунитета и высокой устойчивостью к вызываемым патогенам. Кроме того, эфирные масла повышают проницаемость кишечных барьеров и увеличивают всасывание питатель-

Таблица 1
Обзор литературных данных по экспериментальному исследованию эффективности применения фитобиотиков в кормлении карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*)

Используемый фитобиотик	Концентрация фитобиотика	Ссылка на источник литературы	Номер источника
Травосмесь: мальва обыкновенная (<i>Malvae sylvestris</i>), душица (<i>Origanum vulgare</i>) персидский лук-шалот (<i>Allium hirtifolium boiss</i>)	0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % и 5 %	Hamed Ghafarifarsani et al., 2021	[26]
Экстракт плодов кизила (<i>Cornus mas L.</i>)	0,25 %, 0,5 %, 1 %	Ehsan Ahmadifar et al., 2022	[27]
Порошок косточек абрикоса (<i>Prunus armeniaca</i>)	2,5, 5,0, 10 г/кг	Heba H. Mahboub et al., 2022	[28]
Экстракт лука хиртифолиум (<i>Allium hirtifolium</i>) (АНЕ) + ZnO-НЧ	АНЕ – 1,5 % + ZnO-НЧ – 13 мг/кг, 26 мг/кг	Heba H. Mahboub et al., 2022	[29]
Куркума (<i>Curcuma longa L.</i>)	0,5 %, 1,0 %, 2 %	Seyyed Morteza Hoseini et al., 2022	[30]
Смесь: кориандр (<i>Coriandrum sativum</i>), мальва обыкновенная (<i>Malva sylvestris</i>) и дубовый желудь (<i>Quercus brantii</i>)	0,5 %, 1 %, 3 %, 5 %	Mehdi Raissy et al., 2022	[31]
Смесь экстрактов <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Origanum majorana</i> и <i>Satureja hortensis</i>	0,5 %, 1 %, 2 %, 3 %	Mohammad Rudiansyah et al., 2022	[32]
Экстракт пандана кровельного (<i>Pandanus tectorius</i>)	5, 10, 20, 30 г/кг	Chi Cheng et al., 2022	[33]
Изолят белка Ятрофа куркас (<i>Jatropha curcas</i>)	Замена белка на основе рыбной муки 50 %, 75 %	V. Kumar et al., 2012	[20]

Table 1
Review of literature data on the experimental study of the effectiveness of the use of phytobiotics in feeding the common carp (*Cyprinus carpio*)

Used phytobiotic	Phytobiotic concentration	Link to literature source	Number of the source
Mixture: common mallow (<i>Malvae sylvestris</i>), oregano (<i>Origanum vulgare</i>) Persian shallot (<i>Allium hirtifolium boiss</i>)	0.5 %, 1 %, 2 %, 3 % and 5 %	Hamed Ghafarifarsani et al., 2021	[26]
Dogwood fruit extract (<i>Cornus mas L.</i>)	0.25 %, 0.5 %, 1 %	Ehsan Ahmadifar et al., 2022	[27]
Apricot kernel powder (<i>Prunus armeniaca</i>)	2.5, 5, 10 g/kg	Heba H. Mahboub et al., 2022	[28]
Allium Hirtifolium Onion Extract (АНЕ) + ZnO-NP	Extract Allium Hirtifolium Onion – 1.5 % + ZnO-NP – 13 mg/kg, 26 mg/kg	Heba H. Mahboub et al., 2022	[29]
Turmeric (<i>Curcuma longa L.</i>)	0.5 %, 1 %, 2 %	Seyyed Morteza Hoseini et al., 2022	[30]
Mixture: coriander (<i>Coriandrum sativum</i>), common mallow (<i>Malva sylvestris</i>) and oak acorn (<i>Quercus brantii</i>)	0.5 %, 1 %, 3 %, 5 %	Mehdi Raissy et al., 2022	[31]
Blend of <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Origanum majorana</i> and <i>Satureja hortensis</i> extracts	0.5 %, 1 %, 2 %, 3 %	Mohammad Rudiansyah et al., 2022	[32]
Roofing Pandanus Extract (<i>Pandanus tectorius</i>)	5, 10, 20, 30 g/kg	Chi Cheng et al., 2022	[33]
Protein Isolate <i>Jatropha Curcas</i> (<i>Jatropha curcas</i>)	Protein replacement based on fishmeal 50 %, 75 %	V. Kumar et al., 2012	[20]

ных веществ в кишечнике. Эффекты стимуляции иммунной системы, связаны с поддержанием представителей нормофлоры кишечника и как следствие повышением кишечного иммунитета [33]

Наряду с активным использованием фитобиотиков в системе сбалансированного кормления рыб для устойчивого развития аквакультуры в мировой практике широко используются различные пробиотические штаммы, не только обеспечивающие поддержание организма, но и улучшающие процесс пищеварения за счет увеличения популяции полезных микроорганизмов, бактериальной ферментативной активности и поддержания микробного баланса, что в конечном итоге существенно повышает показатели усвояемости питательных веществ и активизирует метаболические процессы, что в свою очередь позволяет повысить динамические характеристики роста на фоне снижения коэффициента конверсии корма. В настоящее время до конца не установлено, продуцируются ли пищеварительные ферменты непосредственно пробиотическими штаммами или опосредованно активируют пути модуляции синтеза и секреции ферментов представителями микробиома кишечника, хотя гипотетически не стоит исключать возможность комбинации представленных механизмов. Однако следует отметить, что в модельных экспериментах *in vitro* пробиотические штаммы демонстрируют выработку внеклеточной амилазы, целлюлазы, липазы и протеазы, что свидетельствует о потенциальной модуляции данных ферментативных функций в условиях *in vivo* [34].

Использование синбиотиков (комбинирование пробиотиков с пребиотическими соединениями) в качестве кормовых добавок позволяет существенно увеличить биологические эффекты, обусловленные аддитивными механизмами взаимодействия [35]. Так, например, на фоне ферментации пребиотиков пробиотические штаммы образуют короткоцепочечные жирные кислоты, которые, в свою очередь, могут использоваться эпителиальными клетками кишечника в качестве дополнительного источника энергии, что влияет на уровень пролиферации клеток, увеличивая тем самым интенсивность бокаловидных клеток, высоту, ширину и плотность ворсинок и микроворсинок, изменение морфометрических структурных характеристик которых способствует повышению всасывания питательных веществ. Увеличение абсорбции питательных веществ за счет увеличения площади взаимодействия в кишечнике свидетельствует о прямой корреляционной зависимости между динамическими характеристиками роста рыбы и используемым рационом, положительно влияя на показатели коэффициента конверсии корма [34]. Одна из основных функциональных характеристик применения пробиотиков связана с усилением параметров врожденного иммунитета рыб через антигенпрезентирующие ден-

дритные клетки (ДК), обеспечивающие поддержание связи между врожденным и адаптивным иммунитетом [34].

Среди множества бактериальных штаммов, используемых в качестве пробиотического компонента корма, широкий спектр применения получили прокариотические организмы рода *Bacillus*. Они характеризуются высоким уровнем резистентности к воздействию факторов окружающей среды в связи с их способностью к спорообразованию, однако основным их преимуществом является то, что данные представители микробного сообщества непатогенны и нетоксичны при кормлении рыб, а также обладают высокими антагонистическими характеристиками, что обеспечивает их высокий потенциал применения в качестве пробиотических кормовых добавок. Многочисленные исследования по использованию представителей рода *Bacillus* spp. в качестве пробиотического компонента кормовых добавок свидетельствуют о том, что на фоне их применения не только снижается коэффициент конверсии корма (обеспечение более высоких показателей переваримости кормов), но и повышаются показатели стрессоустойчивости, иммунного ответа и, как следствие, устойчивость к болезням различной этиологии, а также поддержание целостности тканей и улучшения качественных характеристик воды [36–38].

В проводимых Х. У. Lei с соавторами исследованиях по использованию пробиотических кормовых добавок на основе бактериальных изолятов штаммов *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis* (моновалентное и бивалентное применение) дополнительно к основному рациону на модели Амурского голяна было установлено повышение активности пищеварительных (протеазы, амилазы и липазы) и абсорбционных ферментов, улучшение морфологических характеристик кишечника и, как следствие, положительное влияние на показатели усвояемости корма [38].

Также следует отметить, что в проводимых нами ранее исследованиях по оценке использования пробиотического препарата «Соя-бифидум» на основе *Bifidobacterium longum* в теле карпа регистрировалось существенное снижение уровня общей минерализации (на 21,88 %), в том числе по ключевым макроэлементам (Ca, K, Mg, Na, P), что с позиции исследуемого микробиома проявлялось существенным сдвигом процентного соотношения в сторону транзитных штаммов, тем самым снижался уровень биологической доступности элементов из корма [39]. Оценка эффективности применения пробиотического препарата «Ветом 1.1» (*B. subtilis* ВКПМ В-10641) с позиции содержания и распределения микроэлементов в теле карпа свидетельствует об отсутствии положительной динамики уровня Cr, Cu, Si и Zn ($p \leq 0,01$) [40].

Представленные в литературе данные также свидетельствуют о возросшем научном интересе по использованию различных фитобиотических и пробиотических препаратов в области направленного синтеза зеленых наночастиц (НЧ). Исследователи сосредоточились на зеленом синтезе НЧ с использованием экологически благоприятной техники. Из-за их экономической эффективности, нетоксичности, доступности и экологичности были проведены значительные исследования производства НЧ, опосредованного растительными экстрактами, и их перспективного использования во многих отраслях промышленности. Так, например, растения содержат множество уникальных соединений, которые в процессе синтеза и ускоряют его кинетические характеристики. Полученные данным способом НЧ обладают высоким потенциалом применения как в области биомедицины (система доставки лекарственных соединений), так и в различных агропромышленных и животноводческих отраслях [41].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Впервые термин «биотехнология» был применен Карлом Эриком в работе, освещавшей откорм животных с использованием растительного сырья. Гипотетически каждый отдельный организм животного можно рассматривать как «ферментер» с оптимальными условиями (температура, кислотность среды и др.) для получения готовой продукции, при этом одна из основных функций по переработке «субстрата» (потребляемые корма) отводится микробиому кишечника, корректировка которого позволяет не только увеличить процент конечного выхода продукта, но и улучшить его пищевые характеристики (содержание белка, жира, микро и макроэлементов, витаминов и т. д.). В настоящем обзоре представлены библиометрические данные эффективности применения пробиотических и фитобиотических кормовых добавок в рационе *Syprinus carpio*, направленные на повышение резистентности организма рыб к действию негативных факторов внешней среды (инфекционные заболевания), а также увеличению выхода готовой продукции на фоне снижения коэффициента конверсии корма и повышения пищевых характеристик готовой продукции (экологически безопасные продукты обусловленные отсутствием антибиотиков и увеличение содержания сырого протеина в теле рыбы).

Следует отметить, что, несмотря на высокие показатели эффективности применения пробиотических препаратов для сохранения устойчивого развития аквакультуры, с их использованием связаны различные технологические (подготовка и хранение готовых комбинированных кормов) и эксплуатационные (невозможность унификации применения отдельных высокоэффективных штаммов обусловленное определенной видовой специфичностью пробиотиков) трудности. Также следует отметить, что в условиях проводимых нами ранее исследований по оценке влияния транзиторных пробиотических штаммов в откорме карпа [39; 40] установлено наличие отрицательной динамики содержания ключевых макро- и микроэлементов в теле рыбы, что, в свою очередь, существенно снижает пищевую ценность готовой продукции.

Перспективность использования фитобиотических препаратов обусловлена не только их высокими биологическими характеристиками в отношении различных представителей аквакультуры, что связано с содержанием различных фармакохимических соединений (алкалоиды, флавоноиды, эфирные масла и т. д.), напрямую (ингибирование роста) и опосредованно (активация факторов гуморального и кишечного иммунитета) влияющих на резистентность гидробионтов к действию патогенных микроорганизмов. Также следует отметить перспективность использования отходов агропищевой промышленности, решающих ряд важнейших проблем, таких как экологическая и экономическая, связанные с утилизацией данных отходов. При этом большой интерес представляют растительные отходы, так как они богаты соединениями с высокой пищевой и нутрицевтической ценностью [41] и могут быть использованы в качестве потенциальных ингредиентов кормовых добавок в активно развивающейся рыбоводческой отрасли для поддержания устойчивого развития аквакультуры.

Благодарности (Acknowledgements)

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

Библиографический список

1. Banerjee G., Ray A. K. The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries // Research in veterinary science. 2017. Vol. 115. Pp. 66–77. DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.01.016.
2. Mugwanya M., Dawood M. A. O., Kimera F. et al. Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: a Review // Probiotics and antimicrobial proteins. 2022. Vol. 14 (1). Pp. 130–157. DOI: 10.1007/s12602-021-09852-x.
3. Mbarga M. J. A., Anyutoulou K. L. D., Smolyakova L. A. et al. The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics // Veterinary world. 2021. Vol. 14 (2). Pp. 319–328. DOI: 10.14202/vetworld.2021.319-328.

4. Sauter S. N., Blum J. W. Probiotics in veterinary medicine: a review // Schweizer Archiv für Tierheilkunde. 2003. Vol. 145 (11). DOI: 10.1024/0036-7281.145.11.507.
5. Al-Khalaifa H., Al-Nasser A., Al-Surayee T. et al. Effect of dietary probiotics and prebiotics on the performance of broiler chickens // Poultry Science. 2019. Vol. 98 (10). Pp. 4465–4479. DOI: 10.3382/ps/pez282.
6. 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. Vol. 97. Pp. 268–282. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.12.054.
7. Rohani M. F., Islam S. M., Hossain M. K. et al. Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish // Fish & shellfish immunology. 2022. Vol. 120. Pp. 569–589. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.037.
8. El-Saadony M. T., Alagawany M., Patra A. K. et al. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview // Fish & shellfish immunology. 2021. Vol. 117. Pp. 36–52. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.07.007.
9. Noor Z., Noor M., Khan I. et al. Evaluating the lucrative role of probiotics in the aquaculture using microscopic and biochemical techniques // Microscopy research and technique. 2020. Vol. 83 (3). Pp. 310–317. DOI: 10.1002/jemt.23416.
10. Chen X.; Yi H.; Liu S. et al. Probiotics Improve Eating Disorders in Mandarin Fish (*Siniperca chuatsi*) Induced by a Pellet Feed Diet via Stimulating Immunity and Regulating Gut Microbiota // Microorganisms. 2021. Vol. 9 (6). Article number 1288. DOI: 10.3390/microorganisms9061288.
11. Kong Y., Gao C., Du X. et al. Effects of single or conjoint administration of lactic acid bacteria as potential probiotics on growth, immune response and disease resistance of snakehead fish (*Channa argus*) // Fish & shellfish immunology. 2020. Vol. 102. Pp. 412–421. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.05.003.
12. Hai N. V. The use of probiotics in aquaculture // Journal of Applied Microbiology. 2015. Vol. 119 (4). Pp. 917–935. DOI: 10.1111/jam.12886.
13. Rashmeei M., Hosseini Shekarabi S. P., Shamsaie Mehrgan M. et al. 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. Vol. 107 (Pt A). Pp. 129–136. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.09.037.
14. Reverter M., Bontemps N., Lecchini D. et al. Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: current status and future perspectives // Aquaculture. 2014. Vol. 433. Pp. 50–61. DOI: 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. Vol. 67. Pp. 40–54. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.05.034.
16. Hoseinifar S. H., Shakouri M., Van Doan 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. Vol. 99. Pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.02.006.
17. Yousefi M., Farsani M. N., Ghafarifarsani H. et al. 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. Vol. 536. Article number 736385. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.736385.
18. Jing X., Su S., Zhang C. et al. Dynamic changes in microbial community structure in farming pond water and their effect on the intestinal microbial community profile in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.) // Genomics. 2021. Vol. 113 (4). Pp. 2547–2560. DOI: 10.1016/j.ygeno.2021.05.024.
19. Dong Z., Nguyen N. H., Zhu W. Genetic evaluation of a selective breeding program for common carp *Cyprinus carpio* conducted from 2004 to 2014 // BioMed Central Genetics. 2015. Vol. 16. Article number 94. DOI: 10.1186/s12863-015-0256-2.
20. Kumar V., Makkar H. P., Becker K. Evaluations of the nutritional value of *Jatropha curcas* protein isolate in common carp (*Cyprinus carpio* L.) // Journal of animal physiology and animal nutrition. 2012. Vol. 96 (6). Pp. 1030–1043. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2011.01217.x.
21. Sobczak M., Panicz R., Eljasik P. et al. Nutritional value and sensory properties of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fillets enriched with sustainable and natural feed ingredients // Food and chemical toxicology. 2021. Vol. 152. Article number 112197. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112197.
22. Ugbo O. C., Emmanuel O., Agi G. O. et al. A review on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities of clove basil (*Ocimum gratissimum* L.) // Heliyon. 2021. Vol. 7 (11). Article number e08404. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08404.
23. Abdel-Tawwab M., Adeshina I., Jenyo-Oni A. et al. 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. Vol. 78. Pp. 346–354. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.04.057.

24. Stolle A.; Sedlmeier H.; Nassar A. et al. The nutritive value of carp (*Cyprinus carpio*) // Tierärztliche Praxis. 1994. Vol. 22 (6). P. 512–4.
25. Ghafarifarsani H., Hoseinifar S. H., Adorian T. J. et al. The effects of combined inclusion of *Malva sylvestris*, *Origanum vulgare*, and *Allium hirtifolium* boiss for common carp (*Cyprinus carpio*) diet: Growth performance, antioxidant defense, and immunological parameters // Fish & Shellfish Immunology. 2021. Vol. 119. Pp. 670–677. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.10.014.
26. Ahmadifar E., Mohammadzadeh S., Kalhor N. 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. Vol. 558. Article number 738372. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738372.
27. Mahboub H. H.; Faggio C.; Hendam B.M. 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. Vol. 124. Pp. 182–191. DOI: 10.1016/j.fsi.2022.03.048.
28. Mahboub H. H., Rashidian G., Hoseinifar S. H. et al. Protective effects of *Allium hirtifolium* extract against foodborne toxicity of Zinc oxide nanoparticles in Common carp (*Cyprinus carpio*) // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 2022. Vol. 257. Article number 109345. DOI: 10.1016/j.cbpc.2022.109345.
29. Hoseini S. M., Gupta S. K., Yousefi M. et al. Mitigation of transportation stress in common carp, *Cyprinus carpio*, by dietary administration of turmeric // Aquaculture. 2022. Vol. 546. Article number 737380. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737380.
30. Raissy M., Ghafarifarsani H., Hoseinifar S. H. et al. 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. Vol. 546. Article number 737287. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737287.
31. Rudiansyah M., Abdelbasset W. K., Jasim S. A. 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. Vol. 555. Article number 738254. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738254.
32. Cheng C., Park S. C., Giri S. S. et al. Effect of *Pandanus tectorius* extract as food additive on oxidative stress, immune status, and disease resistance in *Cyprinus carpio* // Fish & Shellfish Immunology. 2022. Vol. 120. Pp. 287–294. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.004.
33. Dawood M. A. O., El Basuini M. F., Yilmaz S. et al. Exploring the Roles of Dietary Herbal Essential Oils in Aquaculture: A Review // Animals (Basel). 2022 Vol. 12 (7). Article number 823. DOI: 10.3390/ani12070823.
34. Sumon M. A. A., Sumon T. A., Hussain M. A. et al. Single and Multi-Strain Probiotics Supplementation in Commercially Prominent Finfish Aquaculture: Review of the Current Knowledge // Journal of microbiology and biotechnology. 2022. Vol. 32 (6). Pp. 681–698. DOI: 10.4014/jmb.2202.02032.
35. El-Saadony M. T., Alagawany M., Patra A. K. et al. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview // Fish & Shellfish Immunology. 2021. Vol. 117. Pp. 36–52. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.07.007.
36. Kuebutornye F. K. A., Abarike E. D., Lu Y. A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture // Fish & Shellfish Immunology. 2019. Vol. 87. Pp. 820–828. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.02.010.
37. Chang X., Kang M., Shen Y. et al. *Bacillus coagulans* SCC-19 maintains intestinal health in cadmium-exposed common carp (*Cyprinus carpio* L.) by strengthening the gut barriers, relieving oxidative stress and modulating the intestinal microflora // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. Vol. 228 Article number 112977. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112977.
38. Lei X. Y., Zhang D. M., Wang Q. J. et al. Dietary supplementation of two indigenous *Bacillus* spp on the intestinal morphology, intestinal immune barrier and intestinal microbial diversity of *Rhynchocypris lagowskii* // Fish physiology and biochemistry. 2022. Vol. 48 (5). Pp. 1315–1332. DOI: 10.1007/s10695-022-01121-0.
39. Аринжанов А. Е., Мирошникова Е. П., Сизенцов А. Н., Килякова Ю. В. Влияние ультрадисперсных кормовых добавок, пробиотических штаммов и их комплексов на содержание эссенциальных микроэлементов в организме карпа // Микроэлементы в медицине. 2021. № S1. С. 8–10. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-02.
40. Мирошникова Е. П., Сизенцов А. Н., Аринжанов А. Е., Килякова Ю. В. Влияние биотических и абиотических компонентов в составе рациона карпа на структуру кишечного микробиома и элементный статус // Микроэлементы в медицине. 2021. № S1. С. 47–49. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-23.
41. 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. Vol. 11 (13). Article number 1861. DOI: 10.3390/foods11131861.

Об авторах:

Алексей Николаевич Сизенцов¹, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и микробиологии, ORCID 0000-0003-1099-3117, AuthorID 435114; asizen@mail.ru

Елена Петровна Мирошникова¹, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой биотехнологии животного сырья и аквакультуры, ORCID 0000-0003-3804-5151, AuthorID 384890; elenaakva@rambler.ru

Азамат Ерсайнович Аринжанов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры, ORCID 0000-0001-6534-7118, AuthorID 655331; arin.azamat@mail.ru

Юлия Владимировна Килякова¹, кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры, ORCID 0000-0002-2385-264X, AuthorID 5090069; fish-ka06@mail.ru

¹ Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург

Improving the nutritional characteristics of fish using antibiotics and probiotics in feeding (review)

A. N. Sizensov¹✉, E. P. Miroshnikova¹, A. E. Arinzhano¹, Yu. V. Kilyakova¹

¹ Orenburg state university, Orenburg, Russia

✉ E-mail: kwan111@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study is aimed at collecting and analyzing literature data on the use of probiotics and phytobiotics in the fish fattening system to obtain environmentally safe products on the example of fattening common carp (*Cyprinus carpio*). **Materials and methods of research.** The search and analysis of literature was carried out using Internet resources: RSCI – <https://www.elibrary.ru>, ScienceDirect – <https://www.sciencedirect.com>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>. **Results.** In this review, using meta-analytical data, the main results on the use of probiotics and phytobiotics in the fish fattening system for obtaining environmentally safe products with high nutritional values of finished products are summarized. The current trends of high demand for food products are mainly focused on the search for innovative solutions for the identification of production processes. From the standpoint of nutritional value, fish proteins are absorbed better than animal proteins. Fish contains significant indicators of calcium content, which, combined with high levels of vitamin D and low cholesterol, makes it extremely useful for the human body. As the main model for collecting meta-analytical data, we used the results of international experience in the use of various phytobiotics in the fattening of common carp (*Cyprinus carpio*). A systematic analysis of the data allows us to judge the high potential of feed additives of various origin and pharmacological composition as growth activators, antioxidant and humoral protection of the body, as well as an increase in the nutritional value of finished products by increasing the content of crude protein in the final product. The presented data indicate a high potential for the use of agro-food waste for the sustainable development of industrial fish farming. It should be noted that the conducted bibliometric study of the review of recent publications indicates a high level of interest in the world to solve the problem and the interest of the world scientific community. **Scientific novelty** lies in the systematic analysis of empirical literature data on the development and use of probiotic and phytobiotic feed additives to increase productivity, nutritional value and resistance to infectious diseases of various representatives of aquaculture.

Keywords: antibiotics, probiotics, phytobiotics, feed conversion rate, aquaculture, *Cyprinus carpio*.

For citation: Sizensov A. N., Miroshnikova E. P., Arinzhano A. E., Kilyakova Yu. V. Povyshenie pishchevyykh harakteristik ryby s ispol'zovaniem fitobiotikov i probiotikov v kormlenii (obzor) [Improving the nutritional characteristics of fish using phytobiotics and probiotics in feeding (review)] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 03 (232). Pp. 52–63. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-52-63. (In Russian.)

Date of paper submission: 30.10.2022, **date of review:** 23.11.2022, **date of acceptance:** 19.12.2022.

References

1. Banerjee G., Ray A. K. The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries // Research in veterinary science. 2017. Vol. 115. Pp. 66–77. DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.01.016.
2. Mugwanya M., Dawood M. A. O., Kimera F. et al. Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: a Review // Probiotics and antimicrobial proteins. 2022. Vol. 14 (1). Pp. 130–157. DOI: 10.1007/s12602-021-09852-x.

3. Mbarga M. J. A., Anyutoulou K. L. D., Smolyakova L. A. et al. The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics // *Veterinary world*. 2021. Vol. 14 (2). Pp. 319–328. DOI: 10.14202/vetworld.2021.319-328.
4. Sauter S. N., Blum J. W. Probiotics in veterinary medicine: a review // *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 2003. Vol. 145 (11). DOI: 10.1024/0036-7281.145.11.507.
5. Al-Khalaifa H., Al-Nasser A., Al-Surayee T. et al. Effect of dietary probiotics and prebiotics on the performance of broiler chickens // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98 (10). Pp. 4465–4479. DOI: 10.3382/ps/pez282.
6. 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. Vol. 97. Pp. 268–282. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.12.054.
7. Rohani M. F., Islam S. M., Hossain M. K. et al. Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish // *Fish & shellfish immunology*. 2022. Vol. 120. Pp. 569–589. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.037.
8. El-Saadony M. T., Alagawany M., Patra A. K. et al. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview // *Fish & shellfish immunology*. 2021. Vol. 117. Pp. 36–52. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.07.007.
9. Noor Z., Noor M., Khan I. et al. Evaluating the lucrative role of probiotics in the aquaculture using microscopic and biochemical techniques // *Microscopy research and technique*. 2020. Vol. 83 (3). Pp. 310–317. DOI: 10.1002/jemt.23416.
10. Chen X.; Yi H.; Liu S. et al. Probiotics Improve Eating Disorders in Mandarin Fish (*Siniperca chuatsi*) Induced by a Pellet Feed Diet via Stimulating Immunity and Regulating Gut Microbiota // *Microorganisms*. 2021. Vol. 9 (6). Article number 1288. DOI: 10.3390/microorganisms9061288.
11. Kong Y., Gao C., Du X. et al. Effects of single or conjoint administration of lactic acid bacteria as potential probiotics on growth, immune response and disease resistance of snakehead fish (*Channa argus*) // *Fish & shellfish immunology*. 2020. Vol. 102. Pp. 412–421. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.05.003.
12. Hai N. V. The use of probiotics in aquaculture // *Journal of Applied Microbiology*. 2015. Vol. 119 (4). Pp. 917–935. DOI: 10.1111/jam.12886.
13. Rashmeei M., Hosseini Shekarabi S. P., Shamsaie Mehrgan M. et al. 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. Vol. 107 (Pt A). Pp. 129–136. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.09.037.
14. Reverter M., Bontemps N., Lecchini D. et al. Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: current status and future perspectives // *Aquaculture*. 2014. Vol. 433. Pp. 50–61. DOI: 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. Vol. 67. Pp. 40–54. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.05.034.
16. Hoseinifar S. H., Shakouri M., Van Doan 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. Vol. 99. Pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.02.006.
17. Yousefi M., Farsani M. N., Ghafarifarsani H. et al. 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. Vol. 536. Article number 736385. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.736385.
18. Jing X., Su S., Zhang C. et al. Dynamic changes in microbial community structure in farming pond water and their effect on the intestinal microbial community profile in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.) // *Genomics*. 2021. Vol. 113 (4). Pp. 2547–2560. DOI: 10.1016/j.ygeno.2021.05.024.
19. Dong Z., Nguyen N. H., Zhu W. Genetic evaluation of a selective breeding program for common carp *Cyprinus carpio* conducted from 2004 to 2014 // *BioMed Central Genetics*. 2015. Vol. 16. Article number 94. DOI: 10.1186/s12863-015-0256-2.
20. Kumar V., Makkar H. P., Becker K. Evaluations of the nutritional value of *Jatropha curcas* protein isolate in common carp (*Cyprinus carpio* L.) // *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2012. Vol. 96 (6). Pp. 1030–1043. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2011.01217.x.
21. Sobczak M., Panicz R., Eljasik P. et al. Nutritional value and sensory properties of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fillets enriched with sustainable and natural feed ingredients // *Food and chemical toxicology*. 2021. Vol. 152. Article number 112197. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112197.
22. Ugbugu O. C., Emmanuel O., Agi G. O. et al. A review on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities of clove basil (*Ocimum gratissimum* L.) // *Heliyon*. 2021. Vol. 7 (11). Article number e08404. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08404.

23. Abdel-Tawwab M., Adeshina I., Jenyo-Oni A. et al. 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. Vol. 78. Pp. 346–354. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.04.057.
24. Stolle A.; Sedlmeier H.; Nassar A. et al. The nutritive value of carp (*Cyprinus carpio*) // Tierärztliche Praxis. 1994. Vol. 22 (6). P. 512–4.
25. Ghafarifarsani H., Hoseinifar S. H., Adorian T. J. et al. 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. Vol. 119. Pp. 670–677. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.10.014.
26. Ahmadifar E., Mohammadzadeh S., Kalhor N. 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. Vol. 558. Article number 738372. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738372.
27. Mahboub H. H.; Faggio C.; Hendam B.M. 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. Vol. 124. Pp. 182–191. DOI: 10.1016/j.fsi.2022.03.048.
28. Mahboub H. H., Rashidian G., Hoseinifar S. H. et al. Protective effects of *Allium hirtifolium* extract against foodborne toxicity of Zinc oxide nanoparticles in Common carp (*Cyprinus carpio*) // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 2022. Vol. 257. Article number 109345. DOI: 10.1016/j.cbpc.2022.109345.
29. Hoseini S. M., Gupta S. K., Yousefi M. et al. Mitigation of transportation stress in common carp, *Cyprinus carpio*, by dietary administration of turmeric // Aquaculture. 2022. Vol. 546. Article number 737380. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737380.
30. Raissy M., Ghafarifarsani H., Hoseinifar S. H. et al. 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. Vol. 546. Article number 737287. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737287.
31. Rudiansyah M., Abdelbasset W. K., Jasim S. A. 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. Vol. 555. Article number 738254. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738254.
32. Cheng C., Park S. C., Giri S. S. et al. Effect of *Pandanus tectorius* extract as food additive on oxidative stress, immune status, and disease resistance in *Cyprinus carpio* // Fish & Shellfish Immunology. 2022. Vol. 120. Pp. 287–294. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.004.
33. Dawood M. A. O., El Basuini M. F., Yilmaz S. et al. Exploring the Roles of Dietary Herbal Essential Oils in Aquaculture: A Review // Animals (Basel). 2022 Vol. 12 (7). Article number 823. DOI: 10.3390/ani12070823.
34. Sumon M. A. A., Sumon T. A., Hussain M. A. et al. Single and Multi-Strain Probiotics Supplementation in Commercially Prominent Finfish Aquaculture: Review of the Current Knowledge // Journal of microbiology and biotechnology. 2022. Vol. 32 (6). Pp. 681–698. DOI: 10.4014/jmb.2202.02032.
35. El-Saadony M. T., Alagawany M., Patra A. K. et al. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview // Fish & Shellfish Immunology. 2021. Vol. 117. Pp. 36–52. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.07.007.
36. Kuebutornye F. K. A., Abarike E. D., Lu Y. A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture // Fish & Shellfish Immunology. 2019. Vol. 87. Pp. 820–828. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.02.010.
37. Chang X., Kang M., Shen Y. et al. *Bacillus coagulans* SCC-19 maintains intestinal health in cadmium-exposed common carp (*Cyprinus carpio* L.) by strengthening the gut barriers, relieving oxidative stress and modulating the intestinal microflora // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. Vol. 228 Article number 112977. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112977.
38. Lei X. Y., Zhang D. M., Wang Q. J. et al. Dietary supplementation of two indigenous *Bacillus* spp on the intestinal morphology, intestinal immune barrier and intestinal microbial diversity of *Rhynchocypris lagowskii* // Fish physiology and biochemistry. 2022. Vol. 48 (5). Pp. 1315–1332. DOI: 10.1007/s10695-022-01121-0.
39. Arinzhanov A. E., Miroshnikova E. P., Sizentsov A. N. et al. Vliyaniye ul'tradispersnykh kormovykh dobavok, probioticheskikh shtammov i ikh kompleksov na sodержание essential'nykh mikroelementov v organizme karpa [Influence of ultrafine feed additives, probiotic strains and their complexes on the content of essential microelements in the body of carp] // Trace elements in medicine. 2021. Vol. S1. Pp. 8–10. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-02.

40. Miroshnikova E. P., Sizentsov A. N., Arinzhanov A. E. et al. Vliyanie bioticheskikh i abioticheskikh komponentov v sostave ratsiona karpa na strukturu kishechnogo mikrobioma i elementnyy status [Effect of biotic and abiotic components in the structure of the diet of carp on the structure of the intestinal microbiome and elemental status] // Trace elements in medicine. 2021. Vol. S1. Pp. 47–49. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-23.

41. 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. Vol. 11 (13). Article number 1861. DOI: 10.3390/foods11131861.

Authors' information:

Aleksey N. Sizentsov¹, candidate of biological sciences, associate professor of the department of biochemistry and microbiology, ORCID 0000-0003-1099-3117, AuthorID 435114; *asizen@mail.ru*

Elena P. Miroshnikova¹, doctor of biological sciences, professor, head of the department of biotechnology of animal raw materials and aquaculture, ORCID 0000-0003-3804-5151, AuthorID 384890, *elenaakva@rambler.ru*

Azamat E. Arinzhanov¹, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of biotechnology of animal raw materials and aquaculture, ORCID 0000-0001-6534-7118, AuthorID 655331; *arin.azamat@mail.ru*

Yuliya V Kilyakova¹, candidate of biological sciences, associate professor of the department of biotechnology of animal raw materials and aquaculture, ORCID 0000-0002-2385-264X, AuthorID 5090069; *fish-ka06@mail.ru*

¹Orenburg State University, Orenburg, Russia