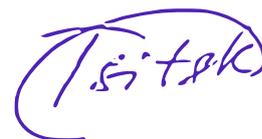


Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Тюменский государственный университет»

*На правах рукописи*



**Цицкиева Карина Руслановна**

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЫБ  
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗНЫХ КОМПОЗИЦИЙ  
ПРОБИОТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ**

4.2.6 Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель:  
кандидат биологических наук  
Бетляева Фания Халитовна

Тюмень – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 Теоретические и практические аспекты применения пробиотических организмов .....	11
1.2 Механизмы действия пробиотических организмов .....	18
1.3 Пищеварительная система рыб: микробиота и функционирование ферментативной системы .....	24
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	37
2.1 Объекты исследования и условия проведения экспериментов.....	37
2.2. Характеристика пробиотических композиций .....	39
2.3. Методы исследований.....	42
2.3.1 Оценка антагонистической активности пробиотических штаммов .....	42
2.3.2 Оценка ферментативной активности пробиотических штаммов .....	43
2.3.3 Оценка гидрохимических показателей и биологической фильтрации ....	43
2.3.4 Рыбоводно-биологические показатели .....	45
2.3.5 Микробиологическое исследование спирального отдела кишечника молоди стерляди .....	47
2.3.6 Исследование активности пищеварительных ферментов молоди рыб....	48
2.3.7 Рыбопродуктивные показатели.....	49
2.3.8 Бактериологические исследования охлажденной товарной форели .....	49
2.3.9 Статистическая обработка результатов исследования .....	50
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	51
3.1. Исследование антагонистической активности пробиотических штаммов... 51	51
3.2. Исследование ферментативной активности пробиотических штаммов .....	52
3.3. Результаты оценки гидрохимических параметров и биологической фильтрации.....	53
3.4 Весовые показатели рыб .....	61
3.5 Оценка выживаемости молоди исследуемых групп .....	64

3.6 Морфометрические показатели молоди стерляди .....	65
3.7 Интерьерные показатели исследуемых рыб .....	90
3.8 Микробиологический состав спирального отдела кишечника молоди стерляди при включении в рацион пробиотиков .....	92
3.9 Ферментативная активность в желудочно-кишечном тракте молоди стерляди и радужной форели при включении в рацион пробиотиков .....	96
3.10 Бактериологические показатели охлажденной товарной форели .....	101
3.11 Оценка рыбопродуктивных показателей при выращивании молоди рыб с применением пробиотических организмов .....	102
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ .....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	116
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	120
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	145
Приложение А. Акт о внедрении результатов диссертационной работы ООО «Новая Аквакультура».....	145
Приложение Б. Акт о внедрении результатов диссертационной работы ООО «Радужный» .....	147

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследований.** Определяющим фактором эффективного выращивания рыб является обеспечение оптимальных условий для интенсивного роста и повышение устойчивости к заболеваниям. При выращивании молоди рыб в условиях аквакультуры риски возникновения заболеваний значительны из-за увеличения числа условно-патогенных микроорганизмов и уровня органического загрязнения в водной среде, повышения нагрузки на иммунную систему и как следствие ослабления общего состояния рыб. Использование антимикробных препаратов для профилактики и лечения заболеваний рыб увеличивает риски появления устойчивых к антимикробным средствам штаммов микроорганизмов. В этой связи возрастает необходимость поиска новых эффективных подходов биологической защиты рыб как путем активации их иммунной системы и ингибирования активности условно-патогенных микроорганизмов, так и путем оптимизации кишечного микробиоценоза, усиления ферментативной активности и повышения обмена веществ рыб (Бурлаченко, 2008; Грозеску, 2009; Ноздрин и др., 2015; Пищенко, Морузи, 2023; Khanjani et al., 2024). Одним из перспективных подходов является использование микроорганизмов направленного действия — пробиотиков, синтезирующих противомикробные элементы, активизирующих иммунную систему, усиливающих барьерную функцию кишечника, оптимизирующих кишечный микробиоценоз, продуцирующих пищеварительные ферменты, аминокислоты (включая незаменимые), витамины (Shefat et al., 2018; Sumon et al., 2022). Комплекс этих активностей присущ всем пробиотикам, однако только при определенных сочетаниях штаммов микроорганизмов и кормовых программах возможна их эффективная реализация.

**Степень разработанности темы.** В условиях расширения масштабов работ по восстановлению численности осетровых рыб в ареалах их естественного обитания, необходимости увеличения объемов выращивания посадочного материала, роста спроса на осетровую и лососевую продукцию возникает

необходимость повышения эффективности выращивания рыб в условиях аквакультуры.

Изучению влияния пробиотиков на рыб уделяется значительное внимание как отечественными, так и зарубежными исследователями: Бурлаченко И.В., Бубунец Э.В., Моружи И.В., Пищенко Е.В., Шульга Е.А., Пронина Г.И., Руденко Р.А., Грозеску Ю.Н., Есавкин Ю.И., Ткачева И.В., Dawood M. A., Xia Y., Gisbert E., Zare R., González-Félix M. L., Yang G., Ringø E., Ramos M. A., Nimalan N., Adeshina I., Abdel-Aziz M.

Большинство работ основано на изучении влияния пробиотиков на рыбоводно-биологические и физиологические показатели, однако в меньшей мере изучены изменения активности пищеварительных ферментов рыб при включении в состав кормов пробиотиков, влияния включения пробиотиков на структуру микробиоценоза пищеварительной системы рыб. Кроме того, остаются открытыми вопросы относительно оптимального состава пробиотиков, их дозировок, способов введения, а также взаимодействия между различными видами микроорганизмов и проявления их активностей. Эти аспекты продолжают оставаться предметом активных исследований.

**Цель и задачи работы.** Цель работы: оценить влияние разных композиций пробиотических организмов на формирование продуктивных качеств молоди стерляди при выращивании в условиях УЗВ и радужной форели при выращивании в бассейнах с проточным водоснабжением.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. изучить влияние пробиотических композиций на гидрохимический режим при выращивании молоди стерляди в условиях установок замкнутого водоснабжения (УЗВ);

2. исследовать показатели роста, выживаемости и профиль интерьерных признаков: молоди стерляди при включении в рацион композиции споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* (Бацифолин А), композиции споровых бактерий *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens* (Басулифор А); молоди радужной форели при включении в

рацион композиции споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* (Бацифолин А);

3. изучить изменение морфометрических показателей молоди стерляди при выращивании с применением пробиотических композиций;

4. изучить представленность разных видов микроорганизмов в спиральном отделе пищеварительной системы молоди стерляди при использовании пробиотических композиций;

5. изучить влияние пробиотических организмов в составе рациона молоди стерляди и радужной форели на активность пищеварительных гидролаз.

**Научная новизна.** Впервые изучено влияние композиции споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* и композиции споровых бактерий *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* на микробиологический состав спирального отдела кишечника молоди стерляди; на активность пищеварительных гидролаз молоди стерляди при их выращивании в условиях УЗВ и молоди радужной форели при их выращивании в бассейнах с проточным водоснабжением. При выращивании молоди стерляди в компенсационных целях в условиях высокой жесткости воды с использованием споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* установлено повышение активности нитрифицирующих бактерий, снижение показателя биохимического потребления кислорода. Впервые установлено, что включение в рацион пробиотических композиций снижает вариабельность морфометрических параметров, что будет определять лучшую их выживаемость при выпуске в природные водоемы.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость данной исследовательской работы заключается в расширении знаний о влиянии разных композиций споровых и молочнокислых бактерий на микробиологический состав, ферментативную активность пищеварительной системы, на продуктивность рыб при их выращивании на интенсивной основе.

На основе результатов производственных экспериментов разработаны рекомендации по применению пробиотических композиций в рыбоводческих хозяйствах для обеспечения их эффективной деятельности.

**Сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов.** Результаты диссертационного исследования внедрены и используются на производственных предприятиях ООО «Новая аквакультура» (акт внедрения от 26.06.2025 (Приложение А)) при выращивании молоди стерляди и ООО «Радужный» (акт внедрения от 01.08.2025 (Приложение Б)) при выращивании молоди радужной форели.

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач и достижения цели в рамках комплексных исследований использовали рыбоводно-биологические, морфологические, морфометрические, микробиологические, биохимические, гидрохимические математические методы анализа.

Методология исследования основывалась на многочисленных научных сведениях и статьях отечественных и зарубежных исследователей. Была использована информация по применению пробиотиков в кормлении рыб, механизмам влияния пробиотиков на живой организм.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Включение в рацион молоди стерляди: композиции споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* исключает развитие условно-патогенных бактерий *C. freundii*, *A. calcoaceticus*, *B. mesentericus*, *B. mycoides* и снижает количество *B. cereus*; композиции споровых бактерий *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* исключает развитие *A. calcoaceticus*, *B. mycoides*, снижает численность *B. mesentericus* и повышает обсемененность спирального отдела кишечника лактострептококками;

2. Пробиотические организмы в составе рациона молоди стерляди и радужной форели за счет их повышенной способности продуцировать пищеварительные ферменты улучшают гидролиз компонентов корма, что способствует повышению ихтиомассы молоди и показателей сохранности;

3. Использование в составе рациона молодежи стерляди пробиотических организмов снижает вариабельность морфометрических признаков, обуславливает высокую взаимосвязанность линейных признаков.

**Степень достоверности.** При выполнении диссертационной работы были использованы стандартные и рекомендованные методики, современное и сертифицированное оборудование. Достоверность полученных результатов и сформулированных на их основе выводов подтверждается согласованностью с ранее полученными экспериментальными и теоретическими данными, актами производственной проверки и внедрения в производство, публикацией полученных результатов в рецензируемых научных изданиях.

**Апробация и публикации результатов исследования.** Результаты работы были представлены на шести всероссийских конференциях: Всероссийская научно-практическая конференция «Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы» (13 марта 2022 год, Уфа); Национальная с международным участием научно-практическая конференция студентов, аспирантов, ученых и специалистов «Водные ресурсы — основа глобальных и региональных проектов обустройства России, Сибири и Арктики в XXI веке» (21-22 марта 2024 года, ТИУ, Тюмень) (работа награждена Диплом III степени № 0000692680-3); IV Международная научно-практическая конференция «Развитие и современные проблемы аквакультуры» «Аквакультура 2024» (2-8 сентября 2024 года, Краснодарский край, с. Дивноморское); Международная научно-практическая конференция «Современное животноводство и инновации в технологии производства продуктов питания, аспекты экологической, производственной и гигиенической безопасности» (22 ноября 2024 год, пос. Персиановский, Донской ГАУ); Национальная с международным участием научно-практическая конференция студентов, аспирантов, ученых и специалистов «Водные ресурсы — основа глобальных и региональных проектов обустройства России, Сибири и Арктики в XXI веке» (20-21 марта 2025 года, ТИУ, Тюмень) (работа награждена Диплом I степени № 0000810031-2); V Юбилейная международная научно-практическая конференция «Развитие и современные

проблемы аквакультуры» «Аквакультура 2025» (8-14 сентября 2025 года, Краснодарский край, с. Дивноморское).

По материалам исследований опубликовано 8 научных работ, в том числе в соавторстве, 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по научной специальности.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 147 страницах и содержит 26 рисунков и 17 таблиц, состоит из введения, 4 глав (обзорная часть, материал и методы исследования, две главы основной части), заключения, списка литературы и 2 приложений. Список литературы включает 216 источников, 101 из которых на иностранном языке.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность: научному руководителю к.б.н. Ф.Х. Бетляевой (ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет) за постоянное внимание, ценные советы, методическую поддержку в работе над статьями и диссертацией; д.б.н. Ю.В. Маркину (ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева) за методические рекомендации, консультирование по вопросам диссертации, поддержание проведения исследований по оценке антагонистической активности штаммов; заведующему кафедры зоологии и эволюционной экологии животных (ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет) д.б.н. С.Н. Гашеву и своему первому научному наставнику, д.б.н. А.Г. Селюкову (ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет) за ценные рекомендации при обсуждении на конференциях отдельных результатов работы; руководству рыбоводного предприятия ООО «Новая аквакультура» Е.Ю. Шипицыну и ООО «Радужный» В.Ш. Беждугову за возможность проведения производственных экспериментов; руководителю научно-исследовательской лаборатории антимикробной резистентности к.б.н. А.С. Васильченко (ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, Институт Х-БИО) за методические рекомендации при проведении лабораторных исследований, а также научным сотрудникам этой лаборатории А.В. Яшникову, Д.С. Дилбарян, А.А. Степанову,

О.В. Доманской за методическую поддержку; научному сотруднику лаборатории «AquaBioSafe» Е.И. Калеевой (ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, Институт X-BIO) за постоянную поддержку.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Теоретические и практические аспекты применения пробиотических организмов

Концепция использования пробиотиков зародилась вначале XX века, когда русский ученый Илья Мечников впервые предложил идею о положительном действии некоторых микроорганизмов на здоровье человека (Федорова и др., 2016). Впоследствии эта идея получила развитие в ветеринарии и аквакультуре. Первые исследования влияния пробиотиков на рыбу были проведены в середине XX века, однако широкое распространение эти препараты получили лишь в последние десятилетия (Ноздрин, Морузи и др., 2015).

Пробиотические организмы, используемые в настоящее время, могут легко составить основу для устойчивой аквакультуры, поскольку они усиливают два ключевых фактора: эффективность роста и сопротивляемость болезням. Включение пробиотиков в состав рациона рыб повышает качество корма, увеличивает активность ферментов, участвующих в процессе пищеварения, ингибирует развитие патогенов и стимулирует иммунный ответ (Oliva-Teles, 2012). Пробиотики обладают уникальной способностью регулировать баланс микробиоты в пищеварительном тракте, тем самым способствуя усвоению питательных компонентов корма, что позволяет снизить объем потребляемого корма на единицу прироста массы рыб (Wanka, 2018). Уменьшение расходов на корма является аспектом экономического фактора, способствующего повышению рентабельности рыбоводческих предприятий (Shokryazdan, 2017).

Применение пробиотических препаратов во всем мире является важнейшим элементом перехода к получению экологически чистой сельскохозяйственной продукции (Феоктистова и др., 2017). Одним из преимуществ использования пробиотиков является минимизация негативного влияния на организм рыб и конечного потребителя продукции. Производители комбикормов интегрируют пробиотические организмы в состав комбикормов, способствуя решению проблем, связанных с нарушением баланса микробиоты желудочно-кишечного

тракта рыб, повышением эффективности процессов пищеварения, стимулирования роста и общего развития рыб. Пробиотики доказали свою эффективность в качестве превентивных мер и дополнительного элемента терапии, однако не рекомендуется их использование в качестве основного средства при лечении заболеваний (Ноздрин, Зеленков, 1992; Stephenson, Perego, 2002). Важнейшей функцией пробиотиков является продуцирование биологически активных соединений, способных проявлять антагонистическое действие в отношении представителей патогенной и условно-патогенной микробиоты и их метаболитов, а также поддерживать процесс пищеварения (Бурлаченко, 2008; Пронина, 2019).

Согласно рекомендациям Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (Food and Agriculture organization of the United Nations — FAO) и Всемирной организацией здравоохранения (2001) микроорганизмы, составляющие основу пробиотиков, обязаны отвечать ряду строгих требований: быть непатогенными и нетоксичными; сохранять жизнеспособность в кишечнике и быть резистентными к воздействию кислот и желчи; сохранять стабильность состава на протяжении всего срока хранения; должны обладать высокими адгезивными и антагонистическими свойствами; быть совместимыми с естественной микрофлорой кишечника, не нарушая ее баланс; персистировать и сохранять свои свойства в организме; иметь генетический паспорт и доказательство генетической стабильности, т.е. быть чувствительными или иметь природную резистентность к антибиотикам (Похиленко, 2007; Койлыбаева и др., 2018).

Наиболее полно перечисленным требованиям соответствуют представители автохтонной микробиоты, включая лактобациллы, бифидобактерии и кишечную палочку (Gibson, 1995; Fuller, 1998).

Традиционно пробиотики основывались на молочнокислых бактериях (МКБ) — *L. acidophilus*, *L. casei*, *B. bifidum*, *L. lactis* и т.д. за счет их способности выделять антимикробные метаболиты в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), производить внеклеточные ферменты, такие как протеазы, карбогидразы и липазы, а также из-

за их высокой антагонистической активности (Иванова и др., 2012). Впоследствии более широкое применение нашли пробиотики на основе спорообразующих бактерий рода *Bacillus*, а именно *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* и *B. cereus*. Бактерии данного рода являются грамположительными аэробами или факультативными анаэробами палочковидной формы, образующие термоустойчивые эндоспоры (Похиленко, 2007). Чаще всего их выделяют из почвы, однако известны случаи выделения из воды, пыли и воздуха. Представители этого рода отличаются высоким и разнообразным спектром биологической активности. Часто обладая явным антагонизмом к патогенным микроорганизмам, они продуцируют целый ряд пищеварительных ферментов, таких как амилаза, протеаза, липаза, витамины К и В<sub>12</sub>, выделяют несколько пептидов, которые обладают антибактериальным и фунгицидным действием (Аламдари и др., 2013; Бетляева, Цицкиева, 2022). Установлена высокая устойчивость спор к неблагоприятным факторам среды и способность быстро размножаться в ЖКТ. Кроме того, спора, находящаяся в стадии покоя, позволяет пробиотикам на основе рода *Bacillus* иметь более длительные сроки хранения без опасности потери свойств (Ghosh, 2025).

Установлено, что бактерии рода *Bacillus* не входят в состав нормальной микробиоты кишечника и быстро элиминируются после прекращения их использования в составе рациона. Однако они являются регуляторами, сдерживающими развитие патогенной, условно-патогенной микробиоты в кишечном микробиоценозе и в водной среде, загрязненной продуктами метаболизма рыб (Шадыева и др., 2023). Осуществление данной функции штаммами пробиотика обусловлено наличием генов в их геноме, отвечающих за продукцию полиеновых антибиотиков, останавливающих рост патогенных микроорганизмов (Романова и др., 2022). Выраженная антагонистическая активность бацилл в отношении условно-патогенных микроорганизмов - *S. aureus*, *Candida spp.*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, энтеробактерий обусловлена выработкой лизоцима, протеолитических ферментов и бактериоцинов (Осипова и др., 2003; Савустьяненко, 2016).

Штаммы бактерий рода *Bacillus* при включении их в состав рациона продемонстрировали положительные эффекты на организм рыб. Так, включение *B. subtilis* в рацион африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) способствовало увеличению массы тела в сравнении с контрольной группой (Егоров, Пашков, 2016). Аналогичный результат был зафиксирован при использовании этого штамма в рационе молоди шемаи (*Chalburnus chalcoides*) и русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*) (Севрюков и др., 2013). Кроме того, *B. subtilis* проявил положительное влияние на состав микробиоты и активность пищеварительных ферментов у карпа (*Cyprinus carpio*) и стерляди (*Acipenser ruthenus*) (Зуенко и др., 2017).

Многочисленные исследования показали, что пробиотики на основе бактерий рода *Bacillus* оказывают положительное влияние на различные аспекты здоровья рыб. Так, было отмечено значительное улучшение гематологических показателей рыб, в составе которых были включены бациллы (Yang, 2019), и нормализация состава кишечного микробиома (Gisbert, 2013). Кроме того, пробиотики способны улучшать гидрохимические параметры водной среды, создавая более комфортные условия для жизни рыб (Егоркина и др., 2017; Elsabagh, 2018).

Наряду с этим была отмечена способность пробиотиков повышать показатели сохранности. Так, Д.В. Дорошенко с соавторами (2019) установили, что использование пробиотика на основе *B. amyloliquefaciens* позволило увеличить выживаемость личинок карпа (*Cyprinus carpio*), выращиваемых в условиях замкнутого водоснабжения (УЗВ). Включение *B. subtilis* в рацион канального (*Ictalurus punctatus*), полосатого сома (*Plotosus lineatus*), пангасиуса (*Pangasianodon hypophthalmus*) повысило их устойчивость к бактериальным инфекциям, вызываемым *E. ictaluri* (Ran, 2012).

Высокая частота применения бактерий р. *Bacillus* в составе пробиотиков обусловлено несколькими ключевыми факторами. Представители этого рода широко распространены в естественной микробиоте многих видов рыб, что указывает на их совместимость с организмом хозяина и способность успешно интегрироваться в существующие микробные сообщества. Эта особенность

делает бактерии р. *Bacillus* идеальными кандидатами для поддержания и восстановления нормального состава кишечной микробиоты, что особенно важно в условиях интенсивного выращивания рыб, где нарушение микробиологического баланса может негативно сказываться на показателях продуктивности (Shefat, 2018).

Молочнокислые бактерии являются грамположительными, неспорообразующими микроорганизмами и по-прежнему остаются одними из наиболее распространенных организмов в составе пробиотических препаратов. Они признаны безопасными и получили статус GRAS (Generally Recognized as Safe), установленным FDA (Управлением по контролю за продуктами и лекарствами США), и статусом QPS (Qualified Presumption of Safety), присвоенным EFSA (Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов). Эти бактерии широко применяются в пищевой промышленности благодаря своим антимикробным свойствам, связанные с производством активных метаболитов, таких как органические кислоты (молочная, уксусная), углекислый газ, перекись водорода, лизоцим, антибиотические вещества, включая бактериоцины (Kaktcham et. al., 2018; Garc' es et. al., 2020).

Молочная кислота является основным продуктом жизнедеятельности гомоферментативных МКБ и, несмотря на относительно слабую антимикробную активность при нейтральных значения рН, способна оказывать значительное влияние на снижение общей кислотности среды. В сочетании с уксусной и пропионовой кислотами, производимыми гетероферментативными МКБ, молочная кислота создает мощное антибактериальное воздействие, разрушая мембраны патогенных микроорганизмов (Akbar, Anal, 2011).

Известна способность *L. johnsonii*, *L. paracasei subsp. paracasei*, *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* вырабатывать перекись водорода, используя кислород и специфические ферменты, такие как флавопротеины, супероксиддисмутазу и NADH-оксидазу. Перекись водорода проявляет сильные бактерицидные свойства, вызывая повреждение клеточных структур патогенных бактерий, а уменьшение

уровня кислорода в результате ее образования дополнительно подавляет рост аэробных микроорганизмов (Pridmore et.al. 2008).

МКБ производят различные антимикробные вещества, включая реутерин, бактериоцины, антифугальные пептиды и другие соединения, активные против широкого спектра патогенных бактерий и грибов (Похиленко, 2011; Kaktcham et. al., 2018) Известна их антагонистическая активность в отношении *Aeromonas salmonicida*, *A. hydrophila*, *E. tarda*, *P. piscicida*, *V. anguillarum*, *V. salmonicida*, *V. harveyi*, *V. parahaemolyticus*, *Y. ruckeri*, *S. iniae*, патогенная *E. coli*, грибов рода *Candida*, плесневых грибов и многих других (Ringø et al., 2018; Ringø, 2020; Doan, et.al. 2021).

Хорошо изученными являются следующие бактериоцины МКБ: низин, лактицин В, лактокин 27, плантарицин А, плантацин В, хельветицин, лейкоцин, саккацин, педиоцин РА1/АсН, энтероцины AS-48, А, В и другие (Balcazar et al., 2007; Похиленко и др., 2011; Kaktcham et. al., 2018). Эти соединения не токсичны для животных и человека, сохраняют пищевые качества продуктов, эффективны в малых дозах, устойчивы к температурным изменениям и не вызывают резистентности у патогенов.

Помимо антимикробной активности, МКБ способны секретировать внеклеточные ферменты, такие как протеазы, амилазы, липазы и фитазы, способствуя повышению переваривания и усвоения компонентов корма. Было отмечено, что пробиотические МКБ положительно влияют на репродуктивные показатели, улучшая качество гамет и плодовитость рыб (Fatmagün, 2019).

Несмотря на то, что МКБ считаются безопасными, некоторые виды, такие как *L. lactis*, *L. garvieae*, *Enterococcus spp.*, *L. casei* и *L. rhamnosus*, могут вызывать бактериальные инфекции, что требует осторожности при их использовании в кормовых пробиотиках (Brazaca, 2016). В этой связи перед их использованием в составе кормовых пробиотиков необходимо проводить оценку их безопасности, включая проверку на патогенность, вирулентность и инвазивность.

Применение пробиотических МКБ в рыбоводстве выявило их положительный эффект на организм рыб. Например, использование *L. plantarum* в

рационе сибирского осетра (*Acipenser baerii*) и радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) привело к увеличению темпов роста и усилению иммунного ответа, что сказывалось на активности лизоцима и щелочной фосфатазы (Soltani et.al., 2019). Добавление *L. delbrukei subsp. bulgaricus* и *L. acidophilus* в рацион радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) способствовало повышению уровня гемоглобина и гематокрита; активности некоторых пищеварительных ферментов (Mohammadian et.al., 2019). Использование *L. rhamnosus* и *L. lactis* повлияли на состав микробиоты кишечника и повысили устойчивость к патогенам у нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*) (Xia et al., 2018). В исследованиях с клариевым сомом (*Clarias gariepinus*) было отмечено, что введение *L. plantarum* в состав рациона способствует увеличению массы тела рыб, уменьшению кормового коэффициента кормления и повышению численности полезной микроорганизмов в кишечнике (Falaye et al., 2016).

Индивидуальные свойства каждого из штаммов можно усилить с помощью их правильного комбинирования в составе пробиотических композиций, что позволяет достичь синергетического эффекта. Такой подход основан на принципе взаимного дополнения и взаимодействия отдельных штаммов, которые могут компенсировать недостатки друг друга и обеспечить более широкий спектр положительного влияния. Синергия разных штаммов может проявляться в нескольких направлениях. Например, в виде усиления антимикробной активности: одни штаммы могут вырабатывать бактериоцины, действующие на грамположительные микроорганизмы, другие – продуцировать соединения, эффективные против грамотрицательных бактерий; стимуляции иммунной системы: одни штаммы могут стимулировать гуморальный, тогда как другие – клеточный иммунитет, что способствует укреплению общего иммунного ответа; увеличения спектра пищеварительных ферментов и др.

Таким образом, разнообразие современных пробиотических микроорганизмов открывает широкие перспективы для повышения биологических и продуктивных качеств гидробионтов. Каждый пробиотический штамм способен оказывать положительное воздействие на различные

физиологические процессы, включая поддержание иммунной системы, оптимизацию пищеварительных процессов и снижение риска заболеваний. Вместе с тем, успешная интеграция пробиотиков в аквакультуру требует глубокого понимания сложных взаимодействий между пробиотическими организмами, естественной микрофлорой рыб и влиянием внешних факторов среды. В этой связи необходимы дополнительные исследования, направленные на изучение механизмов действия пробиотиков, что откроет возможность разработки оптимальной стратегии их применения, учитывающие индивидуальные особенности гидробионтов, возраст и условия содержания.

## **1.2 Механизмы действия пробиотических организмов**

Механизмы действия пробиотиков, используемых в аквакультуре, различны. Основные направления их влияния, обеспечивающие положительный эффект, включают следующие аспекты: (I) Конкуrentное исключение патогенных микроорганизмов. Пробиотические бактерии занимают поверхностные участки слизистой оболочки кишечника рыб, представляя собой барьер для жизни и размножения патогенов; (II) Борьба за пищевые ресурсы. Пробиотики активно конкурируют с патогенными микроорганизмами за доступ к пищевым ресурсам, ограничивая рост и размножение вредных бактерий, тем самым обеспечивая преобладание полезных микроорганизмов; (III) Модификация состава бактериального сообщества в окружающей среде. Использование пробиотиков способствует увеличению численности полезных микроорганизмов в воде, угнетая потенциально опасные виды бактерий и поддерживая стабильность микробного баланса; (IV) Разрушение органических отходов и детоксикация воды. Пробиотики способны расщеплять органические соединения, в виде остатков корма и продуктов жизнедеятельности, тем самым улучшая качество воды и снижая концентрацию токсичных метаболитов; (V) Стимуляция иммунитета водных организмов. Пробиотики активируют иммунные клетки хозяина, усиливая резистентность к инфекциям и стрессовым факторам внешней

среды, стимулируя продукцию противовоспалительных медиаторов и антител (Monzon-Atienza et. al., 2023; Rahayu et. al., 2024; Tamilselvan, Raja, 2024).

Процесс взаимодействия между макро и микроорганизмом запускается посредством адгезии – способности бактерий прикрепляться к слизистой оболочке кишечника или другим тканям рыб. Адгезия патогенных бактерий является одним из механизмов для проявления инфекционных процессов. Действие пробиотиков заключается в конкурентном исключении, занимая потенциальные места (сайты) адгезии на слизистой, образуя физическую преграду, затрудняющую проникновение патогенных бактерий (Shefat et al., 2018). Различают специфическую и неспецифическую виды адгезии. Первая необратима, поскольку обеспечивается взаимодействием бактерий с определенными участками на поверхности клеток (рецепторами) с помощью адгезинов. Функцию рецепторов могут выполнять, например, гликопротеины и гликолипиды. Адгезины – это макромолекулы, локализованные на поверхности бактериальных клеток, входящие в состав бактериальных фимбрий или поверхностных структур клеточной стенки, с помощью которых происходит фиксация возбудителя на поверхности слизистой (Захарова, 2016). Неспецифическая адгезия является обратимой и обеспечивается физико-химическими свойствами бактериальных клеток, такими как общий поверхностный заряд, гидрофобность, формирование ионных связей с ионогенными группами (Mazziotta et. al., 2023). Стоит отметить способность бактерий прикрепляться не только к клеткам организма-хозяина, но и к другим бактериальным клеткам, причем как другого вида (коагрегация), так и своего собственного (автоагрегация) (Monteagudo-Mera et al., 2019).

Защитную функцию в кишечнике выполняют муциновый слой и образующие непрерывный слой энтероциты, тем самым препятствуя проникновению патогенов. Поддержание целостности барьера обеспечивается специальными межклеточными контактами – белковыми комплексами, так называемым плотными контактами (tight junctions, TJ). Различают: клаудины (CLDN7, CLDN3c, CLDN11, CLDN12), окклюдин (OCLN), зонула окклюденс-1 (ZO-1). Их

функция заключается в поддержании функциональности кишечного барьера и предотвращении утечки содержимого просвета кишечника во внутреннюю среду организма. В некоторых исследованиях пробиотиков в составе рациона рыб было показано, что их использование способствует повышению уровня экспрессии генов, участвующих в формировании плотных контактов (Zhang et al., 2021; Lei et al., 2022). Помимо плотных контактов, большое значение имеют адгезивные контакты (adherens junctions, AJ), обеспечивающие связь соседних клеток посредством белка E-кадгерина и  $\beta$ -катенина. Экспериментально доказано, что лактобациллы увеличивают экспрессию генов, кодирующих данные белки, способствуя укреплению барьерной функции кишечника (Orlando et al., 2018).

Одним из компонентов врожденного иммунитета является муцин, состоящий преимущественно из гликопротеинов и кислых полисахаридов, а также большого количества молекул, связанных с иммунитетом: лектины, трансферрин, C-реактивный белок (CRP), эстеразы, щелочная фосфатаза (ALP), лизоцим, белки комплемента, а также пептиды и антибактериальные белки (Mokhtar et al., 2023). Кроме того, муцин формирует так называемые полости, в котором микроорганизмы взаимодействуют друг с другом, а также с организмом хозяина. Было отмечено, что пробиотики влияют на регуляцию экспрессии генов, кодирующие белки MUC2, MUC13, MUC5AC, преобладающие муцинами в кишечном тракте рыб (Abdelhafiz et al., 2023; Nimalan et al., 2023). Есть предположение, что данный механизм связан с активацией Toll-подобных рецепторов (TLRs), инициирующих каскад реакций, ведущих к усиленной экспрессии множества иммунологически значимых генов, включая гены, связанные с фагоцитозом и развитием иммунокомпетентных клеток (Rana et al., 2024).

Макрофаги – клетки, играющие главную роль в неспецифическом иммунитете. Они захватывают патогенные микроорганизмы путём фагоцитоза и разрушают их; наряду с этим на их поверхности выставляются антигены захваченного возбудителя – так называемый пусковой процесс, необходимый для инициации второго этапа иммунного ответа организма (Савустьяненко, 2016).

Введение пробиотиков приводит к активации макрофагов. У активированных макрофагов усиливается выработка и высвобождение провоспалительных цитокинов, таких как фактор некроза опухоли  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), интерферон гамма (IFN- $\gamma$ ), интерлейкины IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8, IL-10, IL-12, а также макрофагальный белок воспаления-2. Всё это формирует комплексный воспалительный ответ, ориентированный на ликвидацию патогена. Интерферон гамма (IFN- $\gamma$ ) активизирует макрофаги и повышает сопротивляемость клеток вирусному заражению. Интерлейкин-6 (IL-6) стимулирует деление и специализацию В-лимфоцитов, отвечающих за производство антител. Интерлейкин-8 (IL-8) служит сильным хемотаксическим и паракринным сигналом для привлечения нейтрофилов. Активированные нейтрофилы участвуют в развитии воспаления и создании окислительного стресса. Интерлейкин-12 (IL-12) контролирует развитие, активацию и дифференцировку Т-лимфоцитов (Firdaus-Nawi, 2016; Simon, 2021).

Специфический иммунитет является более мощным, поскольку его действие избирательно в отношении того или иного патогена. Различают клеточный и гуморальный иммунитет. Первый обеспечивается действием Т-лимфоцитов, специализирующихся на борьбе с вирусами. Второй обусловлен деятельностью В-лимфоцитов, вырабатывающих защитные антитела (иммуноглобулины), направленные главным образом против бактерий.

Известно, что введение пробиотических организмов активирует и стимулирует размножение как Т-, так и В-лимфоцитов. Протекание данных процессов для обоих типов клеток происходит в периферической крови; для Т-лимфоцитов в тимусе; для В-лимфоцитов в селезёнке. Ранее было отмечено, что эта реакция обусловлена высвобождением цитокинов из активированных макрофагов. Результатом стимуляции В-лимфоцитов является значительное повышение концентрации иммуноглобулинов (особенно IgG и IgA) в сыворотке крови и содержание IgA на поверхностях слизистых оболочек. Стоит отметить, что IgA выступает ключевым элементом защиты эпителия от вторжения внешних патогенов (Picchietti, 2009; Li et al., 2019; Amoah K., 2021).

Еще одним механизмом действия пробиотиков в отношении патогенов является конкуренция за пищевые ресурсы. Большинству бактерий для полноценного роста и развития необходимо железо. В тканях животного его концентрация в доступной форме весьма ограничена. В этой связи возникает острая конкуренция за этот важный микроэлемент между патогенными и пробиотическими организмами. Сидерофоры – специализированные вещества, способные образовывать прочные комплексные соединения с ионами железа, освобождая их из сложных органических форм и обеспечивая доступ бактерий к этому важному ресурсу в условиях нехватки железа. Подобные соединения производятся различными видами бактерий и грибов (Simón et. al., 2021; Кузнецова и др., 2022).

Увеличение массы и других рыбоводно-биологических показателей обусловлено способностью пробиотических бактерий синтезировать ряд важных пищеварительных гидролаз, таких как амилаза, липаза, целлюлаза, фитаза, хитиназа и прочие или усиливать их активность (Pereira et. al., 2022). Более высокая активность ферментов может быть результатом изменений в процессах их синтеза, происходящих под влиянием бактерий (Simón et. al., 2021; Sumon et. al., 2022). Это способствует лучшей усвояемости белковых, липидных и углеводных компонентов корма, за счет повышения их всасываемости в виде простых соединений – аминокислот, витаминов, минеральных элементов, жирнокислотных производных, играющих ведущую роль в обменных процессах организма.

Кроме влияния на активность ферментов, отмечается способность пробиотиков синтезировать необходимые для жизнедеятельности вещества, включая биотин, витамин В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, К<sub>2</sub>, незаменимые аминокислоты, например, валин, короткоцепочечные жирные кислоты (КЧЖК) (уксусная, пропионовая, масляная) и другие жирнокислотные соединения (Verschuere et.al., 2000; Савустьяненко, 2016; Winschau et.al., 2020). Производство органических кислот пробиотическими бактериями снижает рН, что может подавлять рост патогенных бактерий. Процессы пролиферации и дифференциации клеток кишечника,

апоптоз, выработка муцина и липидный метаболизм в значительной степени регулируются КЧЖК (Wuertz et.al., 2021) Кроме того, способность пробиотиков производить антибактериальные вещества, включая бактериоцины и лизоцим, дает возможность использовать их как альтернативу антибиотикам (Hoseinifar, et.al., 2018).

Механизм «чувство кворума» - процесс, регулирующий экспрессию генов; он зависит от изменения плотности популяции бактерий, с помощью которого могут взаимодействовать большинство бактерий (Simon et al., 2021). Взаимодействие обеспечивается способностью бактерий синтезировать специальные сигнальные молекулы – аутоиндукторы, воспринимаемые соседними клетками. Известно, что грамположительные бактерии синтезируют олигопептидные сигналы, тогда как грамотрицательные – ацилгомосериновые лактоны (производные аминокислот). Отмечено, что и те и другие виды бактерий способны вырабатывать аутоиндуктор-2 (AI-2) (Артюх, 2023). Некоторые соединения, синтезируемые пробиотическими штаммами (например, антагонисты рецепторов и ферментов чувства кворума), способны блокировать передачу сигналов между патогенами посредством подавления кворума (ПК) (Dong et al., 2007). Механизм ПК является потенциальной противоинойфекционной стратегией в аквакультуре. Кроме того, отмечена способность пробиотических бактерий использовать данный механизм для формирования устойчивых биопленок на слизистой, обеспечивая себе лучшие условия конкуренции и закрепления на участках колонизации (адгезии) (Defoirdt et al., 2004).

Таким образом, действие пробиотических микроорганизмов носит комплексный характер, и, как уже указывалось ранее, сочетание разных штаммов выражается в синтезе метаболитов, подавляющих развитие патогенов либо стимулирующих иммунную систему, а также конкуренцией за питательные вещества. Различные штаммы пробиотиков отличаются индивидуальными особенностями обмена веществ и физиологии, вследствие чего их действие на организм также различно. К тому же, пробиотические бактерии проявляют

специфическое действие в отношении того или иного хозяина и микробного состава кишечника.

### **1.3 Пищеварительная система рыб: микробиота и функционирование ферментативной системы**

Пищеварение, как известно, играет важнейшую роль в поддержании жизненных функций организма. Благополучность данного процесса связана с наличием подходящего спектра пищеварительных ферментов, способных обеспечить расщепление пищи на компоненты, легко усваиваемые организмом (Уголев, 1985). В первую очередь уровень активности и наличие пищеварительных ферментов зависит от типа питания рыб. Так, по типу предпочитаемой пищи, рыб классифицируют на 4 группы: 1) бентофаги (каarp, лещ, вобла, бычки) – питаются со дна водоема бентосом, то есть живыми и растительными организмами, обитающими в донном грунте; 2) планктофаги (рипус, ряпушка, синец, серебряный карась, верховка) – потребляют зоопланктон – мелкие животные организмы, свободно дрейфующие в толще воды; 3) растительноядные (обыкновенный толстолобик) – питаются растительной пищей, в том числе фитопланктоном; перифитоном (подуст) – растительными обрастаниями; продуктами распада растительности и бактериями (плотва, кефаль) – детритом; макрофитами (белый амур); 4) ихтиофаги, или хищники (щука, сом, радужная форель и др.) – питаются рыбой, а иногда другими водными и наземными позвоночными. Классификация рыб по типу питания считается условной, так как многие виды всеядны, например, сазан, а в некоторых случаях бентофаги могут переходить на питание планктоном, а мирные – при недостатке или отсутствии обычных кормовых объектов становятся хищниками.

На начальных этапах постэмбрионального развития большинство видов рыб в природных условиях питаются зоопланктоном (Ильмаст, 2015). К концу личиночной стадии молодые особи планктофагов и бентофагов начинают употреблять наряду с зоопланктоном бентосные организмы, в то время как

мальки ихтиофагов охотятся на личинок различных видов рыб, включая представителей своего собственного вида (Кузьмина, Стрельникова, 2008; Поддубный, 1971; Стрельникова, 1987). Так, стерлядь на ранних стадиях онтогенеза питается личинками и куколками хирономид, мелкими олигохетами, полихетами, гаммаридами, моллюсками, икрой других рыб. Несколько позже, в составе рациона стерляди отмечается увеличение доли моллюсков (Волосников, 2020). Питается радужная форель ручейниками, жуками, стрекозами, лягушками, личинками комаров. С возрастом, в рационе появляется рыба (Привезенцев, Власов, 2004). Адаптация пищеварительного тракта к смене рациона связана с его анатомической и физиологической пластичностью. В связи с полной или частичной сменой рациона в течение суток или года у многих видов рыб вызывает изменение характера работы пищеварительной системы. Адаптивные перестройки происходят благодаря синтезу различных молекулярных форм пищеварительных ферментов, которые меняются в зависимости от условий среды (таких как температура и уровень pH) или типа кормового объекта. Такие колебания в рационе усложняют классификацию рыб по их пищевым предпочтениям (Кузьмина, 2005).

Известно, что в онтогенезе хордовых пищеварительная система закладывается из энтодермы, ее формирование начинается в ходе эмбриогенеза, а окончательное становление происходит наряду с постэмбриональным развитием. Темп, сроки формирования и функции пищеварительного тракта индивидуальны для каждого вида, зависят как от характера питания, типа ферментативной цепи, так и от врожденной генетической информации. Так, для лососевых характерно завершение формирования пищеварительной системы в личиночном периоде, для осетровых, несколько позже, в мальковом периоде (в возрасте 40-50 суток) (Пономарев, Пономарева, 2003; Волкова, 2010).

Общий план строения пищеварительной системы рыб включает ротовую полость, глотку, пищевод, желудок и кишечник. Однако различия в строении пищеварительной системы определяется типом питания. Так, бентосоядные рыбы по типу семейства карповых и губановых, характеризующиеся непрерывным

потреблением пищи и широким спектром питания, лишены желудка («безжелудочные рыбы»). Хищники и детритофаги, напротив, обладают хорошо сформированным желудком и коротким кишечником. Для увеличения площади всасывания питательных веществ в кишечнике у таких видов формируются слепые выросты — пилорические придатки, расположенные вблизи желудка. Их количество варьируется от нескольких штук у пресноводного окуня до четырехсот у некоторых лососей. Например, у радужной форели пилорические придатки составляют около двух третей от общей поверхности кишечника. Рыбы, обитающие в толще воды и питающиеся зоопланктоном, используют специальный орган пищеварения — жаберный аппарат с жаберными тычинками, выполняющими функцию фильтрации. В виду того, что хищники не разжевывают пищу и заглатывают ее целиком, в ротовой полости происходит ее обволакивание слизью, секретиромой железистыми клетками (Пегель, 1950). Это обеспечивает ее прохождение через короткий пищевод в мускулистый желудок, который имеет возможность растягиваться в зависимости от размера жертвы (Щербина, Гамыгин, 2006). В желудке происходит измельчение пищи благодаря сокращениям стенок и ее переваривание под действием желудочного сока, содержащего пищеварительные ферменты и соляную кислоту. Обработанная пища (химус) частично переходит в короткий кишечник; на их границе с желудком есть сфинктер. От печени и поджелудочной железы отходит общий гепатопанкреатический проток, по которому в кишечник и в отходящие от него пилорические придатки поступают ферменты (Ильмаст, 2005). По мере передвижения химуса по кишечнику осуществляется процесс расщепления биополимеров с последующим всасыванием продуктов их расщепления. Отличие безжелудочных рыб заключается в измельчении пищи глоточными зубами; кишечником, превышающим длину тела в 2-3 раза. Пища накапливается в переднем отделе кишечника, туда же открывается гепатопанкреатический проток. Протоки поджелудочной железы открываются в кишку на всем ее протяжении. Сфинктеры отсутствуют. Пища переваривается под действием пищеварительных ферментов и желчи, превращаясь в химус.

Особенность строения пищеварительной системы осетровых заключается в коротком кишечнике с утолщёнными стенками и наличием специальной складки — спирального клапана (число витков варьирует от 5 до 10), создающего дополнительную всасывающую поверхность. Также он отмечается у некоторых лососевых рыб (Скляр, 2008).

Развитие пищеварительного тракта осетровых происходит в последовательности: спиральный клапан → средняя кишка → желудок. При переходе на активное (экзогенное) питание преимущественно развиты лишь спиральный клапан и средний отдел кишечника (Гербицкий, 1957). Кроме того, у личинок осетровых рыб отмечается развитие челюстных зубов за несколько дней до начала активного потребления пищи, которые редуцируются уже спустя две недели после появления (Садов, 1951).

У лососевых рыб к моменту перехода на экзогенное питание отмечается слабо развитый, но сформированный желудок, а также некоторые структуры кишечника и ротовой полости. Поджелудочная железа, несмотря на функциональную организацию, проявляет низкую ферментативную активность (Волкова, 2010).

Внутренняя поверхность кишечника покрыта высоким однослойным цилиндрическим эпителием, состоящим преимущественно из специализированных клеток — энтероцитов и бокаловидных слизистых клеток. Роль энтероцитов состоит в продуцировании ферментов.

Пищеварительные ферменты относятся к классу гидролаз и обеспечивают распад питательных компонентов корма и последующее их усвоение. Название каждой группы класса гидролаз соответствует типу субстрата, на который действует фермент: белки разрушаются протеазами, липиды — липазами, углеводы — амилазами. В пищеварительной системе рыб насчитывается примерно два десятка разных типов ферментов. Известно, что ферменты производятся организмом в неактивной форме (проферменты), что способствует предотвращению самопереваривания тканей организма. Активация ферментов

происходит в условиях, необходимых для нормального функционирования пищеварительной системы, что часто связано с уровнем рН.

Протеазы разделяются на экзопептидазы и эндопептидазы: первые отсоединяют аминокислоты с концов полипептидной цепи, вторые разрывают внутренние пептидные связи. Примером является пепсин, активный компонент желудочного сока, производимый клетками слизистой оболочки желудка в неактивной форме — пепсиноген. Последний, под действием соляной кислоты желудочного сока, преобразуется в активную форму — пепсин. Действие пепсина эффективно в кислой среде (рН 2–4); при попадании в нейтральную или слабо щелочную среду кишечника активность пепсина снижается вплоть до полного прекращения (Уголев, Кузьмина, 1993). Такие ферменты как трипсин, химотрипсин участвуют в щелочном гидролизе белков. Они синтезируются поджелудочной железой и выделяются в неактивной форме, затем поступают в средний отдел кишечника и пилорические придатки, где активируются энтерокиназой, вырабатываемой слизистой оболочкой кишечника (Диксон, Уэбб, 1982). После активации трипсиногена в трипсин, который, в свою очередь, способен активировать химотрипсиноген, превращая его в химотрипсин. Оба этих фермента действуют по типу эндопептидаз, расщепляющие разные типы пептидных связей. Трипсин осуществляет гидролиз пептидных связей, образуемых основными аминокислотами, такими как аргинин, лизин и гистидин (Caruso et al., 2009). Химотрипсин, напротив, нацелен на разрушение связей, включающих ароматические аминокислоты, такие как фенилаланин, тирозин и триптофан. Высокая активность трипсина и химотрипсина была замечена именно в области пилорических придатков (Гусева, Васильев, 2020). Оптимальные условия для активности кишечных протеаз варьируется от рН 7,5 до 10,0 (Millamena et al., 2002; Кузьмина, 2018).

К группе экзопептидаз относятся секретируемые поджелудочной железой в неактивной форме карбоксипептидазы и отвечающие за удаление С-концевой аминокислоты от пептидов или белков. Выделяют два типа карбоксипептида: А и В. Первый активен в отношении белков с ароматическими С-концевыми

аминокислотами (фенилаланин, тирозин и триптофан), второй же специализируется на пептидах с основными аминокислотами (лизин и аргинин). Аминопептидазы также относятся к группе экзопептидаз и участвуют в разрушении N-концевых пептидных связей в белках. Стоит отметить, что переваривание сложных белковых молекул происходит последовательно. В первую очередь белковые молекулы под действием эндопептидаз расщепляются на большие полипептидные фрагменты, затем происходит отщепление аминных и карбоксильных концевых связей, в завершении дипептидазы восстанавливают белковые соединения до свободных аминокислот. Всасывание крупных белковых молекул, пептидов и свободных аминокислот в кишечнике происходит путем пиноцитоза (Кузьмина, 2018).

Амилазы отвечают за распад углеводов, последовательно разрушая полисахариды до моносахаридов. Существуют две формы амилазы:  $\alpha$ -амилаза, действующая случайным образом, расщепляя цепь изнутри, и  $\beta$ -амилаза, которая разрезает цепь через каждые две единицы глюкозы. В точках разветвления цепей участвует другой фермент – декстриназа. Амилаза и декстриназа совместно образуют мальтозу, которая впоследствии гидролизуется мальтазой до глюкозы - конечного продукта переваривания крахмала (Диксон, Уэбб, 1982). Большая часть амилаз сохраняет стабильность при pH от 5,5 до 8,0, достигая максимальной активности при нейтральных значениях pH (Кузьмина и др., 2022). Амилаза присутствует у большинства рыб; у травоядных, таких как тиляпия, она может встречаться во всех частях пищеварительного тракта, тогда как у плотоядных рыб ее активность ограничивается поджелудочной железой, пилорическими придатками и кишечником.

Сложные углеводы, такие как целлюлоза - компонент клеточных стенок растений и хитин – основной элемент экзоскелета ракообразных, представляют собой потенциальные источники энергии и требуют значительных усилий для их переработки. Расщепление целлюлозы обеспечивается целлюлазой, которая превращает целлюлозу в дисахарид целлобиозу, и целлобиазе, осуществляющей гидролиз целлобиазы до конечного продукта – глюкозы. Стоит отметить, что

целлюлозолитическая активность отмечается у ограниченного числа видов рыб; и ее большая часть обеспечивается микрофлорой кишечника.

Гидролиз эфирных связей в триглицеридах осуществляют липазы, приводя к образованию глицерина и жирных кислот. Данные ферменты обнаруживаются в поджелудочной железе, пилорических придатках, кишечнике и печени. Фосфолипазы, гидролизующие фосфолипиды, также принимают участие в процессе переваривания липидов. Всасывание липидов происходит в клетках эпителия тонкого кишечника в виде жирных кислот, моноглицеридов и капелек жира, которые затем транспортируются в кровеносные и лимфатические сосуды. Внутри клеток кишечника жирные кислоты вновь этерифицируются в триглицериды и транспортируются в виде липопротеинов очень низкой плотности в лимфатические сосуды. В кровотоке триглицериды циркулируют в составе хиломикронов. Процесс абсорбции липидов у рыб аналогичен таковому млекопитающих, хотя скорость всасывания у рыб ниже (Пивненко и др., 2020).

Желчь также принимает участие в пищеварении, облегчая всасывание жиров и стимулируя деятельность поджелудочной железы, тонус и моторику переднего отдела кишечника, подавляет развитие патогенных микроорганизмов. Большая часть желчных кислот снова попадает в кровоток и возвращается в печень для повторного использования. Желчь состоит из желчных кислот, желчных пигментов, холестерина и неорганических солей. В желчи происходит амилазная, протеазная и липазная активность (Фаритов, 2022).

У осетровых рыб функционирование железистого аппарата начинается от анального отверстия в направлении желудка, что соответствует развитию пищеварительного тракта. Активность таких ферментов, как пепсин, химотрипсин, трипсин, амилаза, липаза и щелочная фосфатаза, проявляется уже в период эмбриогенеза и достигает пика непосредственно перед вылуплением. Во время перехода личинок на внешнее питание активность протеиназ временно снижается, но резко увеличивается на 10-12-й день после вылупления (Коржуев, Шаркова, 1967; Плотников, Проскуряков, 1984). Высокая активность пепсина и трипсина отмечалась у озерного осетра (*Acipenser fulvescens*) при переходе на

внешне питание, тогда как в период личиночного развития отмечались наибольшие активности амилаз и липаз (Buddington, 2006).

На функционирование ферментативной системы влияют биотические и абиотические факторы, среди которых наиболее значение имеют температура, рН, количественный и качественный состав корма, а также циркадные ритмы (Остроумова, 2001; Кузьмина, 2018).

А.М. Уголевым и В.В. Кузьминой (1993) была установлена зависимость интенсивности питания рыб от суточных изменений. У рыб с низким уровнем активности ферментов отмечается их увеличение к вечеру, тогда как у тех, чья активность ферментов высока в первой половине дня, суточные изменения менее выражены. Установлено, что циркадные ритмы носят наследственный характер и должны учитываться при организации питания в аквакультуре (Волкова, 2010). Так, у осетровых высокая активность потребления корма отмечалась в утренние (5–8) и вечерние (18–19) часы, тогда как у лососевых (белорыбица, стальноголовый лосось, черноморская кумжа) максимальный уровень активности отмечается либо утром, либо вечером.

Температура оказывает существенное влияние на питание и метаболизм рыб. Каждый вид имеет собственный температурный оптимум, вне которого потребление пищи прекращается, даже при наличии доступных кормовых объектов. Верхние и нижние температурные границы зависят от географического расположения: холодолюбивые виды северных широт имеют более низкие температурные пороги, в отличие от южных, теплолюбивых видов (Volkoff, Rønnestad, 2020). Для каждого пищеварительного фермента существует определенный оптимум температур, при котором он активен. Например, узкий температурный оптимум активности мальтазы (50-60°C), щелочной фосфатазы (55-65°C) и общей протеиназы слизистой оболочки кишечника отмечается у белуги (*Huso huso*), севрюги (*Acipenser stellatus*), стерляди (*Acipenser ruthenus*), русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*) и веслоноса (*Polyodon spathula*) (Бедняков и др., 2009; 2010). Максимальная активность общей протеиназы слизистой оболочки кишечника русского осетра, стерляди, белуги и севрюги была

отмечена при 50°C, у веслоноса — при 60°C. Интересно, что при температуре 0°C, когда ферменты теплокровных животных теряют активность, у осетровых активность мальтазы составляла 20% от максимальной; активность щелочной фосфатазы сохранялась до 19% у белуги, севрюги и русского осетра, до 14% у веслоноса, до 33% у стерляди. Общая протеиназная активность слизистой оболочки кишечника сохранялась от 10 до 13% у белуги, стерляди и русского осетра, до 24% у севрюги и до 5% у веслоноса. Максимальная активность  $\alpha$ -амилазы была зафиксирована при температуре 20–30°C у веслоноса и русского осетра (Бедняков, Неваленный, 2009). Температурный оптимум для лососевых рыб отмечается несколько ниже. Так,  $\alpha$ -амилаза проявляет высокую активность при 30°C у горбуши (*O. gorbuscha*), кеты (*O. keta*) и нерки (*O. nerka*), при 35°C у гольца (*S. alpinus*) и 40°C у микижи (*O. mykiss*), тогда как при температуре 60°C активность фермента уменьшалась до 20% от максимального уровня. Температурный оптимум мальтазы у гольца соответствует 40°C, у микижи – на 10°C выше (Коростелев, 2006).

Кроме температуры, активность каждого фермента зависит от уровня концентрации водородных ионов, определяющего оптимальные условия для их функционирования. Показатель pH - важный физико-химический параметр водной среды, оказывающий прямое влияние на концентрацию водородных ионов в желудочно-кишечном тракте рыб, что, в свою очередь, регулирует активность ферментов, осуществляющих мембранное пищеварение (Краюхин, 1963; Коростелев, 2006). Работы, проведенные *in vitro*, показали, что снижение pH приводит к уменьшению активности ферментов в пищеварительном тракте рыб, главным образом, из-за денатурации молекулы фермента под действием кислоты (Уголев, Кузьмина, 1993).

Оптимальный pH для  $\alpha$ -амилазы у осетровых (белуга, ленский и русский осетр, стерлядь, севрюга и веслонос) находится в пределах 7,0-8,0, тогда как у морских рыб этот показатель составляет 8,0-9,0, а у пресноводных костистых рыб – 6,5-7,5 (Кузьмина, Неваленный и др., 1983, Бедняков, 2014). Снижение pH до 5,0 уменьшает активность  $\alpha$ -амилазы для осетровых на 30-60%, для морских видов –

на 20-60% (Коростелев, 2006), для пресноводных костистых видов – на 15-80% от максимального уровня (Кузьмина, Неваленный и др., 1983). Аналогичное снижение активности наблюдается и при повышении рН среды до 10,0. Для активности щелочной фосфатазы у осетровых оптимальное значение рН отмечается в пределах 7,0-8,0 ед. и сохраняет до 50% активности в диапазоне от 3,0 до 11,0 рН, что свидетельствует о его высокой устойчивости к изменениям рН среды (Бедняков, 2014). У лососевых рыб (микижа, горбуша, голец, кета, нерка) рН 8,0 считается оптимальным значением для активности  $\alpha$ -амилазы, мальтазы и щелочной фосфатазы, рН 11,0 для суммарной протеиназы (Коростелев, 2006). Для активности казеинлитических протеиназ оптимальное значение рН отмечается в пределах 7,5-10,0 ед. для пресноводных и 11,0 ед. для морских (тихоокеанские лососи) костистых рыб; 9,0-11,0 ед. для осетровых рыб (Уголев, Кузьмина, 1993; Коростелев, 2006; Бедняков, 2014). Стоит отметить, что пищеварительные гидролазы осетровых рыб обладают широкой зоной оптимальных значений рН, и активны при рН, характерном как для морских, так и пресноводных видов. Вероятнее всего, именно этот фактор позволяет им успешно заселять обе среды обитания (Бедняков, 2014).

Пресноводные рыбы, принадлежащие к различным экологическим группам по типу питания имеют разный уровень активности одноименных ферментов. Ферменты, участвующие в мембранном пищеварении, показали наиболее высокую активность  $\alpha$ -амилазы у типичных бенто- и планктонофагов, несколько ниже у хищников, которые также питаются бентосом и планктоном; и минимальна у типичных хищников (Кузьмина, 1981). Казеинлитическая активность протеиназ, наоборот, значительно выше у типичных хищников, в то время как активность мальтазы повышена у планкто- и бентофагов. Активность карбогидраз у растительноядных и всеядных рыб значительно превосходит таковые хищников. Так, активность  $\alpha$ -амилазы у всеядного карпа примерно в 70-100 раз выше в сравнении с хищником щукой (Кузьмина, 2008).

В полости кишечника функционируют ферменты, синтезируемые не только поджелудочной железой, но и энтеральной микробиотой. Симбиотическое

пищеварение подразумевает участие аэробных и анаэробных микроорганизмов, чьи ферменты способствуют разложению пищевых частиц. Микробиота кишечника обладает способностью разрушать лигнин, пектин, целлюлозу, хитин и другие вещества, которые не поддаются действию ферментных систем позвоночных, в том числе рыб (Уголев, 1985; Уголев, Кузьмина, 1993; Кузьмина, 2005). Помимо участия в пищеварении, микробиота кишечника поставляет организму продукты своего метаболизма – биологически активные вещества, важные для жизнедеятельности рыб. Например, была отмечена положительная корреляция концентрации витамина В<sub>12</sub> и обилие бактерий рода *Bacteroides* и *Clostridium* у нильской тилапии *Oreochromis niloticus* (Miao Sh et al., 2018; Perry WB et al., 2020). Разнообразие бактериального сообщества положительно влияет на обмен веществ, повышает усвоение питательных компонентов корма, поддерживает иммунную систему и оказывает защиту от патогенных микроорганизмов, а также контролирует энергетический баланс (Viaud et al., 2013). Микробиота кишечника влияет на различные жизненные процессы рыб, включая рост, размножение, динамику популяций и восприимчивость к заболеваниям (Ghanbari et al., 2015; Parris et al., 2016). Бактерии, выделяемые из кишечника травоядных, способны вырабатывать целлюлазные ферменты (Li et al., 2016). Формирование состава микробиоты зависит от рациона, физиологии, генетических и других факторов, определяя обмен веществ, уровень иммунной и эндокринной систем организма (Meng et al., 2019).

Формирование кишечной микробиоты рыб начинается с периода внешнего питания при поступлении воды и пищи в организм. Состав микробиоты определяется типом питания, структурой кормовой базы, интенсивностью и условиями обитания рыб. Например, у хищников обнаружено меньшее количество амилолитических бактерий по сравнению с видами, потребляющими планктон и бентос (Шивокене, 1989; Кузьмина, 2005).

Основу микробиоты рыб составляют аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы, представленные более чем 500 видами (Cui X et al., 2022). Чаще всего встречаются представители типов Proteobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes,

Actinobacteria и Fusobacteria (Gomez, Primm, 2021; Kim, et al., 2021; Spilsbury, et al., 2022). В частности, доля Proteobacteria варьируется от 3% до 98%, а Firmicutes от 1,3% до 45% в зависимости от вида рыб (Spilsbury, et al., 2022). У пресноводных рыб часто обнаруживаются представители Fusobacteria, однако их численность редко превышает 50% от общего состава микробиоты (Kim, et al., 2021).

По данным литературы, в кишечнике рыб широко распространены микроорганизмы рода *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, семейства *Enterobacteriaceae*, *Coryneforms* у пресноводных рыб, а также род *Vibrio* у морских рыб (Извекова и др., 2007). У пресноводных рыб преобладают виды родов *Enterobacter*, *Aeromonas* и *Acinetobacter*, тогда как у морских рыб доминируют *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium* и *Micrococcus* (Cahill, 1990).

В целом, микробиота рыб представлена большим числом грамотрицательных аэробов, с преобладанием грамположительных аэробов у пресноводных рыб. Анаэробы также встречаются у пресноводных видов. У хищников соотношение грамположительных и грамотрицательных аэробы приблизительно одинаково, тогда как у бентофагов преобладают грамотрицательные аэробы (Извекова и др., 2007).

Исследование, проведенное Jiao F. с соавторами (2023), выявило значительные различия в видовом разнообразии микробиоты у рыб с разными типами питания. Наиболее разнообразие оказалось у всеядных рыб, за которым следовали травоядные, планктоноядные и хищники. Доминирующими бактериями у всеядных рыб оказались представители родов *Pseudomonas*, *Zymomonas*, *Luteolibacter*. У травоядных рыб преобладали бактерии рода *Bacteroides*, у планктоноядных – *Limnobacter* и *Pseudomonas*, а у хищников – *Limnobacter*, *Acinetobacter* и *Mycoplana*. Бактерии родов *Acinetobacter* и *Pseudomonas* участвовали в переваривании белка, а бактерии рода *Bacteroides* – в разложении целлюлозы.

Качественный и количественный состав микробиоты кишечника рыб во многом зависит от состояния иммунной системы хозяина. Определенные типы микроорганизмов, такие как Firmicutes, Actinobacteria, Alteromonadales и Bacteroidetes, способствуют укреплению местного иммунитета рыб, воздействуя на патогенные бактерии (Shafique, et al., 2021).

Возраст также играет существенную роль в формировании микробиома кишечника рыб (Minich, et al., 2020). На личиночном этапе развития отмечается преобладание Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes и Actinomycetes (Borges, et al., 2021). У некоторых видов, таких как белый амур (*Ctenopharyngodon idella*), китайский окунь (*Siniperca chuatsi*) и сом (*Silurus meridionalis*), разнообразие микроорганизмов увеличивалось с возрастом (Butt, Volkoff, 2019). Однако T. Dulski с соавторами (2018) обнаружили, что у молоди обыкновенного судака (*Sander lucioperca*) структура микробиома оставалась стабильной независимо от возраста, при этом доминировали Proteobacteria (92-95%).

Таким образом, численность и состав кишечной микробиоты, а также функционирование ферментативной системы варьируется в зависимости от вида, возраста и условий обитания рыб. Несмотря на общую тенденцию к доминированию определенных типов микроорганизмов, конкретные функции отдельных видов внутри этих типов могут значительно различаться (Adamovsky, et al., 2018). Современные исследования подтверждают, что функциональный потенциал микробиоты кишечника тесно связан с потребностями организма хозяина (Talwar, et al., 2018), а высокий уровень ее разнообразия рассматривается как положительный признак, свидетельствующий о благополучном состоянии здоровья организма-хозяина (Shafique, et al., 2021).

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Объекты исследования и условия проведения экспериментов

Производственные исследования выполнены на рыбоводческих предприятиях ООО «Новая Аквакультура» (Тюменская область) и ООО «Радужный» (Кабардино-Балкарская республика) в период с 2022 по 2024 г (таблица 1).

Таблица 1 – Объекты, периоды исследований, состав рационов и титры пробиотических бактерий в корме (КОЕ/г)

Объект исследования (возраст), год вегетационного сезона	Группа	Состав рациона	Титр пробиотических бактерий в корме, КОЕ/г
Молодь стерляди <i>Acipenser ruthenus</i> (43-65 сут.), 2022 г.	Контрольная	Основной рацион (ОР)	-
	Опытная	ОР + 0,5 г/кг корма пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А)	<i>B. subtilis</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup> <i>B. licheniformis</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup> <i>E. faecium</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup>
Молодь стерляди <i>Acipenser ruthenus</i> (69-102 сут.), 2024 г.	Контрольная	Основной рацион (ОР)	-
	Опытная №1	ОР + 0,5 г/кг корма пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А)	<i>B. subtilis</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup> <i>B. licheniformis</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup> <i>E. faecium</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup>
	Опытная №2	ОР + 0,5 г/кг корма пробиотической композиции споровых бактерий (Басулифор А)	<i>B. subtilis</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup> <i>B. licheniformis</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup> <i>B. amyloliquefaciens</i> 0,5 x 10 <sup>6</sup>
Молодь радужной форели <i>Oncorhynchus mykiss</i> (годовики), 2024 г.	Контрольная	Основной рацион (ОР)	-
	Опытная	ОР + 1,0 г/кг корма пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А)	<i>B. subtilis</i> 1,0 x 10 <sup>6</sup> <i>B. licheniformis</i> 1,0 x 10 <sup>6</sup> <i>E. faecium</i> 1,0 x 10 <sup>6</sup>

ООО «Новая Аквакультура» занимается выращиванием молоди стерляди для воспроизводства и в компенсационных целях; ООО «Радужный» выращиванием товарной форели.

Молодь стерляди (*Acipenser ruthenus* L. 1758) возраста 43-65 суток выращивали в условиях УЗВ, бассейнах площадью 4 м<sup>2</sup>, с глубиной воды 30 см при показателе водообмена 1,2 м<sup>3</sup>/час. Молодь получала корма компании Correns (Германия) (протеин - 56%, жир - 15%, зола - 11%, фосфор - 1,85%, клетчатка - 0,3%) в качестве базового контрольного корма. Кормление проводили вручную, каждые два часа. В корм опытной группы вносили композицию споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* (Бацифолин А) из расчета 0,5 г/кг корма. В системе УЗВ рыбоводного предприятия ООО «Новая Аквакультура» содержится 220 м<sup>3</sup> воды. Поступление воды осуществлялось из скважины, глубина которой составляет 15 метров, а в ее основе лежит песочный фильтр. Температура воды и кислородный режим поддерживались на уровне 17,0 – 17,3 °С и 7,6 – 8,2 мг/л соответственно. В возрасте 65 суток молодь стерляди была выпущена в Обь-Иртышский бассейн.

Молодь стерляди (*Acipenser ruthenus* L. 1758) возраста 69-102 суток выращивали в лотках УЗВ площадью 3 м<sup>2</sup>, с глубиной воды 30 см. Показатель водообмена составлял 1,2 м<sup>3</sup>/час. В корм опытных групп добавляли пробиотические композиции в дозировке 0,5 г/кг корма: в опытную группу № 1 – композицию споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* (Бацифолин А), в опытную группу № 2 – композицию споровых бактерий *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* (Басулифор А). Кормление проводили вручную, каждые два часа. Количество рыб в каждой группе составляло 600 экз./лоток. Температура воды и содержание кислорода воде поддерживались на уровне 15,9 – 19,1 °С и 7 – 10,5 мг/л.

Молодь радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) (Нельсон, 2009) выращивали в бассейнах с проточным водоснабжением в условиях рыбхоза ООО «Радужный» (Кабардино-Балкарская республика, р-н Майский). Оплодотворенная икра была приобретена у французского производителя и инкубирована в УЗВ на

территории предприятия ООО «Обанхи» р. Ингушетия, Джейрахский район. После достижения массы тела 20 г молодь была переведена на выращивание в условиях рыбного предприятия ООО «Радужный». Площадь бассейнов составляла 120 м<sup>2</sup>, с глубиной воды 20 см и показателем водообмена - 30 л/сек (108 м<sup>3</sup>/ч). В качестве базового рациона использовались отечественные корма компании Noreg (ООО «Норег», Санкт-Петербург) (протеин 45-47%, жир 21-23%, углеводы 10%, зола 7%, клетчатка 3%, лизин 2,4%, метионин+цистин 1%, фосфор 0,9%). Кормление проводили вручную, два раза в сутки. В корм опытной группы вносили композицию споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* (Бацифолин А) из расчета 1,0 г/кг корма. Количество молоди в контрольной и опытной группах составляло 6500 и 6519 экз. соответственно. Температура воды во время проведения исследований изменялась от 16 до 18°C.

## 2.2. Характеристика пробиотических композиций

Для приготовления опытных кормов были использованы: композиция споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А), композиция споровых бактерий (Басулифор А).

Пробиотическая композиция «Бацифолин А» содержит штаммы спорообразующих *Bacillus subtilis* ВКМБ-1601Д/ВКМ В-2250Д и *Bacillus licheniformis* В-1602/ВКМ В-2252 Д и молочнокислых бактерий *Enterococcus faecium* ВКМ В-4054 (соотношение 1:1:1) в количестве не менее 3 x 10<sup>9</sup> КОЕ/г. Пробиотическая композиция «Басулифор А» содержит спорообразующие штаммы бактерий *Bacillus subtilis* ВКМБ-1601Д/ВКМ В-2250Д, *Bacillus licheniformis* В-1602/ВКМ В-2252 Д и *Bacillus amyloliquefaciens* 3/28 ВКПМ В-3679 (соотношение 1:1:1) в количестве не менее 3 x 10<sup>9</sup> КОЕ/г.

*Bacillus subtilis* («сенная палочка») – грамположительная аэробная бактерия, способная формировать споры. Является «типовым штаммом» порядка Bacillales типа Firmicutes, впервые подробно описанный Фердинандом Коном в 1872 году (Errington, 2020). Он широко распространен в природе, быстро растет, не

требователен к культивируемым условиям и наличию питательных веществ, что дает ему возможность колонизироваться и размножаться в различных местах обитания. Способность образовывать споры, а также их устойчивость к экстремальным температурам, уровням pH, желудочной кислоте, желчи и различным растворителям стало предпосылкой для выделения его в кандидаты пробиотических бактерий (Williams, Weir, 2024). Вторым фактором послужило признание Food and Drug Administration (FDA) безопасности, непатогенности и нетоксичности данного вида (Brutscher, et. al., 2022).

Пробиотические свойства *B. subtilis* обусловлены несколькими механизмами. Так, они производят противомикробные вещества, подавляющие широкий спектр патогенной и условно-патогенной микробиоты. Основная группа этих соединений — липопептиды, включающие сурфактин, фенгицин и итурин, обладающие поверхностно-активными свойствами и проявляющие антибактериальную, противовирусную, противогрибковую и противовоспалительную активность (Caulier, et. al., 2019; Ali, et al., 2022). Кроме того, отмечена способность *B. subtilis* синтезировать антибиотики, такие как бациллин и бацилизин, снижающие выживаемость патогенных микроорганизмов (Забокрицкий, 1999; Erega, et al., 2022). Известно, что *B. subtilis* способствует росту благоприятной микробиоты, в частности бактерий родов *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* и увеличивает разнообразие микробиома кишечника.

Отмечена способность *B. subtilis* продуцировать постбиотики - соединения, производимые пробиотическими бактериями, такие как ферменты, короткоцепочечные жирные кислоты, витамины, тейхоевые кислоты, экзополисахариды, фрагменты клеточных стенок, бактериальные лизаты, бесклеточные супернатанты и другие метаболиты, возникающие в результате деятельности кишечной микробиоты (Vinderola, 2024).

Ферменты представляют собой белковые молекулы, ускоряющие биохимические реакции, выступая в качестве катализаторов. Ферменты микробного происхождения выполняют разнообразные биохимические и физиологические функции. Так, *B. subtilis* способен продуцировать

пищеварительные ферменты – амилазу, липазу, протеазу, пектиназу и целлюлазу, в этой связи при добавлении его в рацион повышается перевариваемость и усвоение корма (Савустьяненко, 2016).

*Bacillus licheniformis* – грамположительные спорообразующие бактерии. Встречается в почве и широко применяется в биотехнологии для производства различных ферментов, таких как протеаза, амилаза, липаза. Кроме того, способствуют повышению разнообразия микробиоты, в частности бактерий типа Firmicutes (Zhang, et. al., 2021). Отмечена антагонистическая активность *B. licheniformis* в отношении *C. perfringens* и *S. aureus* in vitro (Lin, et al., 2019).

*Bacillus amyloliquefaciens* – грамположительные спорообразующие бактерии, встречающиеся в почвенной среде. Являются многофункциональными пробиотическими организмами, проявляющие значительный потенциал в ингибировании патогенного бактериального роста и усилении усвоения питательных веществ. Известно, что этот микроорганизм вырабатывает широкий спектр ферментов, включая  $\alpha$ -амилазу, протеазу, липазу, целлюлазу, ксиланазу, пектиназу, аминотрансферазу, пероксидазу, глюканазу и хитиназу. Кроме того, он является источником фермента рестриктазы; синтезирует природный антибиотик протеин, рибонуклеазу, которая образует комплекс со своим внутриклеточным ингибитором барстаром, и плантазолицин – антибиотик с селективной активностью против *B. anthracis*. Кроме этого, используется в сельском хозяйстве, аквакультуре и гидропонике для борьбы с корневыми патогенами, такими как *Ralstonia solanacearum*, *Pythium*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria tenuissima* и *Fusarium*, улучшают устойчивость корней к солевому стрессу (Huang, et al., 2014; Tan, et al., 2016). Они считаются ризобактериями, способствующими росту, и обладают способностью быстро колонизировать корни (Веденева, Скиданов, 2021). Было показано, что *B. amyloliquefaciens* изменяет структуру и состав микробного сообщества, что приводит к увеличению количества бактерий, окисляющих аммиак (Хуе, et. al, 2021).

Исследование Larsena с соавторами (2014) в условиях in vitro выявило антибактериальное действие *B. amyloliquefaciens* на различные патогены

животных, включая *E. coli*, *S. aureus* и бактерии р. *Salmonella*. Также было отмечено, что данный вид эффективно ингибирует рост *L. monocytogenes*, выделяя бактериоцины (Kaewklom, et. al, 2013).

*Enterococcus faecium* – молочнокислые грамположительные бактерии, не образующие спор и капсул. Вид относится к роду энтерококков, порядку Lactobacillales типа Firmicutes. Различные штаммы *E. faecium* устойчивы к температуре, рН и желчным солям. Бактерии могут колонизировать кишечный тракт животных, с некоторым ингибированием *E. coli*, *S. aureus* и бактерии р. *Salmonella* (Lee, et al., 2019).

Пробиотики вносились в опытные корма путем напыления на суточную норму кормосмеси. Для сохранения пробиотических свойств и обеспечения качества корма, его приготавливали каждые сутки. Концентрации пробиотиков были определены исходя из оптимального содержания КОЕ в 1 грамме корма – на уровне  $1,0 \times 10^6$  (Савиных, 2022).

## **2.3. Методы исследований**

### **2.3.1 Оценка антагонистической активности пробиотических штаммов**

Определение антагонистической активности пробиотических штаммов проведено методом агаровых блоков и штрих пятен. Для этого из пробиотических штаммов готовили взвеси с концентрацией около  $10^9$  жмк/мл по Мак-Фарланду. По 0,1 мл этих взвесей наносили на чашки Петри со средой ГРМ-ДЭ агар и растирали шпателем. Посевы культивировали при  $30^{\circ}\text{C}$  в течение 20 часов. Полученные газоны штаммов использовали для определения антагонизма.

Из выращенных суточных газонов исследуемых штаммов нарезали агаровые блоки диаметром 5 мм, которые помещали на свежезасеянные газоны тест-культур. В качестве тест-культур использовали *Salmonella enteritidis* 237, *Escherichia coli* O157MPA II-3, *Listeria monocytogenes* 766, *Staphylococcus aureus* MR218, *Clostridium perfringens* ATCC 33124. Рядом с блоком в том же секторе чашки делали посев исследуемого штамма штрих пятном диаметром 5 мм. После помещения блоков и штрих пятен на чашку, посевы инкубировали в условиях

оптимальных для роста тест-культур ( $37^{\circ}\text{C}$ , аэробные условия, 20-24 часа). По окончании культивирования определяли диаметр зон подавления роста тест-культур вокруг агарового блока и штрих пятна. Результаты эксперимента приведены в таблице 2. В числителе указан диаметр зоны подавления роста для агаровых блоков, в знаменателе – для штрих-пятен. Исследования антагонистической активности штаммов проведены совместно с ООО «НИИ ПРОБИОТИКОВ».

### **2.3.2 Оценка ферментативной активности пробиотических штаммов**

Оценку ферментативной активности пробиотических штаммов проводили в научно-исследовательской лаборатории антимикробной резистентности Института Х-БИО ТюмГУ. Активность липазы определяли по модифицированному методу Ота, Ямада, в качестве субстрата использовали оливковое масло; общую протеолитическую активность по методу Вильштеттера и Вальдшмидт-Лейтца, в качестве субстрата использовали желатин. При определении активности амилазы в качестве субстрата использовали 1% раствор крахмала.

### **2.3.3 Оценка гидрохимических показателей и биологической фильтрации**

Гидрохимический анализ проб воды проведен на базе ФГБНУ «ВНИРО» Тюменский филиал в секторе гидрохимических исследований лаборатории рыбохозяйственной экологии. Воду на анализ отбирали в полиэтиленовые бутылки объемом 5 л. непосредственно из лотков/бассейнов, в которых выращивалась рыба. После чего в течение часа пробы доставлялись в лабораторию. Анализ проводили в соответствии со следующими методами, утвержденными в природоохранных нормативных документах:

гидрокарбонаты, мг/дм<sup>3</sup> - РД 52.24.493-2020 (вариант 2),

водородный показатель, ед, рН - РД 52.24.495-2017,

аммоний-ион, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.262-10,

нитрит-ион, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.3-95,

железо общее, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.50-96,  
биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.123-97 п.10.2,

калий, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000,  
натрий, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000,  
кальций, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000,  
магний, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000,  
хлорид-ион, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18,  
фосфат-ион, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18,  
сульфат-ион, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18,  
нитрат-ион, мг/дм<sup>3</sup> - ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18,  
жесткость общая, °Ж - ПНД Ф 14.1:2:3.98-97.

Микробиологический анализ проб воды выполняли в Тюменском государственном университете в научно-исследовательской лаборатории антимикробной резистентности Института Х-БИО. Для определения количества микробов в 1 мл исследуемой пробы использовании метод подсчета КОЕ путем умножения числа выросших в чашке колоний после инкубации в термостате в течение времени, необходимой для роста каждого из видов бактерий, на степень разведения пробы и вычисляют среднее арифметическое количество колоний, подсчитанных на двух чашках (Сычёва и др., 2018). Посевы производили на питательную среду Lauria-Bertani (LB). Состав среды Luria Bertani Agar (LA) (г/л): триптон – 10.0, дрожжевой экстракт – 5.0, NaCl – 5.0, агар-агар – 20.0.

Для оценки работы биофильтра в среду Виноградского (г/л): (NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>SO<sub>4</sub> – 2.0; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 1.0; MgSO<sub>4</sub> – 0,5; FeSO<sub>4</sub> – 0,4; NaCl – 2.0 вносили смывы с пластиковых кассет биофильтра. После чего инкубировали при 30<sup>0</sup> С в течение 1–3 недель. Для обнаружения нитритов в пробирки добавляли реактив Грисса. Появление красного окрашивания свидетельствовало о присутствии нитритов. Для обнаружения нитритов несколько кристаллов дифениламина растворяли в капле концентрированной серной кислоты и к смеси добавляли каплю исследуемой культуральной жидкости. Появление синего окрашивания свидетельствовало о

присутствии нитратов (Нетрусов, 2005). Оптическую плотность нитрифицирующих бактерий определяли с помощью кюветного спектрофотометра Multiscan GO (Thermo Fisher Scientific) при длине волны 620 нм против стерильной среды.

#### **2.3.4 Рыбоводно-биологические показатели**

Для оценки динамики развития молоди исследуемых групп был применен метод средних навесок (Плотников и др., 2017). Учет отхода молоди проводили ежедневно. Выживаемость рыб выражали в процентах от общего числа наблюдаемых рыб (Щербина, Гамыгин, 2006).

Определение морфометрических показателей молоди стерляди проводили согласно рекомендациям И.Ф. Правдина (1966). Молодь фиксировали в 4% растворе нейтрального формалина и выполняли морфометрический анализ под биноклем МБС-10 с использованием штангенциркуля по следующим признакам (рисунок 1) (мм): L – зоологическая (общая) длина тела; L1 – длина тела – расстояние от края жаберной крышки до основания средних лучей хвостового плавника; AD – антедорсальное расстояние; AA – антеанальное расстояние; PV – пенктовентральное расстояние; VA – вентроанальное расстояние; H – наибольшая высота тела; HM – наименьшая высота тела; CL – длина хвостового стебля; BS – наибольшая толщина тела; C – длина головы; R – длина рыла; CO – горизонтальный диаметр глаза; OP – заглазничное расстояние; OO – межглазничное расстояние; HC – наибольшая высота головы; BC – наибольшая ширина головы; RCR – расстояние от конца рыла до линии, проходящей через середину основания передней пары усиков; SO – длина наибольшего усика; RS – расстояние от конца рыла до хрящевого свода рта; CR – ширина рта; DL – длина основания спинного плавника; DH – высота спинного плавника; AL – длина основания анального плавника; PL – длина грудного плавника; VL – длина брюшного плавника; SD – число спинных жучек; SL – число боковых жучек; SV – число брюшных жучек.

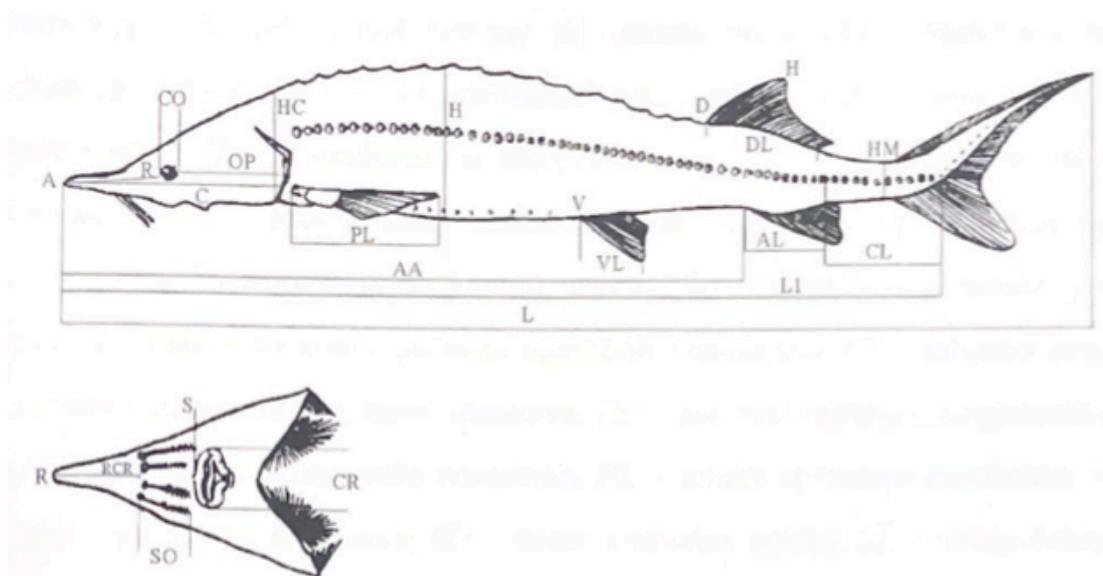


Рисунок 1 - Схема измерений молоди осетровых (Правдин И.Ф., 1966)

Оценке степени согласованности подвергались 8 ключевых признаков: L – зоологическая (общая) длина тела; AA – антеанальное расстояние; H – наибольшая высота тела; HM – наименьшая высота тела; CL – длина хвостового стебля; C – длина головы; HC – наибольшая высота головы; DH – высота спинного плавника.

Всего из контрольных и опытных групп проанализировано 183 экземпляра молоди стерляди.

Определение профиля интерьерных признаков проводили по общепринятым методам (Шварц, 1968; Смирнов, 1972; Рыжков, 2014). Результаты взвешивания получали с точностью до 0,1 г. Определяли массу печени, жабр, сердца, кишечника, гонад, селезенки. Индексы внутренних органов рыб (I, %) рассчитывали по формуле:

$$I = x * 100 / y, \quad (1)$$

где x – масса органа, г; y – масса рыбы без внутренностей, г.

Для определения степени упитанности рыб рассчитывали коэффициент Фультонна:

$$Q = \frac{w \cdot 100}{l^3}, \quad (2)$$

где  $Q$  — коэффициент упитанности;  $w$  — вес рыбы, г;  $l$  — длина рыбы от начала рыла до конца чешуйного покрова, см.

Количество рыб, отобранных для определения профиля интерьерных признаков, составило по 5 экземпляров из каждой группы.

### **2.3.5 Микробиологическое исследование спирального отдела кишечника молоди стерляди**

Отбор микробиологических проб кишечника рыб осуществляли 1 раз (по 3 экз. из каждой группы) – в конце эксперимента в научно-исследовательской лаборатории антимикробной резистентности Института Х-БИО Тюменского государственного университета. При сборе материала для определения микробиологического состава кишечника молоди руководствовались методикой В.А. Мусселиус (1983). С соблюдением правил асептики рыбу вскрывали, у стерляди изымали спиральную кишку и помещали в стерильную пробирку. Пробирки с материалом доставляли в лабораторию микробиома, регенеративной медицины и клеточных технологий Тюменского государственного медицинского университета в течение 1 часа. Кишечники с содержимым стерильно взвешивали, приготавливали гомогенат и разводили в физиологическом растворе в соотношениях от  $10^{-1}$  до  $10^{-9}$ . Из соответствующего разведения делали посеvy на селективные питательные среды в объеме 1,0 и 0,1 мл. Для обнаружения бактерий семейства энтеробактерий посев производили на среду Эндо, Плоскирева, Висмут-сульфит агар; *Staphylococcus* - желточно-солевой агар; лактобактерий – среда MRS; рода *Clostridium* – железо-сульфитный агар; бактерии вида *Bacillus* - желточно-солевой агар; *Enterococcus faecium* – энтерококк-агар; грибы рода *Candida* – среда Сабуро; родовую и видовую принадлежность полученных образцов микроорганизмов определяли с помощью 96-луночных планшетов для идентификации Грам-положительных и Грам-отрицательных микроорганизмов (GPID, GPALL1F, GNID, GN4F).

### 2.3.6 Исследование активности пищеварительных ферментов молоди рыб

Измерения ферментативной активности выполнили в научно-исследовательской лаборатории антимикробной резистентности Института Х-БИО ТюмГУ. Рыбу вскрывали (по 5 экз. из каждой группы), изымали желудочно-кишечный тракт: у радужной форели - область пилорических придатков, передний и средний отделы кишечника, у стерляди – спиральный отдел кишечника. Общую протеолитическую активность (трипсин КФ 3.4.21.4, химотрипсин КФ 3.4.21.1 и дипептидаза КФ 3.4.13.18) определяли с использованием 0,5% раствора азоказеина трис-буфере, pH 7,5 (Нетрусов, 2005). Субстрат с гомогенатом инкубировали в течении 20 мин. при 37°C. Реакцию останавливали добавлением 10% трихлоруксусной кислоты. Осадок удаляли с помощью центрифугирования, отбирали супернатант и к нему добавляли 0,5 М NaOH. Одновременно в соответствующую контрольную пробу добавляли аналогичный объем трис-буфера. Активность определяли спектрофотометрически при 440 нм. За единицу протеолитической активности принимали такое количество фермента, которое вызывает увеличение оптической плотности фильтрата на 0,01 ед. при измерении против контрольной пробы. Протеолитическую активность выражают (с учетом разведения) в ед/мин × мг.

Активность α-амилазы (КФ 3.2.1.1) определяли по методу Смита и Роя в модификации Маннинга и Кемпбелла (Нетрусов, 2005). Метод основан на колориметрическом определении скорости изменения окраски с йодом на спектрофотометре при 610 нм. В качестве субстрата использовали 1% раствор крахмала. Инкубацию проводили при 40°C 15 мин. Реакцию останавливали добавлением 1 н. HCl. Действие фермента учитывали по разнице окраски в контроле и опыте (Б-А). Активность фермента выражали в условных единицах в 1 мин на 1 мл культуральной жидкости с учетом разведения (ед/мин × мг).

Липазную активность (КФ 3.1.1.3) определяли титриметрическим методом, в качестве субстрата использовали оливковое масло. Метод основан на титровании щелочью свободных жирных кислот, образующихся из оливкового масла в

результате действия фермента (Нетрусов, 2005). Инкубацию проводили при 30°C 30 мин. Реакцию останавливали добавлением 20 мл этанола. За контроль принимали пробу с прокипяченным раствором. За единицу липазной активности принимают количество 0,1 н. щелочи, пошедшей на титрование 1 мкмоль жирных кислот, образующихся за 1 мин.

Оптическую плотность определяли на микропланшетном спектрофотометре Multiscan GO (Thermo Fisher Scientific). Измерения всех активностей проводили в трех повторностях. Результаты приведены с учетом разведения на 1 мг сырой массы пробы желудочно-кишечного тракта.

### 2.3.7 Рыбопродуктивные показатели

Показатель рыбопродуктивности рассчитывали по формуле Е.И. Хрусталева с соавторами (2022):

$$П = A_{п} \times (B - b) \times P / 100, \quad (3)$$

где П – величина рыбопродуктивности, кг/га;  $A_{п}$  – плотность посадки, шт./га; В – конечная масса рыб, кг;  $b$  – начальная масса рыб, кг; P – выживаемость, %.

Экономический эффект рассчитывали по формуле И.Л. Фридмана (1986) (Есавкин и др., 2018):

$$Ээ = П_2 * N * Ц - П_1 * N * Ц, \quad (4)$$

где Ээ – экономический эффект, руб;  $П_1$  – прирост массы тела рыб в бассейне контрольной группы в расчете на 1 м<sup>2</sup>;  $П_2$  – прирост массы тела рыб в бассейне опытной группы в расчете на 1 м<sup>2</sup>; N – количество рыб вначале и в конце выращивания; Ц – цена 1 кг товарной рыбы.

### 2.3.8 Бактериологические исследования охлажденной товарной форели

Бактериологические исследования охлажденной товарной форели проведены по нормативным методикам соответствующих ТР ТС: ГОСТ 31746-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*; ГОСТ 10444.15-94 - Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-

анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ); ГОСТ 31659-2012. Исследования проведены на базе ФГБУ «Центр оценки качества зерна» (Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик), а также на базе ГАУ ТО «Тюменская областная ветеринарная лаборатория» (г. Тюмень).

### **2.3.9 Статистическая обработка результатов исследования**

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica. Полученные экспериментальные данные представлены в виде средних $\pm$ SE. Статистическая значимость определялась с использованием непараметрического U-теста Манна-Уитни. Значение  $p < 0.05$  было принято, как статистически значимое. При построении дендрограмм был применен метод кластерного анализа (двухсвязный парно-групповой метод в метрике «1 – Пирсон r») (Гашев, Бетляева, Иванова, Цицкиева, 2023; 2024).

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Исследование антагонистической активности пробиотических штаммов

Пробиотические штаммы способны продуцировать большое количество разнообразных антибиотических метаболитов, посредством которых происходит ингибирование роста патогенных микроорганизмов. В этой связи нами было проведено исследование пробиотических штаммов в отношении патогенных микроорганизмов (таблица 2).

Таблица 2 - Антагонистическая активность штаммов пробиотиков в отношении штаммов тест культур

Тест штаммы	Диаметр зон подавления роста тест культуры пробиотиком, мм			
	<i>Bacillus subtilis</i> ВКМБ-1601Д/ВКМ В-2250Д	<i>Bacillus licheniformis</i> В-1602/ВКМ В-2252 Д	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 3/28 ВКПМ В-3679	<i>Enterococcus faecium</i> ВКМ В-4054
<i>Salmonella enteritidis</i> 237	36/32	0	33/33	10/10
<i>Escherichia coli</i> O157MPA II-3	36/34	0	30/30	15/10
<i>Listeria monocytogenes</i> 766	40/32	0	28/25	40/10
<i>Staphylococcus aureus</i> MR218	45/40	0	40/38	16/11
<i>Clostridium perfringens</i> ATCC 33124	35/30	11/10	26/20	0

Примечание: В числителе указан диаметр зоны подавления роста для агаровых блоков, в знаменателе - для штрих-пятен

Максимальная антагонистическая активность в отношении тест-культур была отмечена у *B. subtilis*. Несколько ниже активность проявлялась у *B. amyloliquefaciens*. Выявлено, что *B. licheniformis* из всех тест-культур способен подавлять рост лишь *C. perfringens* ATCC 33124. Антагонистическая активность *E. faecium* наиболее выражена в отношении *L. monocytogenes* 766.

*Salmonella* и *E. coli* классифицируются как кишечные грамотрицательные бактерии семейства Enterobacteriaceae. Первые - факультативные анаэробы,

вторые - аэробы или факультативные анаэробы. *E. coli* является постоянным обитателем кишечника рыб, птиц, млекопитающих и человека, тогда как виды *S. typhimurium* и *S. typhi* могут встречаться в рыбе и способны вызвать заболевания (Yang, 2020; Долганова и др., 2022).

*L. monocytogenes* – представители семейства Listeriaceae, являются грамположительными короткими палочками, почти кокками, не образуют спор, факультативные аэробы; обнаруживаются в свежей рыбе (Takahashi et.al, 2009).

*C. perfringens* – неподвижные, грамположительные, анаэробные палочки, принадлежащие семейству Clostridiaceae. Их споры могут встречаться на жабрах и в пищеварительной системе рыб (Сахарова, 2022).

*S. aureus* - грамположительные факультативные анаэробы, принадлежащий семейству Staphylococcaceae; является патогеном и способен вызывать пищевые отравления.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о перспективности использования изучаемых пробиотических штаммов в качестве биологической защиты от патогенных микроорганизмов, что является актуальным при выращивании рыб.

### 3.2. Исследование ферментативной активности пробиотических штаммов

Пробиотические бактерии обладают разной степенью активности в отношении различных субстратов (таблица 3).

Таблица 3 - Ферментативная активность пробиотических бактерий

Пробиотический организм	Ферментативная активность, ед. на 1 млн клеток		
	Амилазная	Липазная	Протеазная
<i>Bacillus subtilis</i> ВКМБ-1601Д/ВКМ В-2250Д	0,072±0,007	0,060±0,008	0,803±0,009
<i>Bacillus licheniformis</i> В-1602/ВКМ В-2252 Д	0,053±0,005	0,044±0,011	0,505±0,006
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 3/28 ВКПМ В-3679	0,064±0,006	0,114±0,011	0,525±0,006
<i>Enterococcus faecium</i> ВКМ В-4054	0,0024±0,0005	0,056±0,000	0,898±0,15

Так, амилазная активность *B. subtilis* на 26,4 % выше в сравнении с *B. licheniformis*. Показатель превышения *B. subtilis* по амилазной активности для *B. amyloliquefaciens* и *E. faecium* составляет 11,1 % и 41,5 % соответственно.

Высокая протеазная активность отмечалась у *E. faecium*. Так, показатель превышения составил 10,5 % в сравнении с *B. subtilis*, 43,8 % *B. licheniformis* и 76,2 % *B. amyloliquefaciens*.

Наибольшая липазная активность была отмечена у *B. amyloliquefaciens*, что на 47,4 % выше по сравнению с *B. subtilis*, на 61,4 % *B. licheniformis* и на 50,9 % *E. faecium*.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой ферментативной активности пробиотических штаммов.

### **3.3. Результаты оценки гидрохимических параметров и биологической фильтрации**

Поддержание гидрохимических показателей на оптимальном уровне имеет первостепенное значение при выращивании рыб в условиях аквакультуры.

Химические вещества, содержащиеся в составе вод, условно делят на 6 групп: 1) главные ионы (макрокомпоненты) –  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_2^{2-}$ ; 2) растворенные газы; 3) биогенные вещества – соединения азота, фосфора, кремния и железа; 4) органические вещества – органические кислоты, сложные эфиры, а также соединения, содержащие азот (белки, аминокислоты и др.); 5) микроэлементы – все металлы, кроме  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  (Никаноров, 2001). Главные ионы делятся на отрицательно заряженные (анионы) – гидрокарбонаты ( $HCO_3^-$ ), сульфаты ( $SO_4^-$ ) и хлориды ( $Cl^-$ ) и положительно заряженные (катионы) – кальций ( $Ca^{2+}$ ), магний ( $Mg^{2+}$ ), натрий ( $Na^+$ ) и калий ( $K^+$ ) (Михайлов, 2007).

Жесткость – важный показатель пресной воды, обусловленный присутствием в ней некоторых растворенных солей, преимущественно двухвалентными катионами  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  (Михайлов, 2007). Существует несколько видов

жесткости. Так, карбонатная (непостоянная) обусловлена наличием гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ), карбонатов кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и магния ( $\text{MgCO}_3$ ). Некарбонатная (постоянная) – содержанием хлоридов ( $\text{Cl}^-$ ), сульфатов ( $\text{SO}_4^-$ ) и других солей. Суммарные величины этих двух типов жесткостей определяют общую жесткость воды.

Гидрохимический анализ воды при выращивании молоди стерляди возраста 43-65 сутки определил категорию жесткости воды – «очень жесткая», что обусловлено избытком ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  (таблица 4).

Таблица 4 - Гидрохимические условия при выращивании молоди стерляди возраста с 43 по 65 сутки в условиях УЗВ

Показатель	Группы		
	До эксперимента	В конце эксперимента	
		Контрольная группа	Опытная группа
рН, ед	$8,08 \pm 0,10$	$7,63 \pm 0,10$	$7,73 \pm 0,10$
БПК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	$2,4 \pm 0,6$	$5,2 \pm 0,7$	$4,0 \pm 0,6$
Жесткость общая, °Ж	$19,3 \pm 1,8$	$20,3 \pm 1,9$	$22,0 \pm 2,0$
ОМЧ, КОЕ/мл	$2,2 \times 10^3$	$5,0 \times 10^4$	$9,4 \times 10^5$
Катионы, мг/дм <sup>3</sup>			
$\text{K}^+$	$6,6 \pm 0,93$	$9,8 \pm 1,4$	$8,6 \pm 1,3$
$\text{Na}^+$	$148 \pm 15$	$91,2 \pm 9,2$	$86,0 \pm 8,6$
$\text{Ca}^{2+}$	$253 \pm 26$	$308 \pm 31$	$278 \pm 28$
$\text{Mg}^{2+}$	$60,8 \pm 6,1$	$72,8 \pm 7,3$	$65,9 \pm 6,6$
$\text{NH}_4^+$	$0,21 \pm 0,08$	$1,22 \pm 0,37$	$1,18 \pm 0,36$
Железо общее	$0,06 \pm 0,015$	$0,26 \pm 0,06$	$0,30 \pm 0,07$
Анионы, мг/дм <sup>3</sup>			
$\text{HCO}_3^-$	$342 \pm 21$	$280 \pm 18$	$299 \pm 19$
$\text{Cl}^-$	$511 \pm 52$	$568 \pm 57$	$521 \pm 53$
$\text{NO}_2^-$	$0,14 \pm 0,021$	$0,39 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,05$
$\text{NO}_3^-$	$107 \pm 11$	$292 \pm 30$	$271 \pm 28$
$\text{PO}_4^-$	$4,2 \pm 0,42$	$15,8 \pm 1,6$	$15,5 \pm 1,6$
$\text{SO}_4^-$	$86,6 \pm 8,7$	$134 \pm 14$	$125 \pm 13$

Примечание: «Бацифолин А» из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа)

Перед проведением эксперимента концентрация главных ионов - гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ), калия ( $\text{K}^+$ ), сульфатов ( $\text{SO}_4^-$ ), а также биогенных веществ – аммония ( $\text{NH}_4^+$ ), общего железа, параметр БПК<sub>5</sub> отмечены в пределах нормы, согласно ОСТ 15.372-87 Вода для рыбоводных хозяйств (1987) (Цицкиева, Бетляева, 2024). Отмечено превышение концентраций нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) и нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ). Стоит отметить, что превышение концентраций  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  в условиях высокого значения общей жесткости воды не критично (Проскуренко, 2003; Матишов, 2008).

По окончании эксперимента, как в контрольном, так и в опытном бассейнах, не было отмечено превышения допустимых концентраций гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ), общего железа, калия ( $\text{K}^+$ ), натрия ( $\text{Na}^+$ ), сульфатов ( $\text{SO}_4^-$ ).

При использовании композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в рационе молоди стерляди в течение 22 дней отмечается снижение концентрации главных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) и биогенных веществ ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ) в сравнении с контролем. Тем не менее, вода в последнем характеризуется более низким градусом жесткости, что связано с меньшей концентрацией гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ), обуславливающий карбонатную жесткость.

В связи с ростом рыбы, в конце эксперимента было отмечено увеличение показателя БПК<sub>5</sub>, однако включение композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в рацион молоди стерляди способствовало его снижению на четверть в сравнении с контрольной группой. Данный параметр оценивает количество легко окисляемых органических веществ по объему кислорода, затраченному на их биохимическое окисление за пять суток. В этой связи его снижение свидетельствует об улучшении качества воды за счет утилизации органических веществ гетеротрофными бактериями. Стоит отметить, что входящие в состав пробиотика Бацифолин А бактерии рода *Bacillus* также являются гетеротрофами, принимающими участие в утилизации органических веществ.

Биогенные соединения – еще одна группа, требующая постоянного мониторинга их концентрации. Сходство генезиса данных веществ ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), а также возможность перехода друг в друга дают основание для объединения в одну группу. Основным источником появления в воде  $\text{NH}_4^+$  являются сложные органические вещества, составляющие основу корма, который содержит компоненты как животного, так и растительного происхождения. Большая часть корма приходится на белковые соединения (до 50-60%), которые при попадании в воду под действием бактерий подвергаются гидролитическому расщеплению до аминокислот и выделению аммиака ( $\text{NH}_3$ ). Кроме того, аммиак является продуктом метаболизма рыб. При растворении в воде аммиак ( $\text{NH}_3$ ) переходит в ионы аммония ( $\text{NH}_4^+$ ), а их динамическое равновесие зависит от pH.

Образовавшийся аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ) аммонифицирующие бактерии *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio* производят частичное окисление и «передают» нитрифицирующим бактериям *Nitribacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* (Проскуренко, 2003; Калайда и др., 2025). После чего происходит процесс нитрификации, который заканчивается образованием нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ). Оба этапа протекают в аэробных условиях с использованием кислорода. Так, для окисления 1 мг аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) бактериям первой стадии необходимо 1,5 мг кислорода, второй – 0,5 мг.

Нитриты ( $\text{NO}_2^-$ ) – неустойчивые соли, которые при достаточном количестве растворенного кислорода (80-100% насыщения) окисляются до нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ). Последние же являются более стабильными соединениями и не представляют серьезной проблемы в аквакультуре, так как рыбы могут выдерживать их высокие концентрации (до 200 мг/л и более).

В связи с превышением концентраций аммония ( $\text{NH}_4^+$ ), нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) и нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ) было проведено исследование по оценке функционирования биофильтра. Биофильтр состоит из пластиковых кассет (рисунок 2), на поверхности которых абсорбированы бактерии (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*, *Nitribacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*), осуществляющие биологическую очистку воды от аммонийного азота.



Рисунок 2 - Пластиковая загрузка биофильтра

Воду, смытую с поверхности пластиковой биозагрузки, инкубировали в среде Виноградского (I и II фаза) в течение 1 и 3 недель соответственно при 30<sup>0</sup>С. После чего в каждую пробирку, инкубация которой длилась 1 неделю, добавляли реактив Грисса. Наличие розового цвета обозначало присутствие нитритов (рисунок 3).



Рисунок 3 - Качественная реакция с реактивом Грисса на выявление нитритов (I фаза) в пробе воды с биофильтра УЗВ.

Пробирки со средой Виноградского (II фаза) после 3 недель инкубации представлены на рисунке 4.

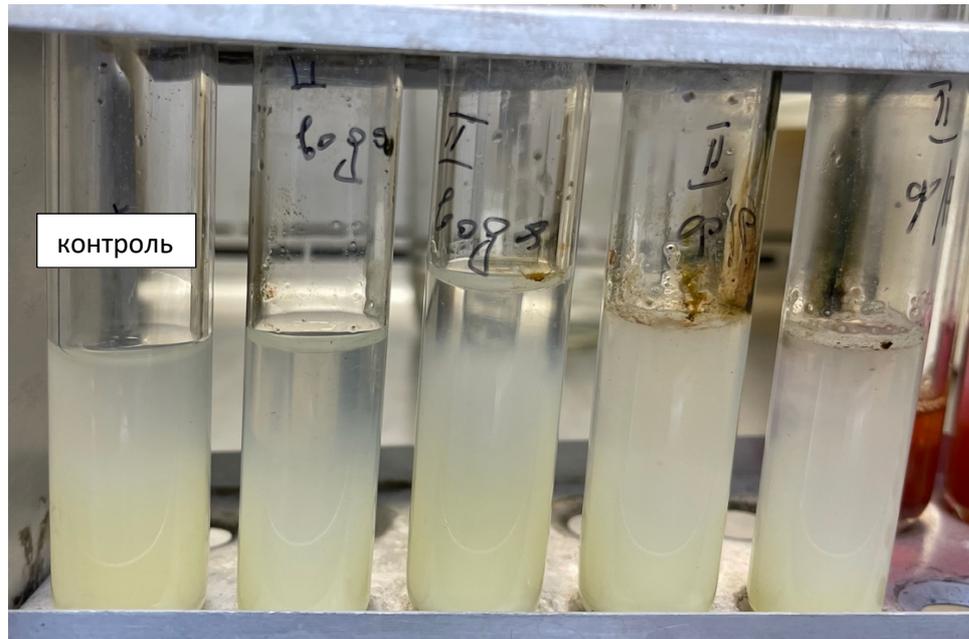


Рисунок 4 - Среда Виноградского (II фаза) после трех недель инкубации пробы воды с биофильтр

Была проведена качественная реакция на нитраты с добавлением дефиниламина и серной кислоты (рисунок 5).

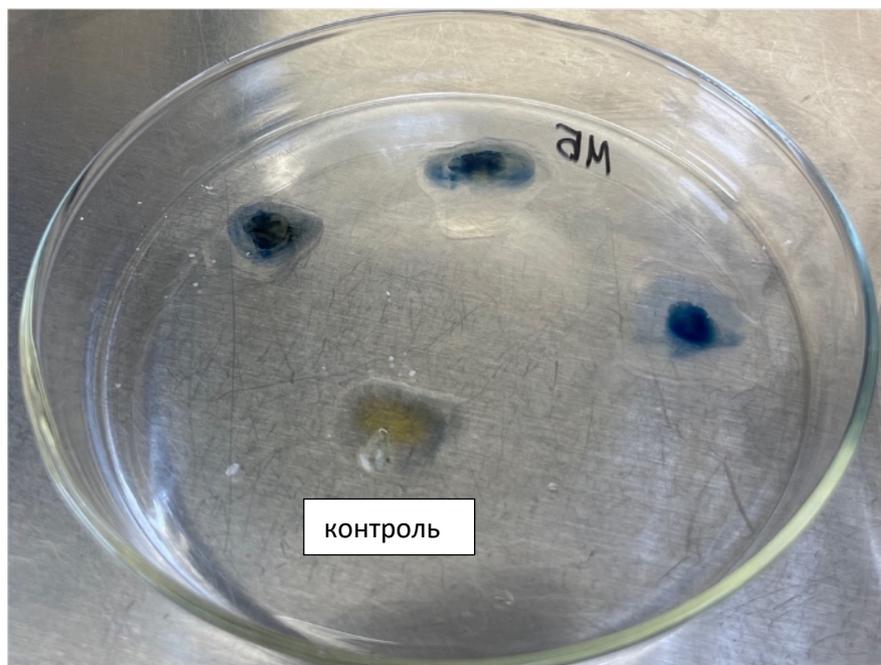


Рисунок 5 - Качественная реакция с дефиниламином на выявление нитратов в пробе воды с биофильтра УЗВ

Спустя три недели инкубации была измерена оптическая плотность (OD) суспензии с нитрифицирующими бактериями – 0,0923 против стерильной среды (контроль) – 0,0894 (рисунок 6) (Цицкиева, Бетляева, 2024).

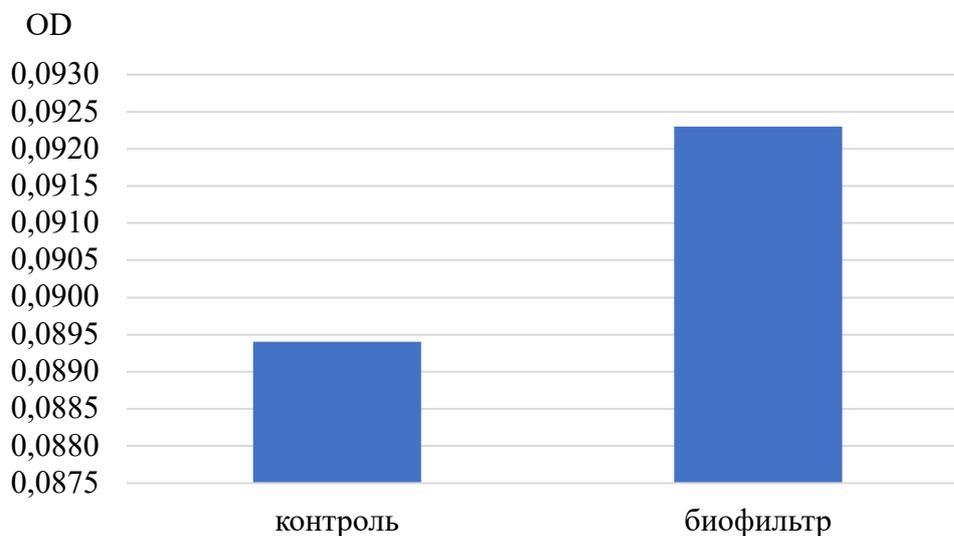


Рисунок 6 - Величина оптической плотности (OD) суспензии с нитрифицирующими бактериями (после трех недель инкубации) против стерильной среды (контроль)

Гидрохимический анализ воды при включении композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) и композиции споровых бактерий (Басулифор А) в рацион молоди стерляди с 69 по 102 сутки позволил установить, что содержание главных ионов - гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ), калия ( $\text{K}^+$ ), натрия ( $\text{Na}^+$ ), сульфатов ( $\text{SO}_4^-$ ), а также концентрация аммония ( $\text{NH}_4^+$ ), общего железа, показатели рН и БПК<sub>5</sub> не выходили за пределы допустимых концентраций. Концентрации нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ), нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ), кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ), хлоридов ( $\text{Cl}^-$ ), фосфатов ( $\text{PO}_4^-$ ) превышали нормативные значения.

Включение в рацион молоди стерляди композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) и композиции споровых бактерий (Басулифор А) способствовало снижению показателя БПК<sub>5</sub> на 0,8 (28,5%) и 0,4 (14,28%) мг/дм<sup>3</sup> в сравнении с контролем, что связано с повышением скорости биохимического окисления органических веществ в более обогащенной кислородом среде гетеротрофными бактериями, к которым также относятся штаммы исследуемых композиций бактерий. Снижение показателей ионов

аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) на 9,37% и 3,12%, а также нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) на 7,14% и 5,95% в опытных группах свидетельствует об активной работе бактерий рода *Nitribacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* при включении в рацион пробиотических микроорганизмов (таблица 5) (Цицкиева, Бетляева, 2025).

Таблица 5 - Гидрохимические показатели воды в конце исследований при выращивании молоди стерляди с 69 по 102 сутки

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
pH, ед	$7,63 \pm 0,10$	$7,64 \pm 0,10$	$7,65 \pm 0,10$
Биохимическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	$2,8 \pm 0,5$	$2,0 \pm 0,5$	$2,4 \pm 0,6$
Жесткость общая, °Ж	$18,6 \pm 1,7$	$18,4 \pm 1,7$	$19,6 \pm 1,8$
ОМЧ, КОЕ/мл	$9,2 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	$8,6 \times 10^3$
Катионы, мг/дм <sup>3</sup>			
$\text{K}^+$	$9,9 \pm 1,4$	$11,3 \pm 1,2$	$11,2 \pm 1,2$
$\text{Na}^+$	$91,3 \pm 9,2$	$99,0 \pm 9,9$	$96,8 \pm 9,7$
$\text{Ca}^{2+}$	$234 \pm 24$	$251 \pm 26$	$247 \pm 25$
$\text{Mg}^{2+}$	$57,5 \pm 5,8$	$61,3 \pm 6,2$	$60,7 \pm 6,1$
$\text{NH}_4^+$	$0,35 \pm 0,11$	$0,32 \pm 0,1$	$0,33 \pm 0,1$
Железо общее	$0,163 \pm 0,040$	$0,149 \pm 0,036$	$0,18 \pm 0,04$
Анионы, мг/дм <sup>3</sup>			
$\text{HCO}_3^-$	$256 \pm 17$	$259 \pm 17$	$259 \pm 17$
$\text{Cl}^-$	$462 \pm 47$	$492 \pm 50$	$480 \pm 48$
$\text{NO}_2^-$	$0,180 \pm 0,026$	$0,168 \pm 0,024$	$0,178 \pm 0,025$
$\text{NO}_3^-$	$184 \pm 19$	$194 \pm 20$	$189 \pm 19$
$\text{PO}_4^-$	$14,6 \pm 1,5$	$15,0 \pm 1,5$	$15,3 \pm 1,6$
$\text{SO}_4^-$	$59,8 \pm 6,0$	$64,2 \pm 6,5$	$61,9 \pm 6,2$

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 1); Басулифор А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 2); приведены гидрохимические показатели в конце эксперимента

Внесение композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в рацион молоди стерляди (опытная группа №1) снижает градус жесткости воды, что обусловлено более низкой концентрацией общего железа, не смотря на высокие концентрации кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

Показатель ОМЧ отражает суммарное количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, характеризующих степень бактериологического заражения, что важно при выращивании рыб в условиях УЗВ, поскольку полученные результаты способствуют предотвращению различных заболеваний рыб в промышленных хозяйствах и снижению смертности (Калайда, Говоркова, 2025).

При выращивании молоди стерляди с 69 по 102 сутки при плотности посадки 197 – 199 экз./м<sup>2</sup> при температурном режиме 15,9 – 16,0 °С значения ОМЧ были на уровне  $7,8 \times 10^3$  –  $8,6 \times 10^3$  КОЕ/мл.

В конце эксперимента на молоди радужной форели с использованием композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) показатель ОМЧ составил  $2,33 \times 10^3$  КОЕ/мл при плотности посадки 54 экз./м<sup>2</sup>, в контрольной группе –  $1,37 \times 10^3$  КОЕ/мл при плотности посадки 53 экз./м<sup>2</sup>. Отсутствие различия по показателю ОМЧ связано с высокой скоростью водообмена при выращивании в бассейнах с проточным водоснабжением – 30 л/сек при площади 120 м<sup>2</sup> (Цицкиева, Бетляева, Маркин, 2024).

### **3.4 Весовые показатели рыб**

Одной из задач наших исследований являлось изучение роста и развития молоди рыб при добавлении в их рацион пробиотиков. Так, в ходе 22-дневного эксперимента отмечали увеличение средней навески с 0,618 г до 3,332 г в контрольной группе и с 0,558 г до 3,511 г в опытной группе (рисунок 7).

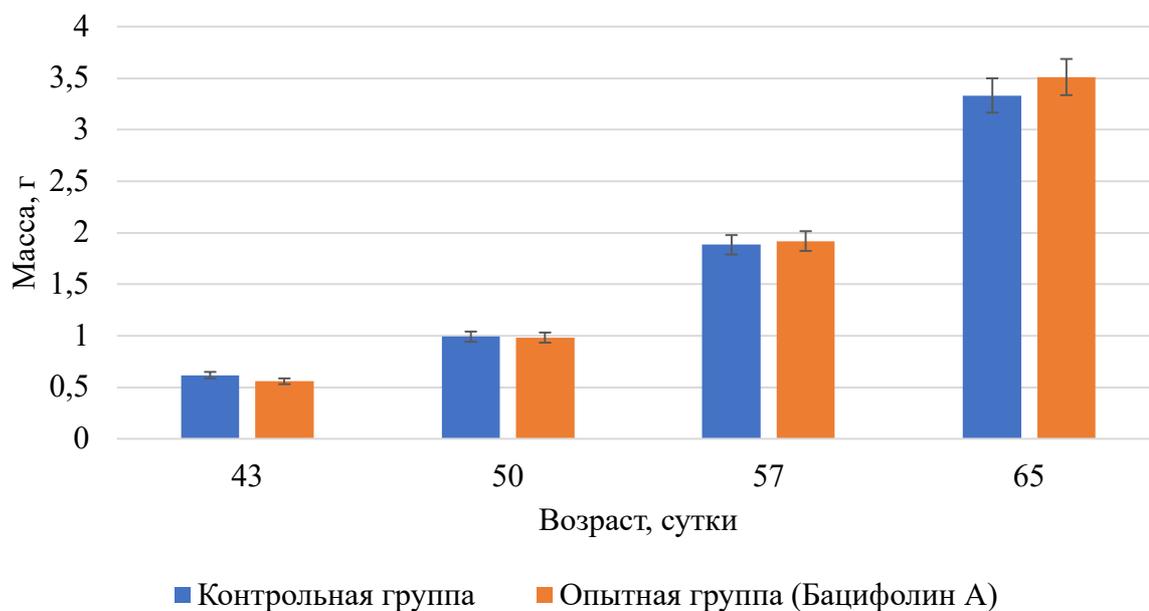


Рисунок 7 - Динамика накопления массы молоди стерляди  
возраста 43-65 суток

Превышение показателя средней навески контрольной группы на 0,9% в течение первой недели исследований обусловлено большим значением массы тела молоди вначале эксперимента. В конце второй недели исследований молодь опытного бассейна на 1,9% превзошла по развитию контрольную группу. В возрасте 65 суток показатель превышения составил 5,4% (Маркин, Шипицын, Цицкиева, Бетляева, 2023).

При проведении исследований на молоди стерляди возраста 69-103 суток средняя навеска в возрасте 69 суток была равна 7,5 г. За 34 дня исследований молодь контрольной группы при выращивании увеличила массу тела до 28,65 г; опытной группы № 1 – до 37,35 г; опытной группы № 2 – до 36,8 г. В первую неделю исследований средняя навеска молоди увеличивалась следующим образом: с 7,5 г до 8,8 г (контроль), 10,6 г и 9,6 г (опытные группы №1 и №2). Во вторую неделю прирост составил 7,78 г (контроль), 7,52 г (№1) и 6,03 г (№2). В третью неделю темпы снизились: в 6,03 раза (контроль), 2,87 раза (№1) и 1,95 раза (№2). В период четвертой недели исследований прирост в опытных группах составлял 6,5 г (№1) и 5,86 г (№2); в пятую неделю – 10,11 г и 12,22 г соответственно. В контрольной группе эти показатели составили 6,69 г и 4,09 г

соответственно Контрольная группа стабильного увеличения абсолютного прироста не показала (Цицкиева, Бетляева, Маркин, 2024) (рисунок 8).

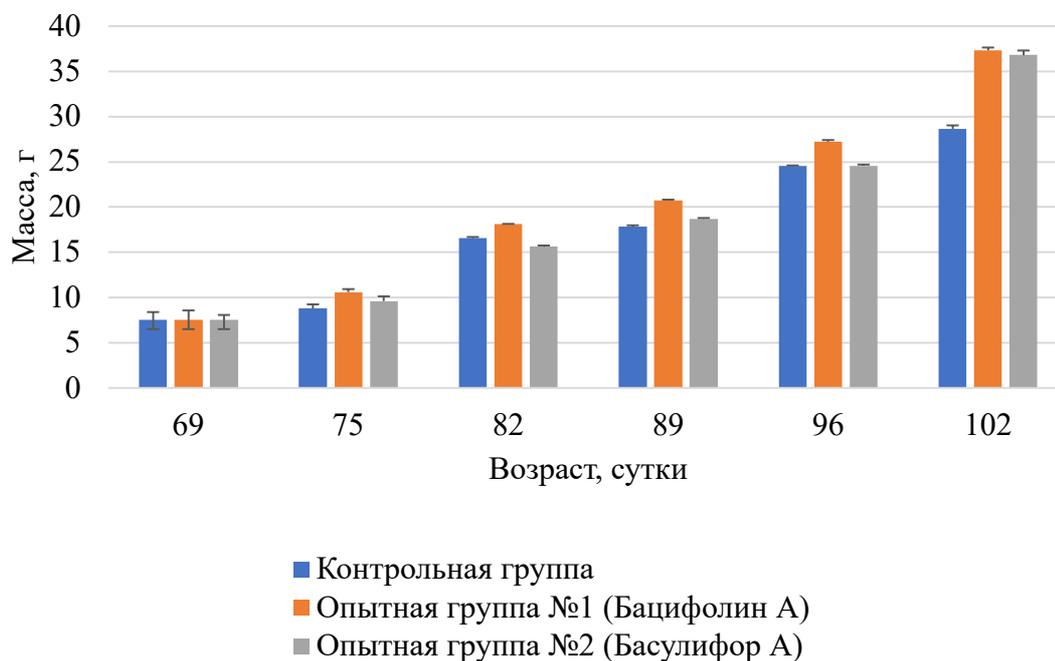


Рисунок 8 - Динамика развития молоди стерляди возраста 69 – 102 суток

При выращивании молоди радужной форели спустя неделю исследований отмечалось превышение массы молоди опытной группы над контрольной на 7,3% (рисунок 9).

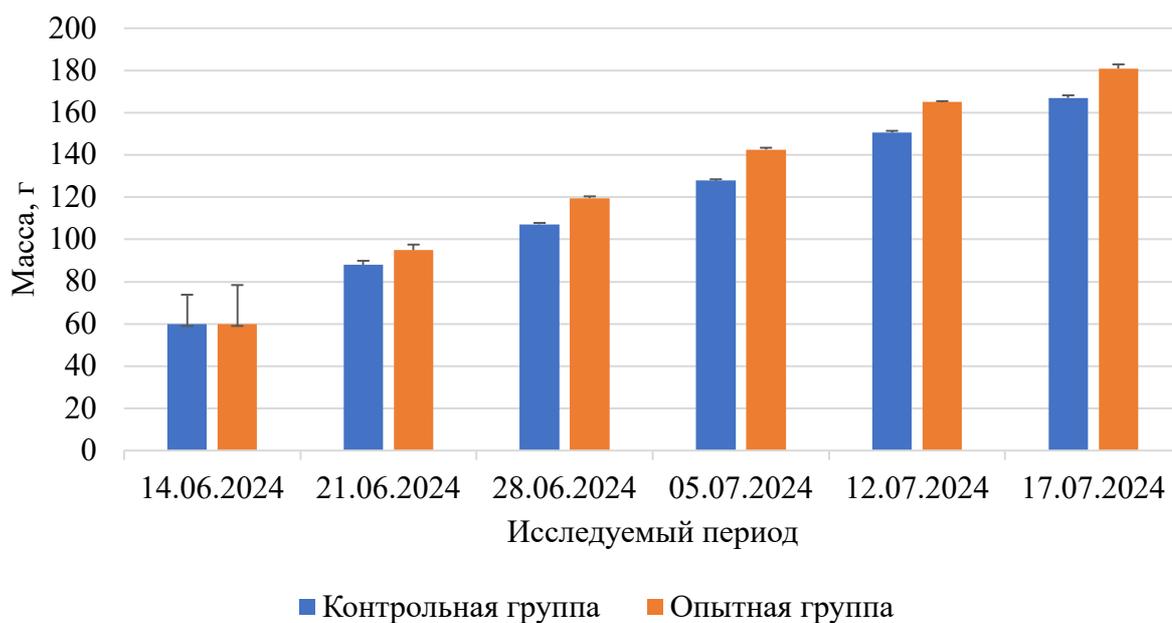


Рисунок 9 - Динамика накопления массы молоди радужной форели

Через две и через три недели исследований опытная группа превышала контрольную по массе на 10,3%. В конце эксперимента превышение составляло 7,73% (Цицкиева, Бетляева, Маркин, 2025).

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии пробиотических композиций в рационе молоди стерляди и радужной форели на показатели роста и развития. В частности, применение композиций способствовало увеличению темпов прироста по сравнению с контролем, наибольший эффект которого отмечался на второй и третьей неделях исследований.

### 3.5 Оценка выживаемости молоди исследуемых групп

Проведенные исследования показали, что применение пробиотических композиций в составе рациона оказывает положительное влияние на жизнестойкость молоди (рисунок 10, 11).

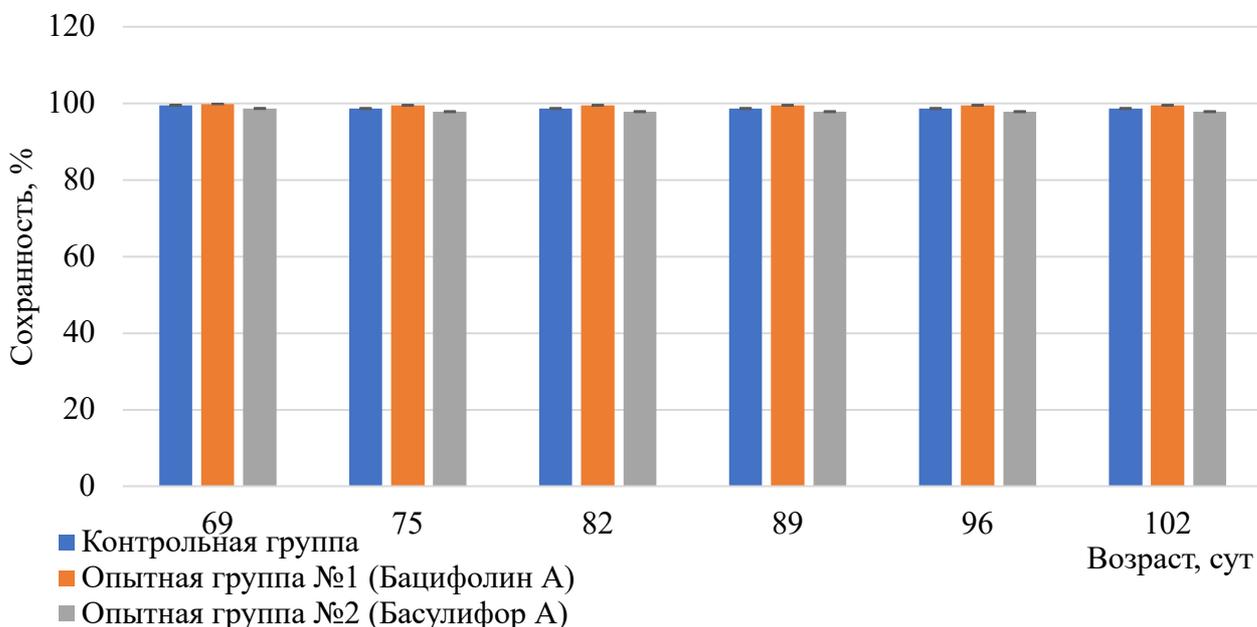


Рисунок 10 - Сохранность молоди стерляди контрольной и опытной групп  
возраста 69-102 суток

В первые две недели исследований (69-82 сутки) наблюдался отход молоди: в контроле — 8 экз. (1,33%), в опытной группе № 1 — 3 экз. (0,5%), в опытной

группе № 2 — 13 экз. (2,16%). Начиная с третьей недели гибель молоди не фиксировалась.

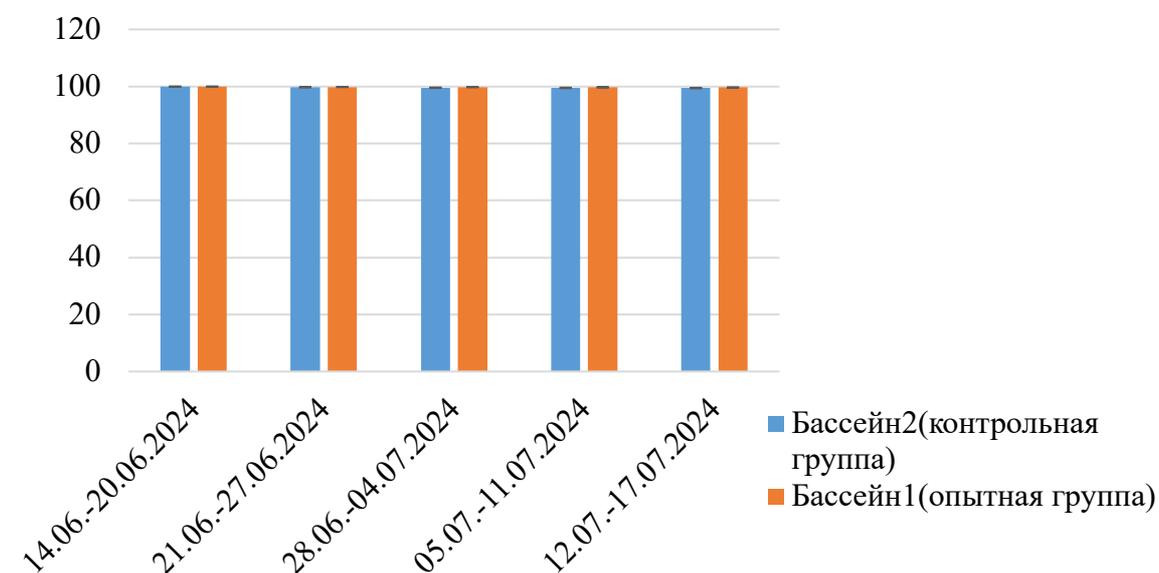


Рисунок 11 - Сохранность молоди форели контрольной и опытной групп

Уровень выживаемости на протяжении всего периода исследования в опытной группе был выше, чем в контрольной на 0,03-0,21%. Причем большее превышение по выживаемости (+ 0,21%) опытной группы по сравнению с контрольной отмечено на третьей неделе исследования ( $P \leq 0,05$ ). Таким образом, использование пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в рационе молоди стерляди и радужной форели повысило уровень выживаемости молоди, проявившееся с третьей недели исследований.

### 3.6 Морфометрические показатели молоди стерляди

Оценка морфометрических параметров позволяет выявить степень сбалансированности развития молоди, что важно как для целей воспроизводства, так и для товарного выращивания.

При включении композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в рацион молоди стерляди возраста с 43 по 65 суток были

отмечены в 57 и 65 суток более высокие средние значения показателей туловищного отдела (общая длина тела L, длина тела от края жаберной крышки до основания средних лучей хвостового плавника L1, антедорсальное расстояние AD, антеанальное расстояние AA, пенктовентральное расстояние PV, вентроанальное расстояние VA, наибольшая высота тела H, длина хвостового стебля CL, наибольшая толщина тела BS, высота спинного плавника DH), головного отдела (наибольшая высота головы HC), число жучек (боковых SL и брюшных SV) и меньшие – рыла (длина рыла R, расстояние от конца рыла до линии, проходящей через середину основания передней пары усиков RCR), плавников (длина грудного PL и брюшного VL плавников).

Более заметные различия отмечены по морфометрическим признакам: общей длины тела L (+ 3,6 мм), длины тела от края жаберной крышки до основания средних лучей хвостового плавника L1 (+ 5,6 мм), антедорсальное расстояние AD (+ 2,9 мм), антеанальное расстояние AA (+ 3,2 мм), пенктовентральное расстояние - PV (+ 2,7 мм), длины головы C (+ 2,8 мм), число боковых жучек SL (+ 3,5 шт.), длины грудного плавника PL (- 1,0 мм), длины брюшного плавника VL (- 1,0 мм) в 65 суток.

Величина уменьшения признаков длины грудного плавника PL (- 1,0 мм) и длины брюшного плавника VL (- 1,0 мм) существенно меньше величины увеличения общей длины тела L (+ 3,6 мм), длины тела от края жаберной крышки до основания средних лучей хвостового плавника L1 (+ 5,6 мм), антедорсального расстояния AD (+ 2,9 мм), антеанального расстояния AA (+ 3,2 мм), пенктовентрального расстояния PV (+ 2,7 мм), число боковых жучек SL (+ 3,5 шт.), длины грудного плавника PL (- 1,0 мм), длины брюшного плавника VL (- 1,0 мм).

В большей степени сходны показатели контроля и опыта в возрасте 43 и 57 суток (таблица 6).

Таблица 6 – Морфометрические показатели молоди стерляди 43 – 65 суточного возраста,  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$

Параметры	Возраст, сутки				
	43	57		65	
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа
Пластические признаки, мм					
L	46,9 ± 1,58	44,5 ± 2,71	45,9 ± 1,96	80,4 ± 4,52	84,0 ± 3,62
L1	39,8 ± 1,26	34,8 ± 2,17	37,9 ± 1,70	63,5 ± 3,23	68,7 ± 2,86
AD	27,2 ± 0,93	26,0 ± 1,59	26,6 ± 1,27	47,4 ± 2,61	50,3 ± 2,19
AA	28,8 ± 1,00	27,6 ± 1,71	28,9 ± 1,45	50,7 ± 2,69	53,9 ± 2,42
PV	14,3 ± 0,81	13,8 ± 1,06	13,9 ± 0,98	22,9 ± 1,08	25,6 ± 1,23
VA	24,6 ± 0,91	23,5 ± 1,54	24,1 ± 1,22	44,4 ± 2,25	45,3 ± 2,01
H	5,5 ± 0,19	5,5 ± 0,38	5,6 ± 0,24	10,0 ± 0,75	10,1 ± 0,68
HM	1,8 ± 0,19	1,4 ± 0,09	1,4 ± 0,08	2,4 ± 0,16	2,3 ± 0,11
CL	6,1 ± 0,19	4,3 ± 0,37	5,5 ± 0,43	8,9 ± 0,49	9,5 ± 0,51
BS	5,1 ± 0,23	4,9 ± 0,37	5,6 ± 0,66	8,9 ± 0,49	9,5 ± 0,51
C	11,7 ± 0,37	12,2 ± 0,89	11,4 ± 0,62	19,5 ± 0,86	22,3 ± 1,30
R	4,8 ± 0,23	4,8 ± 0,42	4,6 ± 0,33	9,6 ± 0,73	8,9 ± 0,39
CO	1,6 ± 0,06	1,7 ± 0,08	1,7 ± 0,07	2,3 ± 0,07	2,2 ± 0,06
OP	5,4 ± 0,17	5,5 ± 0,32	5,8 ± 0,33	9,8 ± 0,51	9,3 ± 0,35
OO	4,1 ± 0,15	3,9 ± 0,23	4,2 ± 0,19	7,4 ± 0,89	6,6 ± 0,19

Продолжение таблицы 6

Параметры	Возраст, сутки				
	43	57		65	
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа
Пластические признаки, мм					
HC	5,4 ± 0,17	5,6 ± 0,34	5,8 ± 0,27	8,7 ± 0,77	8,8 ± 0,30
BC	6,4 ± 0,16	6,6 ± 0,39	6,6 ± 0,28	11,0 ± 0,70	10,4 ± 0,34
RCR	2,9 ± 0,13	2,9 ± 0,31	2,8 ± 0,18	6,2 ± 0,55	5,9 ± 0,30
SO	2,7 ± 0,09	2,3 ± 0,22	2,4 ± 0,17	4,2 ± 0,30	3,9 ± 0,18
RS	6,2 ± 0,29	5,7 ± 0,46	6,6 ± 0,66	11,3 ± 0,82	10,9 ± 0,45
CR	3,9 ± 0,15	3,9 ± 0,18	3,8 ± 0,16	5,3 ± 0,24	5,4 ± 0,18
DL	4,9 ± 0,25	4,8 ± 0,29	4,8 ± 0,24	8,5 ± 0,43	8,5 ± 0,29
DH	2,6 ± 0,23	2,2 ± 0,19	2,5 ± 0,17	4,1 ± 0,29	4,2 ± 0,17
AL	3,6 ± 0,24	2,8 ± 0,21	3,7 ± 0,19	6,3 ± 0,37	4,3 ± 0,17
PL	6,2 ± 0,31	5,7 ± 0,62	5,6 ± 0,46	11,3 ± 0,88	10,3 ± 0,55
VL	3,6 ± 0,16	3,5 ± 0,32	3,4 ± 0,25	6,9 ± 0,52	6,4 ± 0,22
Меристические признаки					
SD	14,9 ± 0,37	13,9 ± 0,46	13,6 ± 0,40	13,9 ± 0,47	14,5 ± 0,37
SL	44,0 ± 1,15	40,6 ± 2,07	43,1 ± 1,92	49,7 ± 0,63	53,2 ± 0,57
SV	12,0 ± 0,24	11,9 ± 0,59	12,8 ± 0,46	14,1 ± 0,39	14,5 ± 1,49

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа)

У молоди перед началом эксперимента все параметры, за исключением четырех из головного отдела (горизонтальный диаметр глаза СО, заглазничное расстояние ОР, наибольшая высота головы НС, наибольшая ширина головы ВС), превышают показатели контрольных и опытных партий в возрасте 57 суток, или были равны им.

Была проведена оценка степени согласованности развития ключевых признаков (L, AA, H, НС, НМ, С, CL, DH) у молоди исследуемых групп на основе использования двухсвязного парно-группового метода в метрике «1 – Пирсон r». Перед началом эксперимента в возрасте 43 суток у стерляди (рисунок 12) наиболее тесно ( $r > +0,8$ ) скоррелированы параметры в основном туловищного и головного отделов L, AA, H, НС, С, но два признака (CL, DH) имеют слабую связь с остальными, в то время как параметр наименьшей высоты тела (НМ) – характеризуется обратной связью по отношению к остальным признакам.

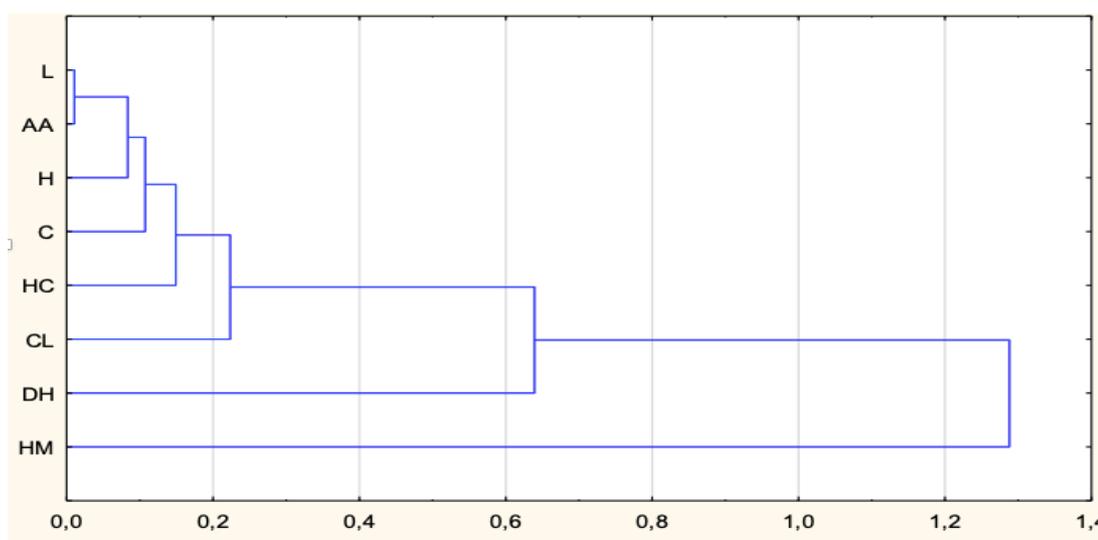
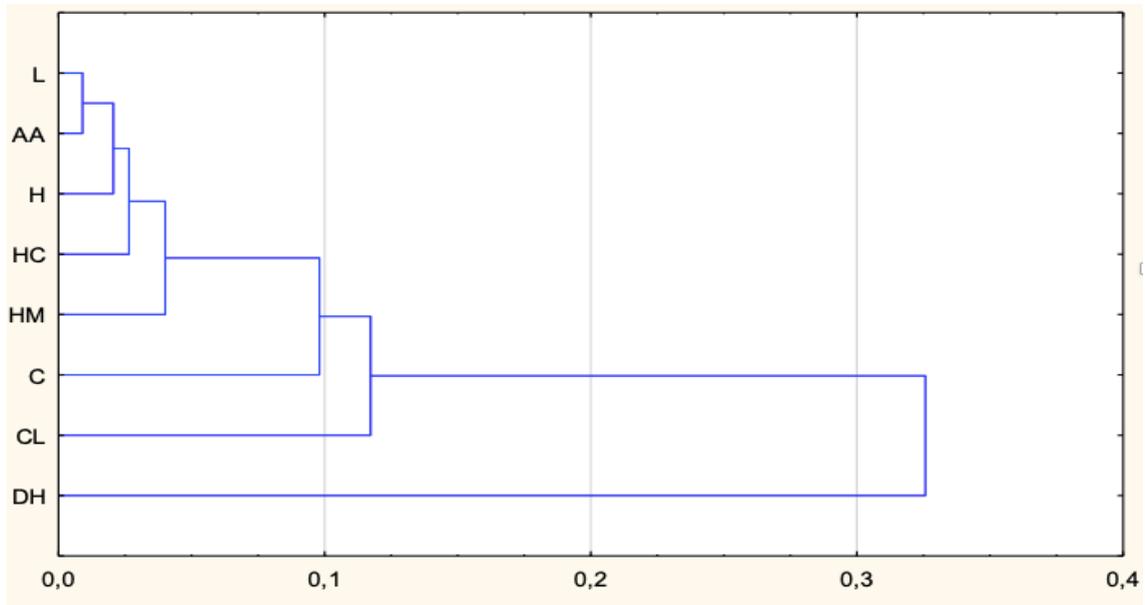


Рисунок 12 - Дендрограмма связи (1-r) морфологических признаков у молоди стерляди в возрасте 43 суток

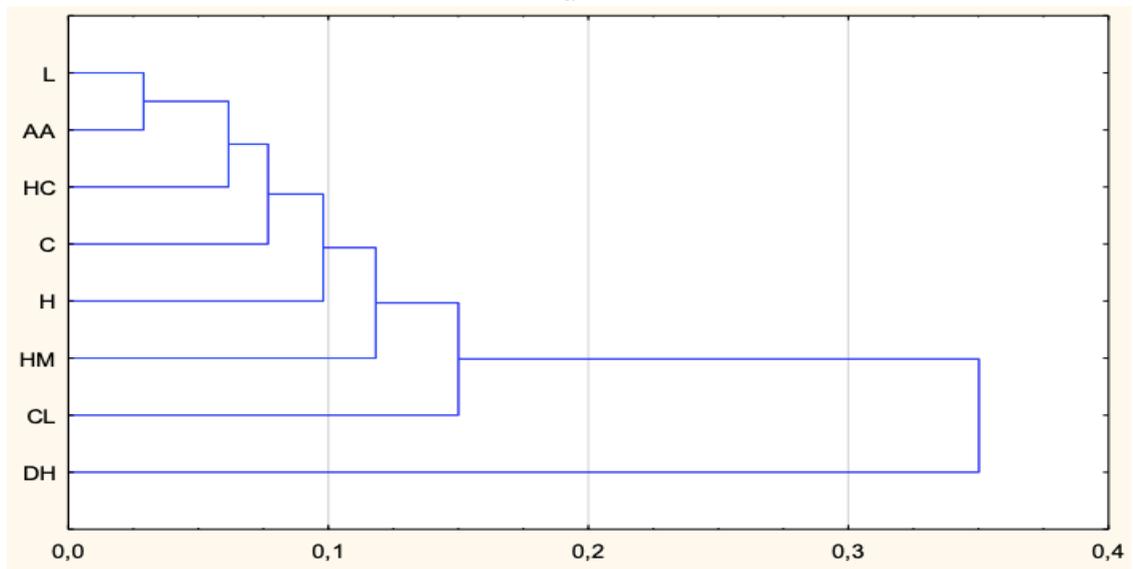
По мере роста, в возрасте 57 суток, в контроле (рисунок 13-а) показатель наименьшей высоты тела (НМ) объединился в кластер с ранее тесно коррелирующими признаками ( $r > +0,95$ ) L, AA, H, НС, НМ, в то время как длина головы (С) и хвостового стебля (CL) образовали отдельный кластер, характеризующийся средней связью по отношению к предыдущему кластеру, тогда как в опыте (рисунок 13-б) все перечисленные признаки были достаточно

тесно скоррелированы ( $r > +0,85$ ), а параметр высоты спинного плавника (DH) в обеих группах отмечался на уровне ( $r > +0,65$ ).

Таким образом, спустя две недели после начала опыта сильная корреляция отмечена между 5 признаками в контроле и 7 - в опыте.



а

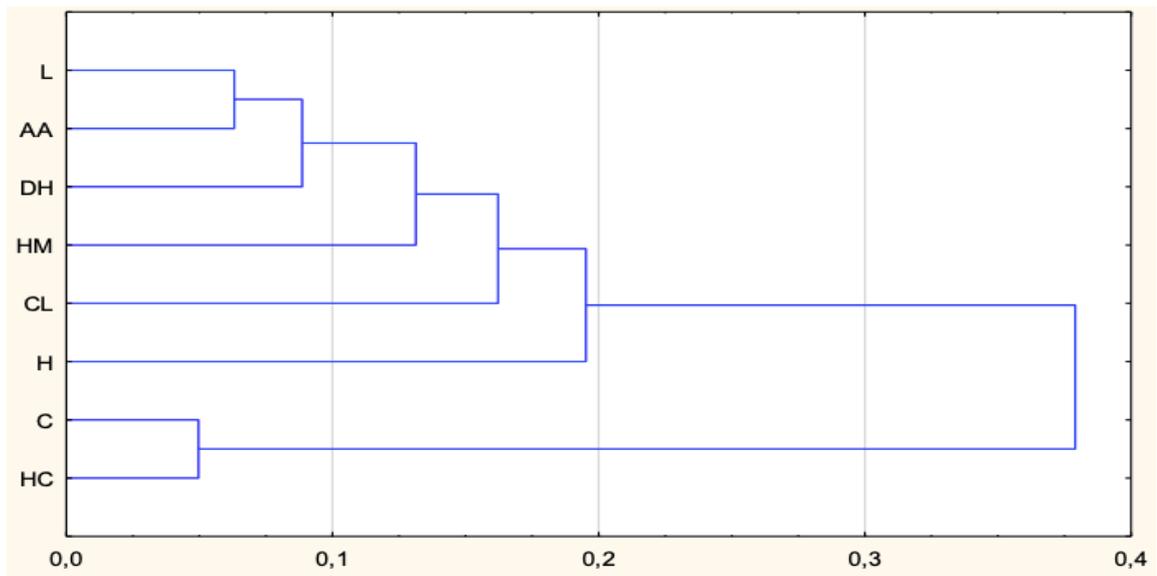


б

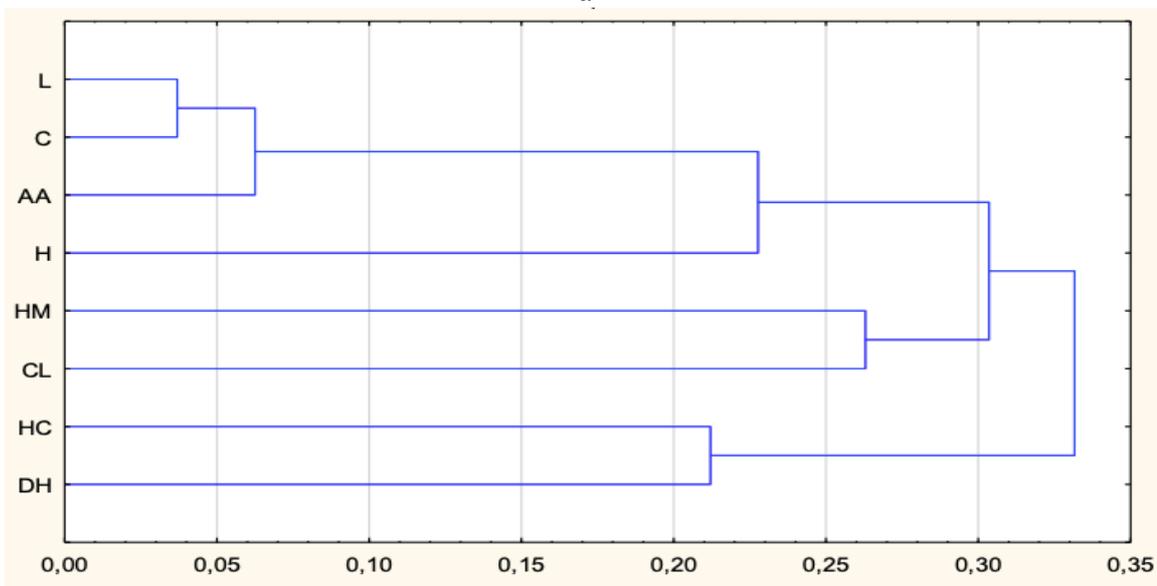
Рисунок 13 - Дендрограммы связи  $(1-r)$  морфологических признаков у молоди стерляди в возрасте 57 суток контрольной (а) и опытной (б) групп

На 65 сутки в контроле выделились три кластера (рисунок 14-а), два из которых L, AA, DH и C, HC имеют тесную связь ( $r > + 0,9$ ), тогда третий HM, CL, H отмечался на уровне ( $r > + 0,625$ ). В опытной группе (рисунок 14-б) тесная зависимость ( $r > + 0,97$ ) выявлена между длиной головы (C) и длиной тела (L). С

этими линейными признаками тесно связана ( $r > + 0,93$ ) величина антеанального расстояния (АА).



а



б

Рисунок 14 - Дендрограммы связи  $(1-r)$  морфологических признаков у молоди стерляди в возрасте 65 суток контрольной (а) и опытной (б) групп

Изменчивость исследованных морфометрических признаков молоди варьировала от слабого (до 10 %) до сильного уровня (больше 25 %) (Лакин, 1990). Признаки со средней вариабельностью отмечались в пределах от 11 % до 25 %. В целом, изменчивость большинства изученных морфометрических признаков отмечалась средней вариабельностью (больше 20 %) и зависела от изучаемого показателя (таблица 7).

Таблица 7 – Коэффициент вариации морфометрических показателей молоди стерляди 43 – 65 суточного возраста,  $C_v \pm S_{cv}$ , %

Параметры	Возраст, суток				
	43	57		65	
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа
Пластические признаки					
L	14,08 ± 2,46	23,61±4,67	16,54±3,21	21,78±4,28	16,69±3,24
L1	13,40 ± 2,33	24,17 ± 4,82	17,39 ± 3,38	19,72 ± 3,87	16,13 ± 3,12
AD	14,61 ± 2,56	23,63 ± 4,7	18,56 ± 3,62	21,38 ± 4,21	16,90 ± 3,28
AA	14,77±2,58	23,99±4,78	19,46±3,81	20,54±4,04	17,41±3,38
PV	24,05 ± 4,35	29,65 ± 6,07	27,18 ± 5,50	18,25 ± 3,56	18,60 ± 3,64
VA	15,69 ± 2,76	25,41 ± 5,10	19,59 ± 3,84	20,08 ± 3,95	17,16 ± 3,34
H	14,65±2,56	26,31±5,30	16,95±3,46	29,07±5,93*	26,12±5,25
HM	44,36±8,97	25,85±5,19	21,98±4,34	26,21±5,28	18,14±3,54
CL	13,49±2,35	32,59±6,78	30,34±6,23	21,37±4,21	20,69±4,07
BS	19,36 ± 3,44	29,10 ± 5,94	45,98±10,36	25,46 ± 5,11	16,42 ± 3,18
C	13,50±2,35	27,93±5,67	21,18±3,08	36,83±7,84	22,67±4,49
R	20,43 ± 3,64	33,61 ± 7,02	27,51 ± 5,57	29,64 ± 6,07	17,21 ± 3,34
CO	15,27 ± 2,68	19,01 ± 3,72	15,45 ± 2,99	11,57 ± 2,22	10,48 ± 2,0
OP	13,59 ± 2,37	22,49 ± 4,46	22,11 ± 4,38	20,42 ± 4,02	14,52 ± 2,8
OO	15,57 ± 2,74	22,71 ± 4,51	17,29 ± 2,45	46,21 ± 10,44	11,15 ± 2,13**
HC	15,67±2,75	23,51±4,68	18,42±3,59	34,04*±7,13	13,34±2,56*

Продолжение таблицы 7

Параметры	Возраст, суток				
	43	57		65	
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа
Пластические признаки					
BC	11,05 ± 1,92	22,77 ± 4,52	16,86 ± 3,28	24,63 ± 4,93	12,73 ± 2,44
RCR	19,43 ± 3,46	41,19 ± 9,01	24,96 ± 5,01	34,33 ± 7,21	19,69 ± 3,86
SO	14,91 ± 2,62	36,12 ± 7,67	27,92 ± 5,67	27,59 ± 5,59	18,34 ± 3,58
RS	20,01 ± 3,57	30,96 ± 6,39	39,09 ± 8,45	27,89 ± 5,67	15,90 ± 3,08
CR	16,17 ± 2,06	18,06 ± 2,57	16,79 ± 3,26	17,61 ± 3,43	13,19 ± 2,54
DL	21,48 ± 3,85	23,12 ± 4,60	19,71 ± 3,87	19,73 ± 3,87	13,19 ± 2,54
DH	38,85 ± 7,61	34,12 ± 7,16	26,17 ± 5,26	27,28 ± 5,52	15,28 ± 2,95
AL	28,35 ± 5,24	29,93 ± 6,15	20,73 ± 4,09	22,64 ± 4,49	15,34 ± 2,97
PL	20,93 ± 3,74	42,27 ± 9,30	31,67 ± 6,55	30,24 ± 6,21	20,76 ± 4,08
VL	18,70 ± 3,31	35,85 ± 7,59	29,14 ± 5,95	29,32 ± 5,99	13,67 ± 2,63*
Меристические признаки					
SD	10,53 ± 1,82	12,86 ± 2,46	11,39 ± 2,59	13,14 ± 2,52	10,07 ± 1,92
SL	11,13 ± 1,93	19,74 ± 3,87	17,27 ± 3,35	12,68 ± 2,43	11,42 ± 2,18
SV	8,57 ± 1,48	19,13 ± 3,74	13,91 ± 1,93	10,90 ± 2,08	12,97 ± 2,48

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа); \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01

Так, перед экспериментом, средний уровень изменчивости (больше 25%) выявлен по 24 параметрам, из которых 9 параметры тела L (23,61%), L1 (24,17%), AD (23,63%), AA (23,99%), PV (29,65%), VA (25,41%), H (26,31%), CL (32,59%), BS (29,1%), 11 головы – C (27,93%), R (33,61%), CO (15,27%), OP (22,49%), OO (22,71%), HC (23,51%), BC (22,77%), RCR (41,19%), SO (14,91%), RS (20,01%), CR (16,17%), 3 плавников – DL (21,48%), PL (20,93%), VL (18,70%), 1 жучек – SL (11,13%). Слабой изменчивостью отмечались 2 параметра жучек (SD, SV), сильной параметры (HM) и плавников (DH, AL). К 57-дневному возрасту морфометрические признаки контрольной группы практически в равной степени характеризовались средней (L, L1, AD, CO, OP, OO, HC, BC, CR, DL, SD, SL, SV) и высокой (PV, VA, H, HM, CL, BS, C, R, RCR, SO, RS, DH, AL, PL, VL) изменчивостью; тенденция сохранялась в 65-дневном возрасте.

Включение композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бациллин А) в рацион молоди стерляди способствует снижению варибельности морфометрических признаков. К 65-дневному возрасту 27 параметров в опытной группе отмечались средней изменчивостью (L, L1, AD, AA, PV, VA, HM, CL, BS, C, R, OP, PP, HC, BC, RCR, SO, RS, CR, DL, DH, AL, PL, VL, SD, SL, SV), тогда как в контроле – 16 (L, L1, AD, AA, PV, VA, CL, OP, BC, CR, DL, AL, SD, SL, SV). Остальные 13 признаков в контрольной группе отмечались сильной варибельностью.

При анализе варьирования морфометрических признаков достоверные различия установлены между контрольной и опытной группами по морфометрическим признакам OO ( $P \leq 0,01$ ), VL ( $P \leq 0,05$ ), HC ( $P \leq 0,05$ ) в возрасте 65 суток, а также при сравнении показателя наибольшей высоты тела (H) в возрасте 43 и 65 суток молоди контрольной группы ( $P \leq 0,05$ ).

Разность между коэффициентами вариации оцениваются путем сопоставления доверительных интервалов на основе сравниваемых групп (Лакин, 1990). Отмечены значительные отличия границ доверительных интервалов контрольной и опытной групп по показателям OO, R, BC, HC, RCR, VL, DH, что свидетельствует о существенных различиях коэффициентов вариации (таблица 8).

Таблица 8 – Доверительные интервалы коэффициентов вариации морфометрических показателей молоди стерляди 43 – 65 суточного возраста, % ( $P_H - P_B$  для  $P \leq 0,05$ )

Параметры	Возраст, суток				
	43	57		65	
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа
Пластические признаки					
L	10,22- 28,60	16,98-38,70	11,99-26,63	15,64-35,39	12,09-26,19
L1	9,73- 21,47	17,37-39,68	12,59-28,09	14,24-32,01	11,69-25,97
AD	10,60- 23,49	17,00-38,73	13,42-30,08	15,43-34,82	12,25-27,26
AA	10,73- 23,71	17,24- 39,39	14,06-31,59	14,90-33,02	12,60-28,13
PV	17,29- 39,49	21,16- 49,49	19,47- 45,00	13,21-29,53	13,45-30,14
VA	11,38- 25,26	18,24- 41,86	14,15- 31,80	14,51-32,59	12,42-27,72
H	10,63- 23,55	18,86- 43,48	12,28- 27,33	20,76-48,45	18,73-43,10
HM	30,86- 78,79	18,54- 42,65	15,84- 35,86	18,79-43,32	13,16-29,35
CL	9,79- 21,53	23,12- 54,95	21,64- 50,73	15,41-34,80	14,93-33,62
BS	13,96- 31,43	20,78- 48,50	31,90- 82,85	18,27-41,94	11,91-26,44
C	9,80- 21,67	19,97- 46,39	15,28- 34,49	25,99-63,17	16,33-37,04
R	14,75- 33,22	33,22- 56,86	19,69- 45,62	21,09-49,48	12,47-27,76
CO	11,08- 24,55	13,74- 30,81	11,21- 24,83	8,41-18,51	7,62-16,74
OP	9,86- 21,81	21,81- 36,74	15,94- 36,06	14,74-33,20	10,54-23,31
OO	11,29- 25,07	16,36- 37,10	12,52- 27,93	27,93-82,81	8,11-17,81

Продолжение таблицы 8

Параметры	Возраст, суток				
	43	57		65	
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа	Контрольная группа	Опытная группа
Пластические признаки					
HC	11,36- 25,23	16,91- 38,54	13,32- 29,80	24,14-57,69	9,69-21,37
BC	8,04- 17,65	16,35- 37,27	12,22- 27,19	17,71-40,44	9,25-20,40
RCR	14,05- 61,29	28,84- 72,01	17,93- 41,05	24,33-58,29	14,22-31,96
SO	10,82- 23,97	25,52- 61,74	19,97- 46,37	19,74-45,52	13,27-29,96
RS	14,45- 32,48	22,05- 51,94	27,47- 67,74	19,94-46,32	11,53-25,60
CR	11,72- 26,03	13,07-29,22	12,16- 27,08	12,75-28,45	9,58-21,13
DL	15,49- 34,98	16,64- 37,83	14,24- 31,99	14,25-32,03	9,58-21,13
DH	27,32- 67,21	24,19- 57,83	18,77- 43,18	19,54-45,16	11,08-24,56
AL	20,27-47,09	21,36- 49,96	14,96- 33,70	16,31-36,99	11,13-24,66
PL	15,10- 34,08	29,53- 74,28	22,54- 53,22	21,57-50,56	14,98-33,75
VL	13,53- 30,25	25,35- 61,17	20,81- 48,56	20,94-48,86	9,93-21,90
Меристические признаки					
SD	7,66- 16,86	9,30- 20,61	8,28- 18,22	9,54-21,06	7,32-16,08
SL	8,09- 17,81	14,26- 32,04	12,51- 27,85	9,21-20,32	8,31-18,27
SV	6,24- 13,66	13,83- 31,00	10,10- 22,32	7,93-17,41	9,42-20,78

Примечание: Бацифоллин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная групп)

При выращивании молоди стерляди возраста с 69 по 97 суток с использованием в рационе композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) и композиции споровых бактерий (Басулифор А) отмечено превышение средних значений в возрасте 82 суток по всем параметрам, за исключением наибольшей высоты (НС) и ширины (ВС) головы (Цицкиева, Бетляева, Маркин, 2025).

Наиболее значительные различия отмечались по морфометрическим признакам тела: длина L (+ 4,6 мм), L1 (+ 4,5 мм), антедорсальное расстояние AD (+ 3,0 мм), антеанальное расстояние AA (+ 2,0 мм), пенктовентральное расстояние PV (+ 2,1 мм), вентроанальное расстояние VA (+ 2,9 мм), длина хвостового стебля CL (+ 1,1 мм), параметры головы RS (+ 1,2 мм), плавников PL (+ 1,6 мм), жучек SL (+ 3,6 мм) для опытной группы №1; тела: длина L (+ 7,9 мм), L1 (+ 6,2 мм), антедорсальное расстояние AD (+ 3,9 мм), антеанальное расстояние AA (+ 5,49 мм), вентроанальное расстояние VA (+ 3,4 мм), параметры головы С (+ 1,3 мм), R (+ 1,3 мм), плавников PL (+ 1,9 мм), жучек SL (+ 6,1 мм) для опытной группы №2 в сравнении с контролем. Параметр горизонтального диаметра глаза (СО) различий между группами не показал.

В возрасте 97 суток большие средние значения отмечались по параметрам тела: длина L (+ 19,6 мм), L1 (+ 13,7 мм), антедорсальное расстояние AD (+ 9,2 мм), антеанальное расстояние AA (+ 9,8 мм), пенктовентральное расстояние PV (+ 6,1 мм), вентроанальное расстояние VA (+ 5,8 мм), наибольшая высота тела Н (+ 1,5 мм), длина хвостового стебля CL (+ 1,9 мм), наибольшая толщина тела BS (+ 1,3 мм), параметры головы С (+ 2,3 мм), R (+ 1,9 мм), ОР (+ 1,1 мм), ВС (+ 3,6 мм), RS (+ 1,3 мм), плавников DL (+ 1,6 мм), PL (+ 1,1 мм), VL (+ 2,1 мм), жучек SD (+ 2,1 мм), SL (+ 2,3 мм) у опытной группы № 1; тела L (+ 11,3 мм), L1 (+ 8,1 мм), AD (+ 6,5 мм), AA (+ 6,8 мм), PV (+ 5,9 мм), VA (+ 4,0 мм), Н (+ 4,0 мм), НМ (+ 1,2 мм), CL (+ 1,8 мм), BS (+ 1,6 мм), параметры головы R (+ 1,4 мм), ОО (+ 1,6 мм), ВС (+ 3,6 мм), RCR (+ 3,0 мм), RS (+ 1,8 мм), плавников ДН (+ 1,7 мм), PL (+ 1,9 мм), жучек SD (+ 1,1 мм), меньшие – число боковых жучек SL (- 2,8 мм) у опытной группы № 2 в сравнении с контролем (таблица 9).

Таблица 9 – Морфометрические показатели молоди стерляди 69 – 97 суточного возраста,  $\bar{x} \pm S_x$

Параметры	Возраст, сутки						
	69	82			97		
	До эксперимента	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Пластические признаки, мм							
L	110,6 ± 8,30	108,5 ± 10,05	113,1 ± 10,25	116,4 ± 9,60	139,7 ± 6,76	159,3 ± 6,44	151,9 ± 5,56
L1	81,5 ± 6,59	89,2 ± 8,46	93,7 ± 7,72	95,4 ± 7,31	115,6 ± 5,08	129,3 ± 4,90	123,7 ± 4,12
AD	59,9 ± 4,95	66,4 ± 6,24	69,4 ± 5,77	70,3 ± 5,55	85,8 ± 3,64	95,0 ± 3,71	92,3 ± 3,0
AA	65,5 ± 5,27	71,5 ± 6,79	74,9 ± 6,25	76,9 ± 6,06	94,3 ± 4,19	104,1 ± 4,10	101,1 ± 3,55
PV	31,1 ± 2,78	34,2 ± 3,53	36,3 ± 3,5	34,7 ± 2,80	45,2 ± 2,32	48,6 ± 2,07	48,4 ± 1,51
VA	54,6 ± 4,34	59,1 ± 5,40	62,0 ± 5,4	62,5 ± 4,66	78,3 ± 3,58	84,1 ± 3,22	82,3 ± 2,62
H	11,4 ± 0,94	12,5 ± 1,30	12,8 ± 1,3	12,6 ± 0,99	15,4 ± 0,59	16,9 ± 0,44	16,6 ± 0,51
HM	2,5 ± 0,25	2,6 ± 0,28	2,9 ± 0,3	2,8 ± 0,26	3,8 ± 0,21	4,0 ± 0,17	3,8 ± 0,16
CL	10,6 ± 0,87	11,6 ± 1,10	12,7 ± 1,1	12,1 ± 1,12	15,0 ± 0,70	16,9 ± 0,45	16,8 ± 0,54
BS	8,3 ± 0,93	9,6 ± 1,16	10,1 ± 1,2	10,4 ± 1,03	13,8 ± 0,80	15,1 ± 0,64	15,4 ± 0,72
C	26,3 ± 1,92	28,9 ± 2,41	29,4 ± 2,4	30,2 ± 2,13	37,1 ± 1,35	39,4 ± 1,31	38,9 ± 1,15
R	12,0 ± 0,95	12,7 ± 1,41	13,6 ± 1,4	14,0 ± 1,05	17,3 ± 0,69	19,2 ± 0,74	18,7 ± 0,83
CO	2,6 ± 0,17	2,5 ± 0,14	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,08	3,1 ± 0,31	3,1 ± 0,12	2,9 ± 0,08
OP	11,6 ± 0,91	12,9 ± 1,07	13,1 ± 1,1	13,1 ± 1,0	15,9 ± 0,69	17,0 ± 0,59	16,8 ± 0,96
OO	7,4 ± 0,53	7,7 ± 0,60	7,8 ± 0,6	8,0 ± 0,53	10,0 ± 0,49	10,3 ± 0,27	11,6 ± 0,43

Продолжение таблицы 9

Параметры	Возраст, сутки						
	69	82			97		
	До эксперимента	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Пластические признаки, мм							
HC	10,3 ± 0,83	11,1 ± 0,83	11,0 ± 0,8	11,0 ± 0,87	15,2 ± 1,11	14,7 ± 0,46	14,7 ± 0,73
BC	12,7 ± 1,27	15,0 ± 1,36	14,7 ± 1,3	14,8 ± 1,24	17,1 ± 1,11	20,7 ± 0,69	20,1 ± 0,81
RCR	8,4 ± 0,78	9,7 ± 1,01	9,4 ± 1,0	10,1 ± 0,84	13,7 ± 0,58	14,2 ± 0,71	14,4 ± 0,83
SO	4,3 ± 0,46	4,5 ± 0,33	4,4 ± 0,3	4,9 ± 0,46	5,7 ± 0,23	5,9 ± 0,29	5,7 ± 0,29
RS	13,9 ± 1,09	15,1 ± 1,49	15,4 ± 1,5	16,3 ± 1,15	19,7 ± 1,05	21,0 ± 1,09	21,5 ± 0,84
CR	6,6 ± 0,41	6,8 ± 0,39	7,0 ± 0,4	6,9 ± 0,37	8,2 ± 0,32	8,9 ± 0,32	8,3 ± 0,16
DL	10,5 ± 0,92	11,4 ± 1,08	11,3 ± 1,1	12,3 ± 1,05	14,5 ± 0,69	16,1 ± 0,62	16,2 ± 0,97
DH	4,9 ± 0,54	5,4 ± 0,44	5,6 ± 0,4	5,8 ± 0,49	7,6 ± 0,47	7,9 ± 0,29	8,1 ± 0,27
AL	5,8 ± 0,56	6,1 ± 0,55	5,9 ± 0,5	6,3 ± 0,43	7,02 ± 0,35	7,3 ± 0,34	7,8 ± 0,45
PL	14,7 ± 1,38	14,8 ± 1,48	14,5 ± 1,5	16,4 ± 1,28	20,2 ± 1,65	21,3 ± 0,81	22,1 ± 1,01
VL	7,5 ± 0,81	8,1 ± 0,73	7,7 ± 0,7	8,3 ± 0,78	10,4 ± 0,49	11,6 ± 0,58	11,2 ± 0,5
Меристические признаки							
SD	14,5 ± 0,33	13,5 ± 0,47	14,2 ± 0,5	13,1 ± 0,37	12,5 ± 0,68	14,6 ± 0,40	13,6 ± 0,52
SL	58,2 ± 1,19	51,8 ± 2,49	55,4 ± 2,5	57,9 ± 1,19	58,2 ± 1,03	60,5 ± 0,97	55,4 ± 0,77
SV	14,6 ± 0,37	14,7 ± 0,70	14,9 ± 0,7	14,4 ± 0,33	15,7 ± 0,24	14,9 ± 0,38	15,2 ± 0,39

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 1); Басулифор А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 2)

Оценка степени согласованности ключевых признаков выявила, что перед началом эксперимента в возрасте 69 суток (рисунок 15) три признака L, AA, C образуют кластер с высокой связью ( $r > + 0,98$ ), тогда как связь CL, DH, H с кластером постепенно снижается (от 0,97 до 0,9), а параметры HC, HM характеризуются средней связью ( $r > + 0,95$ ).

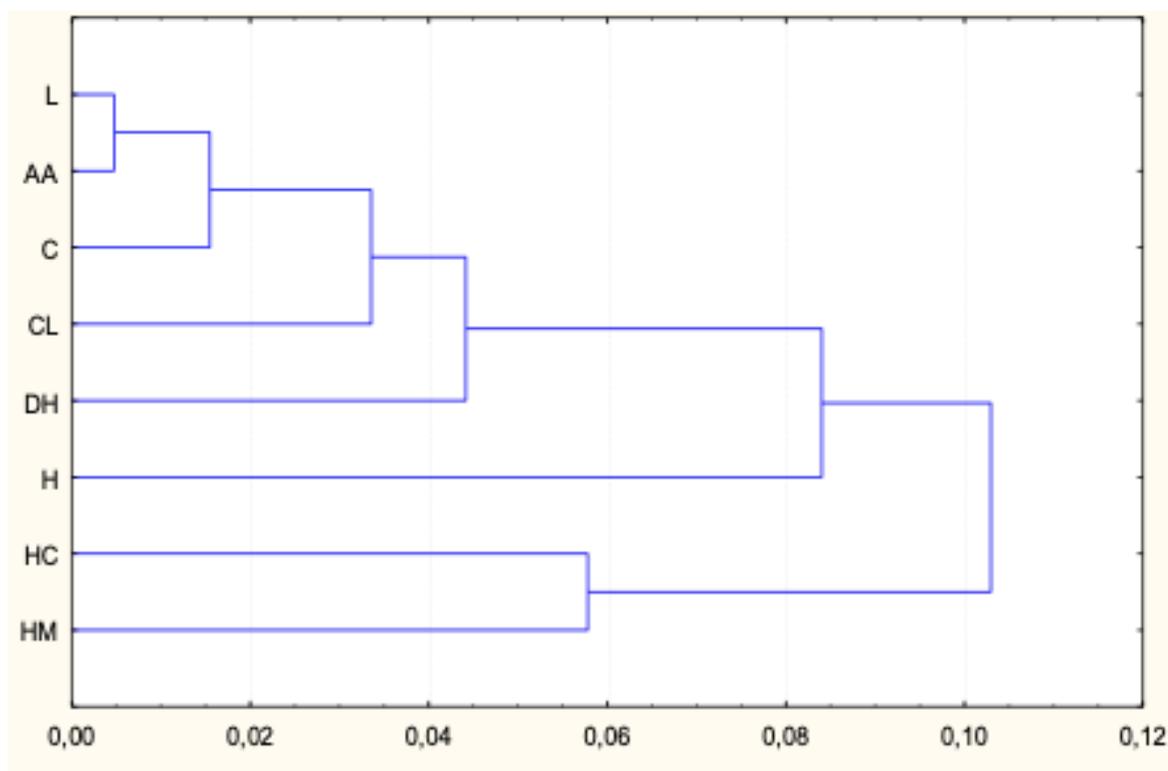
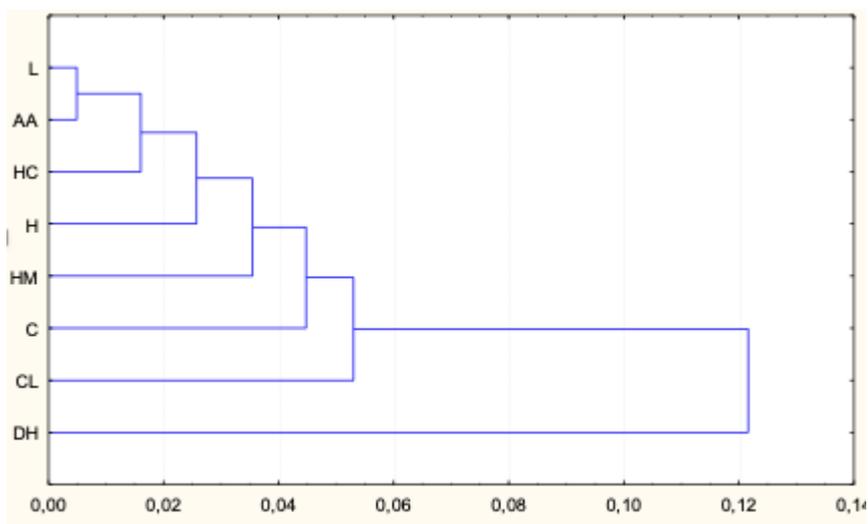
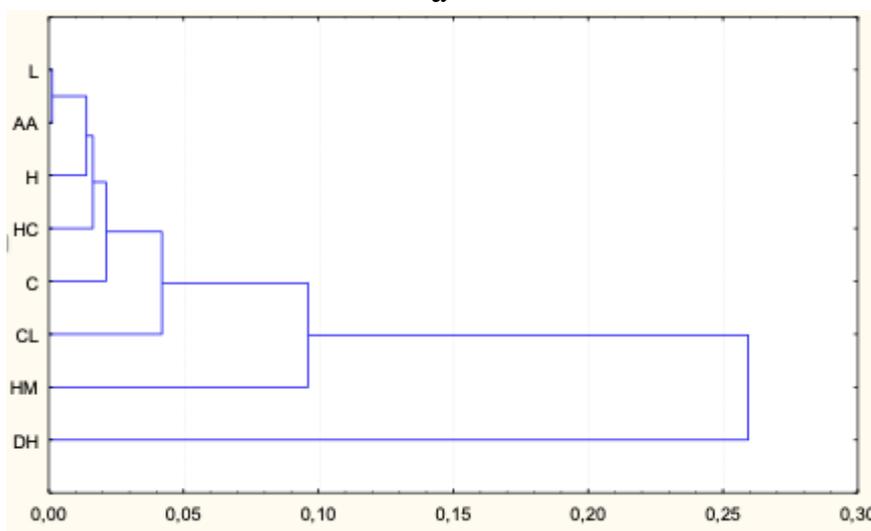


Рисунок 15 - Дендрограмма связи (1-r) морфологических признаков у молоди стерляди в возрасте 69 суток

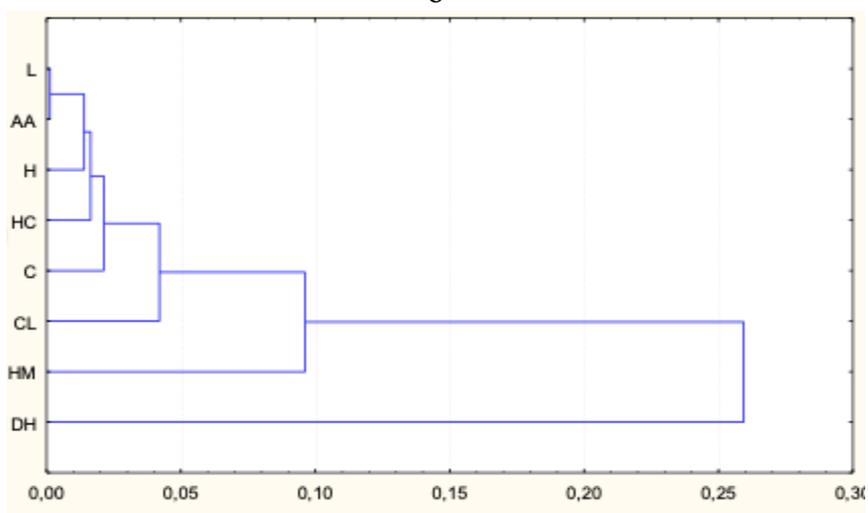
В 82-суточном возрасте молодь контрольной группы (рисунок 16-а) по-прежнему образует кластер L, AA, C с высокой связью ( $r > + 0,98$ ), несколько ниже параметры H, HM ( $r > + 0,96$ ), C, CL ( $r > + 0,94$ ), DH ( $r > + 0,88$ ); опытной группы №1 (рисунок 16-б) параметры L, AA, H, CL, C, HC характеризуются высокой скоррелированностью ( $r > + 0,95$ ), несколько снижается связь параметров HM ( $r > + 0,9$ ), DH ( $r > + 0,75$ ); опытной группы №2 (рисунок 16-в) по-прежнему высоко скоррелированы L, AA, C ( $r > + 0,98$ ), HC ( $r > + 0,97$ ), кластер H, CL со связью ( $r > + 0,97$ ) и связан ( $r > + 0,96$ ) с признаками L, AA, C, HC, несколько ниже с HM ( $r > + 0,94$ ), DH ( $r > + 0,86$ ).



а



б



в

Рисунок 16 - Дендрограммы связи (1-r) морфологических признаков у молодежи стерляди в возрасте 82 суток контрольной (а) и опытных (Бацифолин А (б), Басуфлифор А (в)) групп

В 97-суточном возрасте молодь контрольной группы по признакам L, AA, C, HM, CL образуют кластер со связью ( $r > +0,8$ ), DH-H ( $r > +0,7$ ), параметр наибольшей высоты головы характеризуется обратной связью (рисунок 17).

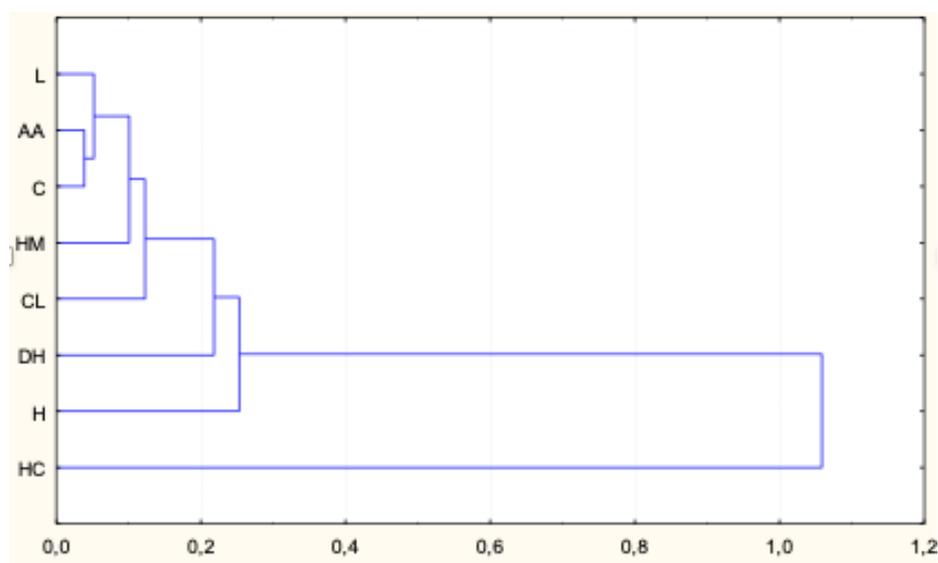


Рисунок 17 - Дендрограммы связи (1-r) морфологических признаков у молодки стерляди в возрасте 97 суток контрольной группы

В 97-суточном возрасте у молодки опытной группы № 1 отмечены следующие кластеры: L, AA, C ( $r > +0,9$ ), HM ( $r > +0,8$ ), признаки CL, H ( $r > +0,7$ ), HC, DH ( $r > +0,6$ ) (рисунок 18).

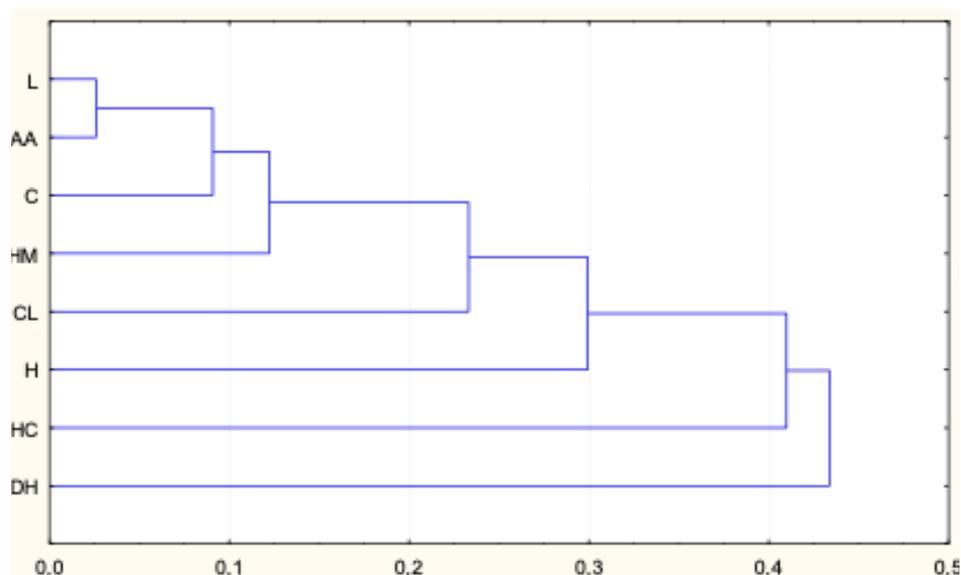


Рисунок 18 - Дендрограммы связи (1-r) морфологических признаков у молодки стерляди в возрасте 97 суток опытной (Бацифолин А) группы

В 97-суточном возрасте у молоди опытной группы № 2 отмечены следующие кластеры: L, AA, HM ( $r > +0,9$ ), C ( $r > +0,85$ ), H, CL ( $r > +0,85$ ), DH ( $r > +0,5$ ), HC ( $r > +0,3$ ) (рисунок 19).

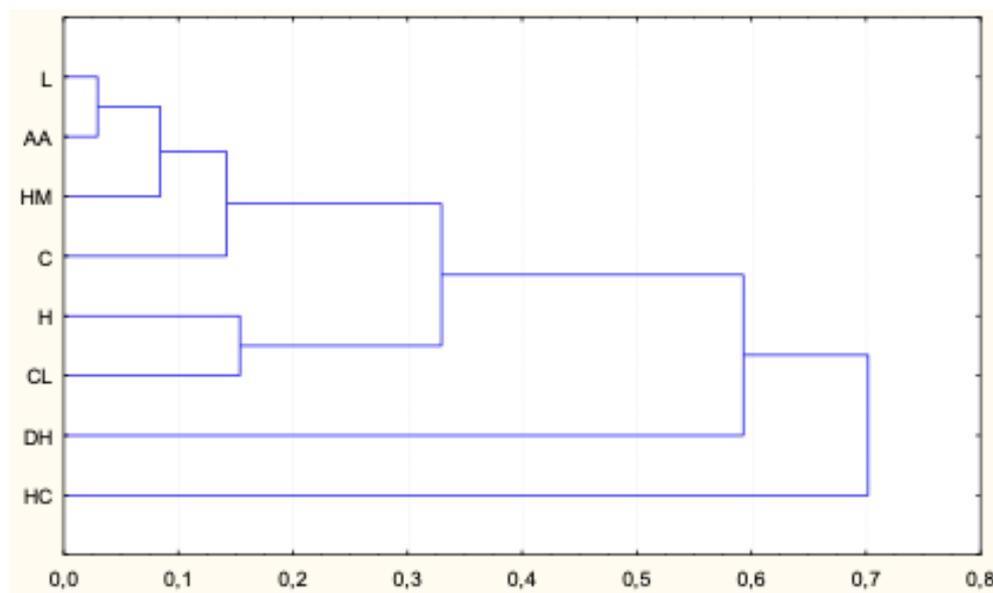


Рисунок 19 - Дендрограммы связи  $(1-r)$  морфологических признаков у молоди стерляди в возрасте 97 суток опытной (Басулифор А) группы

Вариабельность морфометрических признаков перед экспериментом отмечалась как сильная (от 25 %) по следующим 25 признакам: тела L, L1, AD, AA, PV, VA, H, HM, CL, BS, головы C, R, CO, OP, OO, HC, BC, RCR, SO, RS, DL, DH, AL, PL, VL; такая тенденция сохранялась до 82-суточного возраста. К возрасту 97 суток большинство признаков (25) отмечалось средней изменчивостью (от 11 до 25 %): L, L1, AD, AA, PV, VA, H, HM, CL, BS, C, R, HC, BC, RCR, SO, RS, CR, плавников DL, DH, AL, VL, жучек SD, SL, SV.

За две недели использования пробиотических композиций (возраст 82 суток) большинство морфометрических признаков опытных групп отмечалось высокой вариабельностью (от 25 %) – 24 признака в опытной группе № 1 (тела L, L1, AD, AA, PV, VA, H, HM, CL, BS, головы C, R, OP, OO, HC, BC, RCR, SO, RS, плавников DL, DH, AL, PL, VL), 25 – в опытной группе № 2 (тела L, L1, AD, AA, PV, VA, H, HM, CL, BS, головы C, R, CO, OP, OO, HC, BC, RCR, SO, RS, плавников DL, DH, AL, PL, VL) (таблица 10).

Таблица 10 – Коэффициент вариации морфометрических показателей молоди стерляди 69 – 97 суточного возраста,  $C_v \pm S_{C_v}$ , %

Параметры	Возраст, сутки						
	69	82			97		
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Пластические признаки							
L	31,97±6,63	35,85±7,6	35,09±7,4	31,96±6,63	18,73±3,66	15,67±3,03	14,18±2,73
L1	31,31±6,47	36,75±7,83	31,93±6,63	29,65±6,08	17,01±3,31 <sup>Δ</sup>	14,67±2,83	12,90±2,48
AD	31,99±6,64	36,42±7,74	32,17±6,68	30,57±6,29	16,44±3,19 <sup>□Δ</sup>	15,12±2,92	12,60±2,42
AA	31,16±6,44	36,79±7,84	32,33±6,73	30,49±6,28	17,20±3,35 <sup>Δ</sup>	15,25±2,95	13,60±2,62
PV	34,58±7,28	40,05±8,71	35,86±7,6	31,26±6,46	19,95±3,92 <sup>Δ</sup>	16,47±3,2	12,06±2,31
VA	30,80±6,35	35,39±7,48	31,98±6,64	28,84±5,89	17,73±3,46 <sup>Δ</sup>	14,85±2,87	12,35±2,37
H	32,08±6,66	40,34±8,78	36,18±7,68	30,39±6,26	15,0±2,9 <sup>□Δ</sup>	10,13±1,93	11,77±2,26
HM	39,12±8,45	41,48±9,09	37,40±8,0	35,55±7,51	21,46±4,24	16,69±3,24	16,84±3,27
CL	31,98±6,64	36,75±7,83	33,91±7,11	35,99±7,63	18,04±3,52 <sup>Δ</sup>	10,32±1,97	12,48±2,4

Продолжение таблицы 10

Параметры	Возраст, сутки						
	69	82			97		
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Пластические признаки							
BS	43,39±9,63	46,93±10,65	43,20±9,58	38,35±8,24	22,68±4,51 <sup>Δ</sup>	16,58±3,22	18,24±3,56
C	28,36±5,78	32,31±6,71	28,62±5,84	27,28±5,53	14,15±2,73 <sup>Δ</sup>	12,87±2,47	11,51±2,2
R	30,79±6,35	42,77±9,45	31,02±6,4	29,21±5,97	15,38±2,98 <sup>ΔΔ</sup>	15,08±2,92	17,28±3,36
CO	25,10±5,03	22,42±4,45	32,40±6,74	13,44±2,59 <sup>•</sup>	38,18±8,21	15,87±3,08 <sup>*</sup>	11,32±2,17 <sup>*</sup>
OP	30,41±6,26	32,11±6,67	27,03±5,47	29,54±6,05	16,77±3,26	13,45±2,59	22,16±4,39
OO	27,84±5,66	30,29±6,23	25,62±5,15	25,79±5,19	18,85±3,69	10,25±1,96	15,73±3,05
HC	31,25±6,46	29,24±5,98	28,20±5,74	30,63±6,31	28,34±5,77	12,19±2,34 <sup>*</sup>	19,22±3,77
BC	38,92±8,39	35,27±7,45	30,01±6,16	32,61±6,78	25,18±5,05	12,95±2,48 <sup>*</sup>	15,56±3,01
RCR	35,98±7,63	40,55±8,84	37,95±8,14	32,29±6,71	16,62±3,23 <sup>□Δ</sup>	19,49±3,82	22,39±4,44
SO	41,65±9,14	28,78±5,87	33,61±7,04	36,27±7,71	15,79±3,06 <sup>□</sup>	18,85±3,69	19,84±3,92
RS	30,17±6,19	38,29±8,23	31,82±6,59	27,43±5,56	20,68±4,07	20,15±3,96	15,17±2,93
CR	24,08±4,8	22,04±4,37	20,26±3,98	21,10±4,16	15,14±1,7	13,91±2,54	7,67±2,14

Продолжение таблицы 10

Параметры	Возраст, сутки						
	69	82			97		
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Пластические признаки							
DL	33,75±7,06	36,55±7,77	36,01±7,63	33,21±6,94	18,35±3,59 <sup>Δ</sup>	15,05±2,91	23,10±4,6
DH	42,62±9,4	31,14±6,43	30,64±6,31	32,42±6,74	23,85±4,75	14,13±2,72	13,40±2,58
AL	37,20±7,93	35,49±7,51	25,78±5,18	26,37±5,32	19,82±3,89	18,16±3,54	22,45±4,45
PL	36,59±7,79	38,70±8,34	37,73±8,08	30,29±6,23	31,65±6,55	14,68±2,83*	17,86±3,48
VL	41,94±9,22	34,88±7,53	34,47±7,24	36,36±7,73	18,47±3,61 <sup>□</sup>	17,60±3,43	17,28±3,36
Меристические признаки							
SD	8,95±2,72	13,64±2,62	10,07±1,91	11,09±2,12	21,29±4,2 <sup>□</sup>	10,61±2,03	14,80±2,86
SL	7,93±2,25	18,66±3,65	7,91±2,24	7,97±2,27	6,90±1,31 <sup>ΔΔ</sup>	6,20±0,83	5,44±1,03
SV	9,86±3,7	18,58±3,63	7,36±1,4	9,01±1,71	6,10±1,15 <sup>ΔΔ</sup>	9,95±1,35	10,0±1,91

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 1); Басулифор А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 2); \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01 при сравнении контрольных и опытных групп; □ P ≤ 0,05 при сравнении контрольных групп возраста 69, 97 суток; Δ P ≤ 0,05; ΔΔ P ≤ 0,01 при сравнении контрольных групп возраста 82, 97 суток; • P ≤ 0,05 при сравнении опытных групп возраста 82 суток

В возрасте 82 суток средней изменчивостью характеризовался признак ширины рта (CR) для опытной группы № 1; параметры головы (CO, CR), жучек (SD) для опытной группы № 2. Слабой изменчивостью отмечались параметры жучек как в опытной группе № 1 (SD, SL, SV), так и в опытной группе № 2 (SL, SV). К 97-суточному возрасту 23 морфометрических параметра опытной группы № 1 отмечались средней изменчивостью (L, L1, AD, AA, PV, VA, HM, BS, C, R, CO, OP, HC, BC, RCR, SO, RS, CR, DL, DH, AL, PL, VL), остальные 5 признаков - слабой изменчивостью (H, CL, OO, SD, SL, SV); 26 морфометрических признаков опытной группы № 2 отмечались средней изменчивостью (L, L1, AD, AA, PV, VA, HM, BS, CL, C, R, CO, OP, OO, H, HC, BC, RCR, SO, RS, DL, DH, AL, PL, VL, SD), остальные 3 – слабой изменчивостью (CR, SL, SV).

При анализе изменчивости морфометрических признаков достоверные различия ( $P \leq 0,05$ ) в возрасте 97 суток установлены между контрольной и опытной группой № 1 по некоторым морфометрическим параметрам головного отдела (CO, HC, BC) и плавников (PL); между контрольной и опытной группой № 2 по признаку горизонтального диаметра глаза (CO).

При оценке динамики коэффициента вариации морфометрических признаков контрольной группы установлены достоверные различия ( $P \leq 0,05$ ) некоторых параметров тела – AD, H, головного отдела RCR, SO, плавников VL, жучек SD в возрасте 69 и 97 суток. При сравнении коэффициента вариации морфометрических признаков молодежи контрольной группы 82 и 97-суточного возраста установлены достоверные различия ( $P \leq 0,05$ ) некоторых параметров тела L1, AD, AA, PV, VA, H, CL, головы BS, C, RCR, плавников DL; R ( $P \leq 0,01$ ), жучек SL ( $P \leq 0,01$ ), SV ( $P \leq 0,01$ ).

При оценке разности между коэффициентами вариации путем сопоставления доверительных интервалов, построенных для генеральных параметров (Лакин, 1990) значительное отличие доверительного интервала коэффициента вариации контрольной группы от границ доверительных интервалов коэффициентов вариации опытных групп отмечено по морфометрическим признакам головного отдела (CO, HC, BC) и плавников (PL) (таблица 11).

Таблица 11 - Доверительные интервалы коэффициентов вариации морфометрических показателей молоди стерляди 69 – 97 суточного возраста, % ( $P_H - P_B$  для  $P \leq 0,05$ )

Параметры	Возраст, сутки						
	69	83			97		
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Пластические признаки							
L	22,73-53,82	25,35-61,17	24,48-59,77	22,73-53,80	13,55-30,30	11,37-25,19	10,29-22,76
L1	22,30-52,53	25,95-62,92	22,72-53,66	21,16-49,49	12,32-27,43	10,65-23,64	9,37-20,67
AD	22,75-53,85	25,72-62,36	22,88-54,15	21,78-51,20	11,92-25,99	10,97-24,30	9,16-20,16
AA	22,19-52,28	25,96-63,10	22,99-54,42	21,74-50,98	12,46-27,74	11,06-24,51	9,88-21,79
PV	24,50-58,70	28,10-69,65	25,36-61,19	22,26-52,44	14,41-32,38	11,94-26,52	8,77-19,29
VA	21,95-51,59	25,04-60,28	22,74-53,83	20,61-47,99	12,83-28,64	10,77-23,87	8,98-19,76
H	23,31-55,31	28,30-70,15	25,56-61,84	21,67-50,81	10,88-24,11	7,37-16,15	8,56-18,83
HM	27,51-67,68	29,04-72,51	26,37-64,26	25,14-60,66	15,48-34,95	12,09-26,91	12,20-27,16
CL	22,58-54,76	25,97-62,82	24,04-57,47	25,43-61,52	13,06-29,14	7,51-16,45	9,07-19,96
BS	30,25-76,66	32,50-84,40	30,14-76,19	27,00-66,12	16,34-37,05	12,01-26,74	13,19-29,51
C	20,28-47,10	22,98-54,39	20,45-47,62	19,54-45,16	10,27-22,71	9,35-20,62	8,37-18,38
R	21,94-51,57	29,86-75,29	22,09-52,04	20,86-48,68	11,16-24,72	10,94-24,24	12,52-27,87
CO	18,03-41,28	16,56-36,63	23,04-54,54	9,76-21,53	26,88-66,82	11,50-25,55	8,23-18,08
OP	21,69-50,85	22,83-54,05	19,36-44,75	21,10-49,23	12,15-27,04	9,77-21,55	15,97-36,15
OO	19,92-46,16	21,60-50,65	18,39-42,20	18,51-42,48	13,63-30,50	7,46-16,34	11,40-25,33
HC	22,25-52,43	20,88-48,73	20,17-46,84	21,33-51,50	20,27-47,07	8,86-19,50	13,89-31,15

Продолжение таблицы 11

Параметры	Возраст, сутки						
	69	83			97		
	Перед экспериментом	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Пластические признаки							
BC	27,36-67,33	24,96-58,73	20,23-58,04	23,17-54,99	18,08-41,41	9,41-20,75	11,29-25,01
RCR	25,42-61,50	28,43-70,64	26,74-65,31	22,94-54,45	12,04-26,80	14,09-31,58	16,13-36,58
SO	29,14-72,94	20,57-47,88	23,85-56,86	25,63-62,00	11,45-25,42	13,63-30,50	14,33-32,20
RS	21,51-50,45	26,96-66,60	22,64-53,47	19,64-45,41	14,93-33,62	14,55-32,71	11,00-24,38
CR	17,32-39,47	15,89-35,95	14,63-32,88	15,22-34,36	10,98-24,34	10,10-22,32	5,59-12,21
DL	23,95-57,10	25,81-62,58	25,44-61,55	23,58-56,09	13,27-29,69	10,92-24,19	16,63-37,80
DH	29,76-75,03	22,17-52,24	21,83-51,32	23,04-54,67	17,15-39,09	10,26-22,68	9,73-21,47
AL	26,80-60,78	25,11-60,45	18,50-42,89	18,91-43,51	14,32-32,17	13,14-29,38	16,17-36,68
PL	25,84-62,54	27,23-66,83	26,58-64,93	21,60-50,65	22,52-53,19	10,66-23,56	12,93-28,85
VL	29,32-73,57	24,70-59,31	24,42-58,52	25,56-62,26	13,36-29,88	12,74-28,43	12,52-27,87
Меристические признаки							
SD	6,52-14,25	9,91-21,85	7,33-16,06	8,07-17,71	15,36-34,67	7,72-16,94	10,74-23,79
SL	5,77-12,62	13,50-30,19	5,76-12,59	5,80-12,69	5,03-10,96	4,52-9,85	3,96-8,64
SV	7,18-15,72	13,44-30,06	5,36-11,70	6,56-14,34	4,44-9,69	7,24-15,86	7,28-15,94

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 1); Басулифор А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 2)

Полученные результаты позволили установить, что включение пробиотических композиций в рацион способствует развитию более однородной молоди стерляди, что свидетельствует о лучшей подготовленности к выживанию в природных условиях. Оценка степени согласованности ключевых морфометрических признаков подтверждает формирование устойчивых взаимосвязей между параметрами туловища и головы, что обеспечивает гармоничное развитие организма и повышает адаптивные способности молоди.

### 3.7 Интерьерные показатели исследуемых рыб

Оценка изменений внутренних органов была проведена на основе метода морфофизиологических индикаторов. Данный метод позволяет определить реакцию организмов даже на незначительные изменения условий среды. При использовании пробиотических композиций отмечается увеличение индекса сердца на 14-25 % в сравнении с контрольной группой (рисунок 20).

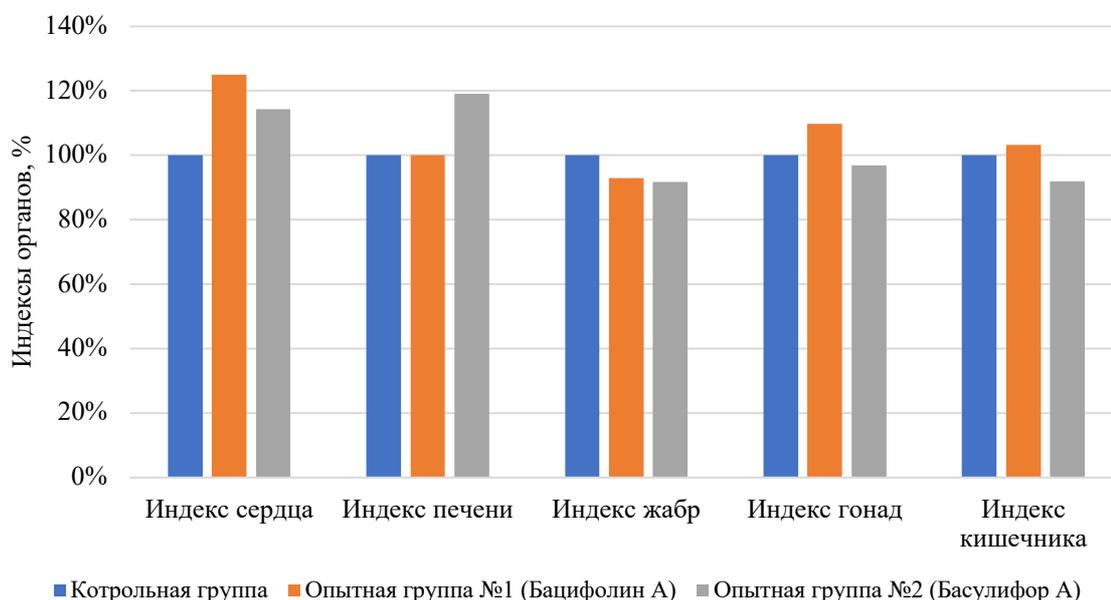


Рисунок 20 - Профили интерьерных признаков молоди стерляди в 96-суточном возрасте

При одинаковом индексе печени в контрольной и опытной группе №1, отмечается его увеличение на 19% во второй опытной группе. В противоположность индексу сердца, включение пробиотических композиций в

рацион молоди стерляди способствовало снижению индекса жабр опытных групп в сравнении с контрольной на 7-8%. Влияние пробиотических композиций на индекс гонад выявило неоднозначные результаты. Так, использование композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) способствовало его увеличению на 10%; композиции споровых бактерий (Басулифор А) - уменьшению на 3% в сравнении с контрольной группой. Стоит отметить, взаимосвязь индексов печени и гонад. Если у молоди опытной группы № 1 (Бацифолин А) при меньшем индексе печени отмечается увеличение индекса гонад, то у молоди опытной группы № 2 (Басулифор А), напротив, при большем индексе печени отмечается уменьшение индекса гонад.

Желудочно-кишечный тракт молоди был хорошо развит вследствие регулярного кормления и доступности корма, в связи с этим у всех исследованных групп различия по индексу кишечника незначительны. В сравнении с контрольной, у опытной группы № 1 он был больше на 3%, в опытной группе № 2 – меньше на 8% (Цицкиева, Бетляева, Маркин, 2025).

Несколько другие результаты профиля интерьерных признаков получены на молоди форели при включении в ее рацион композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А).

Как и в эксперименте со стерлядью, повышенная двигательная активность отмечалось у опытной группы уже спустя 7 дней исследований, что отразилось на разнице индексов сердца контрольной и опытной групп – на 44% больше в последней. Увеличение средней навески молоди опытной группы и лучшее усвоение питательных компонентов корма способствовало увеличению индекса печени на 28,3%. Разница в индексах селезенки составила 88,2%, жабр - 21,6 %, кишечника – 5,7% в пользу опытной группы. Еще одним показателем уровня запаса питательных веществ в организме является коэффициент упитанности. Упитанность особи, то есть удельное содержание жира в организме, является важным показателем благополучия популяции. У исследуемой форели разница между коэффициентами упитанности минимальна – 0,4 (рисунок 21).

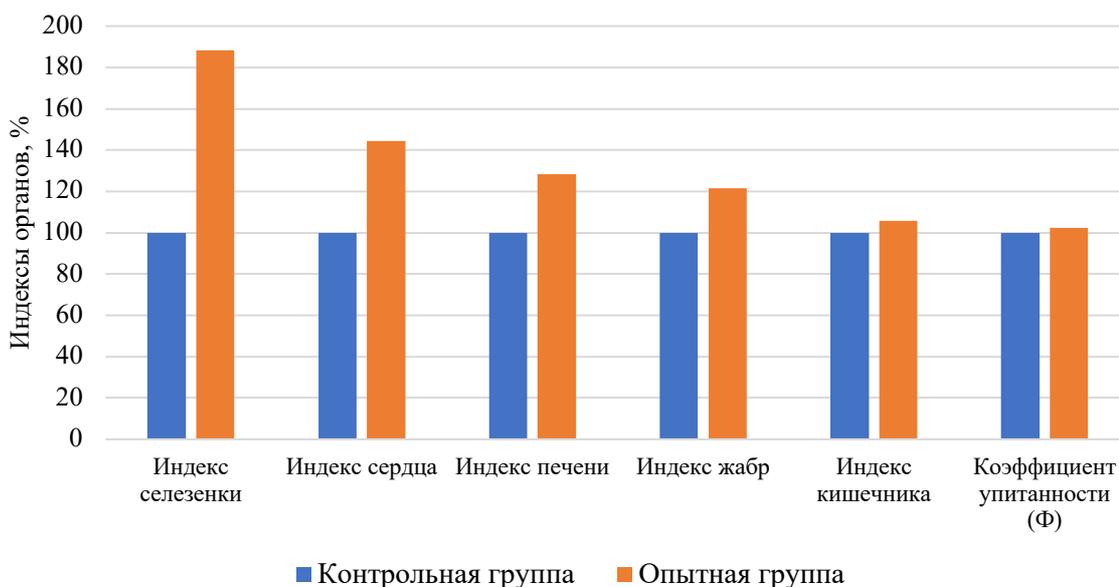


Рисунок 21 - Профили интерьерных признаков молоди радужной форели в конце эксперимента

Таким образом, использование пробиотических композиций в рационе молоди рыб оказывает существенное влияние на физиологическое состояние внутренних органов и подтверждают целесообразность включения пробиотиков в рацион рыб в целях улучшения их здоровья и повышения эффективности производства.

### **3.8 Микробиологический состав спирального отдела кишечника молоди стерляди при включении в рацион пробиотиков**

Качественный и количественный состав бактериальной флоры желудочно-кишечного тракта рыб в значительной степени зависит от среды обитания и условий их содержания, включая трофические факторы, и меняется под воздействием различных биотических и абиотических факторов (Извекова, 2008). Так, введение в корм пробиотиков вызвало изменение микробиологического состава спирального отдела кишечника молоди стерляди (таблица 12).

Таблица 12 - Микробиологический состав спирального отдела кишечника молоди стерляди контрольной и опытных групп в возрасте 103 суток, КОЕ/мл

Микроорганизмы			Результаты		
Филум	Семейство	Вид	Контрольная группа	Опытная группа № 1	Опытная группа № 2
Proteobacteria	Enterobacteriaceae	<i>E. coli</i> типичные	-	-	< 10 <sup>3</sup>
		<i>E. coli</i> лактозонегативные	10 <sup>2</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>
		<i>Citrobacter freundii</i>	< 10 <sup>4</sup>	-	< 10 <sup>4</sup>
	Moraxellaceae	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	< 10 <sup>2</sup>	-	-
Firmicutes	Staphylococcaceae	Стафилококки, за исключением золотистого	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup>	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>3</sup>
	Lactobacillaceae	Лактобактерии	< 10 <sup>4</sup>	< 10 <sup>2</sup>	-
	Streptococcaceae	Лактострептококки	< 10 <sup>2</sup>	< 10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>
	Enterococcaceae	<i>Enterococcus faecium</i>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>
	Bacillaceae	<i>Bacillus subtilis</i>	< 10 <sup>1</sup>	< 10 <sup>3</sup>	< 10 <sup>1</sup>
		<i>Bacillus licheniformis</i>	-	< 10 <sup>4</sup>	< 10 <sup>3</sup>
		<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	-	-	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>
		<i>Bacillus cereus</i>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	< 10 <sup>1</sup>	< 10 <sup>4</sup>
		<i>Bacillus mesentericus</i>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup>	-	< 10 <sup>1</sup>
		<i>Bacillus mycoides</i>	< 10 <sup>3</sup>	-	-

Примечание: Бацифоллин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 1); Басулифор А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 2)

Условно-патогенные микроорганизмы семейств Enterobacteriaceae, Moraxellaceae, Staphylococcaceae, а также *B. cereus*, *B. mesentericus*, *B. mycoides* у молоди контрольной группы в сумме составили 1,34×10<sup>5</sup> КОЕ/мл, тогда как у молоди опытной группы № 2 – на порядок больше (1,04×10<sup>6</sup>), а у молоди опытной группы № 1 – больше на два порядка (1,01×10<sup>7</sup>).

*E. coli* известная как «кишечная палочка» является типичным представителем желудочно-кишечного тракта рыб. Она обладает высоким адаптационным потенциалом, выраженной пластичностью своих физиологических и биохимических свойств, которые проявляются в зависимости от внешних условий среды. Известна ее роль в пищеварительных процессах за счет способности продуцировать пищеварительные ферменты, витамины группы К и В. Присущая ей антагонистическая активность в отношении некоторых патогенных микроорганизмов способствует поддержанию иммунитета рыб. Однако, при неблагоприятных условиях, таких как снижение резистентности организма хозяина возможно проявление ее патогенных свойств, которые впоследствии становятся причиной заболеваний (Бурлаченко, 2008; Кузьмина, 2018). Отличие типичных и лактозонегативных форм *E. coli* заключается в отсутствии или низкой активности последней фермента  $\beta$ -галактозидазы, участвующей в расщеплении лактозы.

*C. freundii* – грамотрицательная бактерия, входящая в состав естественной микробиоты пищеварительного тракта рыб. Традиционно данный вид считается представителем условно-патогенной микробиоты для теплокровных животных и человека; у рыб она чаще всего присутствует как комменсал (непатогенный симбионт). Отмечены иммуностимулирующие свойства *C. freundii*, однако, как и в случае с *E. coli*, при снижении иммунного статуса рыба становится восприимчивой к инфицированию бактериями данного вида (Jiang, et al., 2024).

Представители условно-патогенной микробиоты играют важную роль в здоровом организме, создавая своего рода барьер против патогенных микроорганизмов. Они активно конкурируют с патогенами за ресурсы внутри организма, препятствуя развитию инфекционных процессов. Более того, условно-патогенная микробиота стимулирует активность иммунитета, способствуя формированию полноценной защитной реакции организма.

Тем не менее, условно-патогенная микробиота способна проявлять свои потенциально-патогенные свойства при ослаблении защитных сил организма (последствие стресса, несбалансированного питания и т.д.), вызывая различные

заболевания. В этой связи, поддержание баланса нормофлоры и условно-патогенных бактерий в желудочно-кишечном тракте является важным условием нормального функционирования организма.

Общее количество молочнокислых бактерий, относящихся к семействам *Lactobacillaceae*, *Streptococcaceae*, *Enterococcaceae* и порядку *Lactobacillales*, составило для контрольной и опытной групп №1 -  $1,212 \times 10^5$  и  $1,203 \times 10^5$  КОЕ/мл соответственно, тогда как для молодежи опытной группы № 2 этот показатель был на порядок выше -  $1,03 \times 10^6$  КОЕ/мл.

Молочнокислые бактерии являются представителями нормофлоры. Они осуществляют контроль над микробным сообществом в пищеварительном тракте. Обладают способностью нейтрализовать энтеротоксины, образуемые патогенными бактериями; разрушают токсичные вещества (нитраты, нитрозамины); синтезируют органические кислоты, антибактериальные вещества, включая бактериоцины. Последние способны ингибировать развитие листерий, стафилококков, некоторых видов энтерококков и бацилл (Цицкиева, Бетляева, Маркин, 2025).

Еще одно проявление антагонистической активности лактобацилл обеспечивается за счет образования продуктов их жизнедеятельности – молочной и уксусной кислот, способных тормозить развитие патогенных бактерий. Причем их сочетание сопровождается синергидным эффектом (Бурлаченко, 2008; Лаврухина и др., 2022).

Представительность пробиотических бацилл была выше в опытных группах. В составе микробиоты пищеварительного тракта контрольной группы их количество составляло  $10^1$  КОЕ/мл, тогда как в опытной группе № 1 –  $1,1 \times 10^4$  КОЕ/мл, в опытной группе № 2 -  $2,2 \times 10^4$  КОЕ/мл.

Таким образом, полученные результаты подчеркивают необходимость изучения воздействия различных факторов на структуру и функционирование кишечной микробиоты рыб. Правильное управление этими факторами позволит обеспечить эффективное воспроизводство и производство товарной рыбопродукции.

### 3.9 Ферментативная активность в желудочно-кишечном тракте молоди стерляди и радужной форели при включении в рацион пробиотиков

Известно, что ферменты пищеварительной системы находится в тесной связи с эндомикрофлорой пищеварительного тракта и составом рациона (Шивокене, 1989; Волкова и др., 2004; Кузьмина, 2005). В связи с тем, что при включении в рацион пробиотиков, мы отмечали количественные и качественные изменения состава микробиоты кишечника стерляди, следовало ожидать изменение активности пищеварительных ферментов в ответ на оптимизацию симбиотической микробиоты (таблица 13).

Таблица 13 – Динамика ферментативной активности спирального отдела кишечника молоди стерляди (возраст 69-97 суток) при добавлении в рацион пробиотиков

Группы	Возраст, сутки		
	69	83	97
$\alpha$ – амилаза, ед/мг $\times$ мин			
Контрольная группа	0,0031 $\pm$ 0,0012	0,0033 $\pm$ 0,0005	0,0078 $\pm$ 0,0011*
Опытная группа № 1	-	0,0038 $\pm$ 0,0008	0,0079 $\pm$ 0,0037
Опытная группа № 2	-	0,0035 $\pm$ 0,0008	0,0105 $\pm$ 0,0026□
Общая протеолитическая активность, ед/мг $\times$ мин			
Контрольная группа	0,0629 $\pm$ 0,0151	0,0848 $\pm$ 0,0076	0,0854 $\pm$ 0,0136
Опытная группа № 1	-	0,0875 $\pm$ 0,0104	0,0917 $\pm$ 0,0094
Опытная группа № 2	-	0,0923 $\pm$ 0,0081	0,0973 $\pm$ 0,0094
Липаза, ед/мкмоль $\times$ мин			
Контрольная группа	0,0517 $\pm$ 0,0213	0,0555 $\pm$ 0,0087	0,0558 $\pm$ 0,0051
Опытная группа № 1	-	0,0599 $\pm$ 0,0082	0,0608 $\pm$ 0,0072
Опытная группа № 2	-	0,0562 $\pm$ 0,0070	0,0574 $\pm$ 0,0022

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 1); Басулифор А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 2); \*-  $P \leq 0,05$ ; □-  $P \leq 0,05$ ; \*сравнение показателей между контрольными группами разного возраста; □сравнение показателей между контрольными и опытными группами разного возраста

Рост активности пищеварительных ферментов коррелировал с увеличением возраста и с введением пробиотических композиций в состав рациона. Так, после двух недель исследований (возраст 83 суток)  $\alpha$ -амилазная активность выросла на 6,1% в контроле, 18,4% в опытной группе №1 и 11,4% в группе №2. Общая

протеолитическая активность увеличилась на 25,8%, 28,1% и 31,8% соответственно. Липазная активность возросла на 6,8%, 13,7% и 8%.

К концу эксперимента (возраст 97 суток)  $\alpha$ -амилазная активность увеличилась на 57,7% в контроле, 51,9% в группе №1 и 66,6% в группе №2. Протеолитическая активность возросла на 0,7%, 4,6% и 5,1%. Показатель липазной активности вырос на 0,5%, 1,5% и 2,1%.

Включение в рацион стерляди пробиотических композиций способствовало повышению активности ферментов у молоди опытных групп. Так, в возрасте 83 суток отмечалось увеличение ферментативной активности в опытных группах №1 и №2:  $\alpha$ -амилазы на 16,27% и 5,97%, протеазы – на 3,17% и 8,84%, липазы – на 7,9% и 1,29% (рисунок 22).

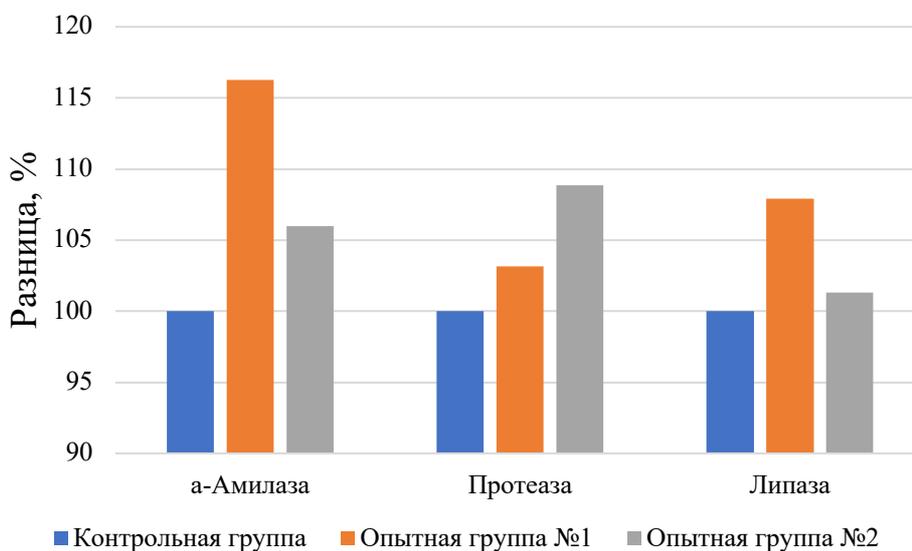


Рисунок 22 - Изменение ферментативной активности в спиральном отделе кишечника молоди опытных групп 83-суточного возраста, % от контроля, принятого за 100

В конце эксперимента в опытных группах №1 и №2 (возраст 97 суток) отмечалось увеличение  $\alpha$ -амилазы на 2,03% и 34,53%, протеазы – на 7,42% и 13,95%, липазы – на 9,05% и 2,87% (рисунок 23).

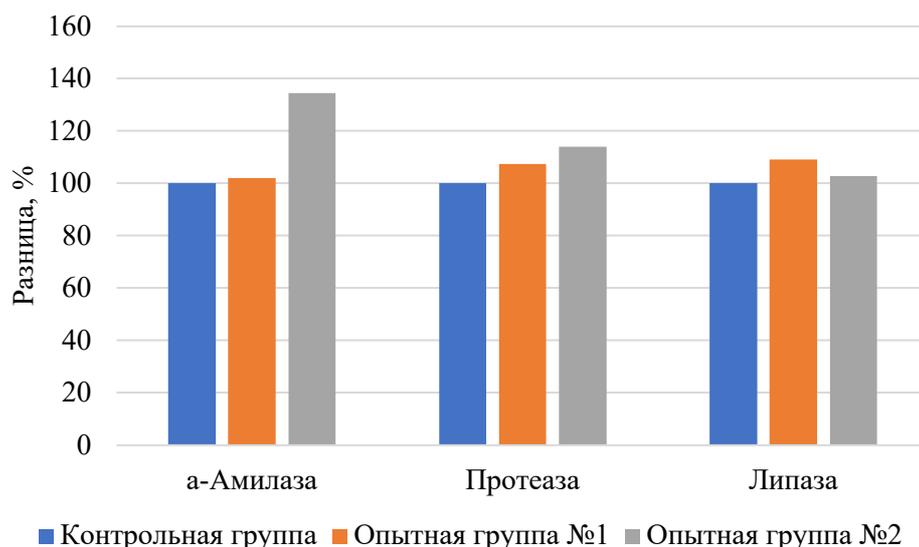


Рисунок 23 - Изменение ферментативной активности в спиральном отделе кишечника молодежи опытных групп 97-суточного возраста, % от контроля, принятого за 100

В исследованиях с радужной форелью также отмечено повышение ферментативной активности в разных отделах пищеварительной системы.

Известно, что с возрастом происходит увеличение активности пищеварительных ферментов, что подтверждается полученными нами результатами. Так, у контрольной группы активность а-амилазы в конце эксперимента повысилась на 37,3 и 2,7 % в пилорических придатках и среднем отделе кишечника.

Для протеолитической активности показатель превышения составлял 0,2 % в пилорических придатках, тогда как в среднем отделе кишечника – на 69,5 %. Активность липазы в области пилорических придатков повысилась на 2,0 %, в среднем отделе кишечника – на 4,8 %. Энзиматическая активность в переднем отделе кишечника перед началом эксперимента не исследовалась (таблица 14).

Таблица 14 – Ферментативная активность отделов желудочно-кишечного тракта контрольной и опытной групп радужной форели

Отдел желудочно-кишечного тракта	До эксперимента	После эксперимента	
		Контрольная группа	Опытная группа
$\alpha$ – амилаза, ед/мг $\times$ мин			
Пилорические придатки	0,0101 $\pm$ 0,0061	0,0161 $\pm$ 0,0010	0,0171 $\pm$ 0,0033
Передний отдел кишечника	-	0,0033 $\pm$ 0,0014	0,0034 $\pm$ 0,0008
Средний отдел кишечника	0,0036 $\pm$ 0,0019	0,0037 $\pm$ 0,0016	0,0059 $\pm$ 0,0015
Общая протеолитическая активность, ед/мг $\times$ мин			
Пилорические придатки	0,0581 $\pm$ 0,0226	0,0582 $\pm$ 0,0089	0,0640 $\pm$ 0,0056
Передний отдел кишечника	-	0,0517 $\pm$ 0,0095	0,0557 $\pm$ 0,0031
Средний отдел кишечника	0,0169 $\pm$ 0,0064	0,0554 $\pm$ 0,0078*	0,0630 $\pm$ 0,0088□□
Липаза, ед/мкмоль $\times$ мин			
Пилорические придатки	0,0438 $\pm$ 0,0165	0,0447 $\pm$ 0,0037	0,0491 $\pm$ 0,0069
Передний отдел кишечника	-	0,0182 $\pm$ 0,0060	0,0199 $\pm$ 0,0055
Средний отдел кишечника	0,0178 $\pm$ 0,0065	0,0187 $\pm$ 0,0064	0,0201 $\pm$ 0,0047

Примечание: Бацифолин А из расчета 1,0 г/кг корма (опытная группа); \*-  $P \leq 0,05$ ; □□-  $P \leq 0,01$ ; \*сравнение показателей до и после эксперимента контрольной группы; □сравнение показателей между контрольной (до эксперимента) и опытной группами

Включение в рацион радужной форели пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) способствовало повышению активности пищеварительных ферментов (рисунок 24 - 26).

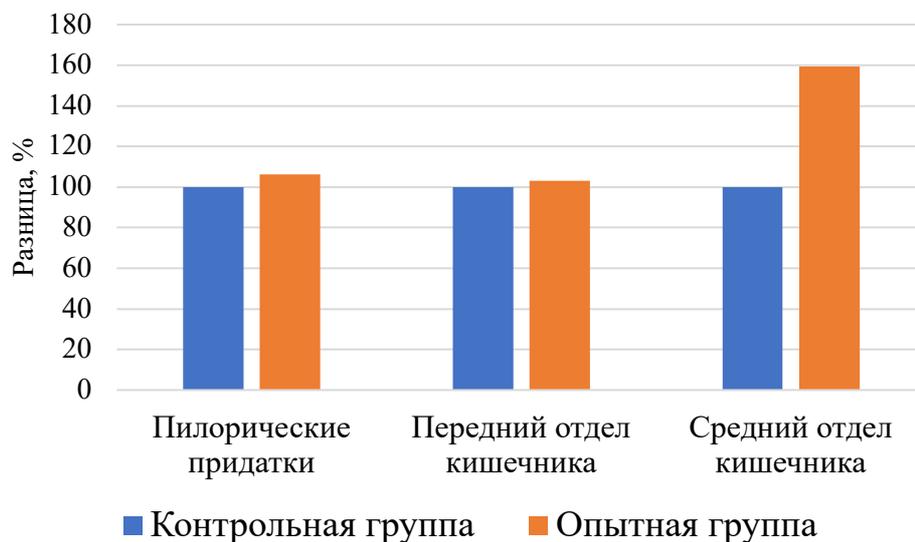


Рисунок 24 - Изменение активности  $\alpha$ -амилазы у молоди опытных групп, % от контроля, принятого за 100

Активность  $\alpha$ -амилазы в пилорических придатках, переднем и среднем отделах кишечника увеличилась на 6,21, 3,03 и 59,45 % соответственно.

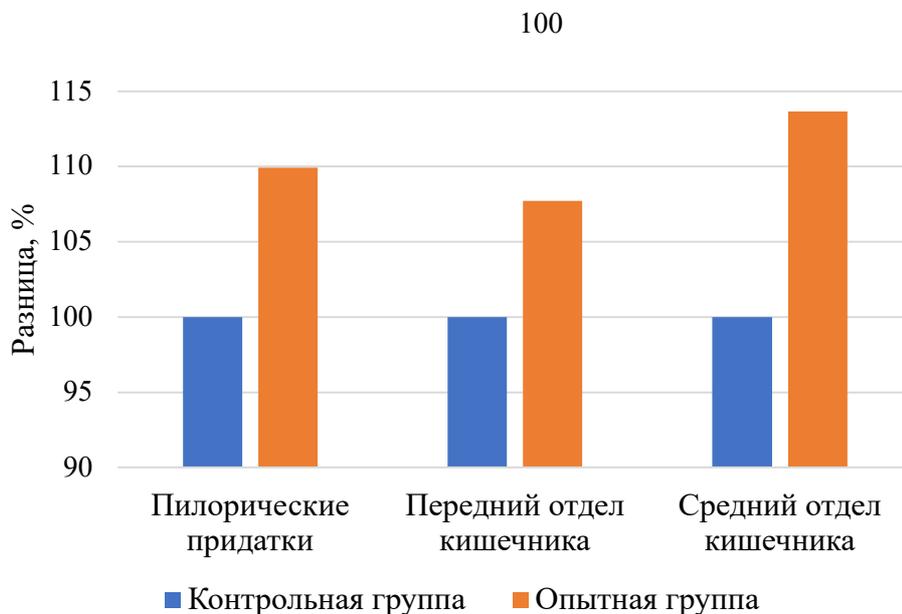


Рисунок 25 - Изменение общей протеолитической активности у молоди опытных групп, % от контроля, принятого за 100

Повышение общей протеолитической активности в пилорических придатках, переднем и среднем отделах кишечника отмечалось на 9,92, 7,72 и 13,64 %.

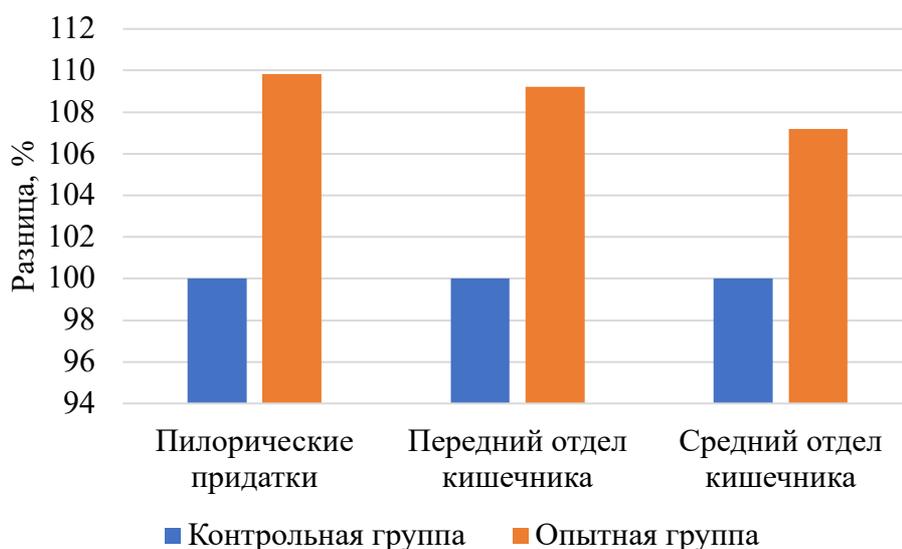


Рисунок 26 - Изменение активности липазы у молоди опытных групп, % от контроля, принятого за 100

Отмечалось увеличение липазы в пилорических придатках, переднем и среднем отделах кишечника на 9,82, 9,21 и 7,19 %.

Таким образом, пробиотические композиции оказывают положительное действие на активность пищеварительных гидролаз у молоди рыб, что способствует повышению эффективности использования питательных веществ

корма, обеспечивая благоприятные условия для оптимального роста и развития рыб.

### 3.10 Бактериологические показатели охлажденной товарной форели

Проведенные нами исследования позволили уточнить уровень безопасности охлажденной продукции. Результаты бактериологического исследования показали отсутствие патогенных микроорганизмов в произведенной продукции (таблица 15).

Таблица 15 - Результаты бактериологического исследования охлажденной продукции

Показатель	Опыт	Контроль	Норматив
В первые сутки			
КМАФАнМ, КОЕ/г	< п.д.о.	< п.д.о.	Не более $1 \times 10^5$
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. бактерии рода <i>Salmonella</i> , в 25 г	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 0,01 г	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается
На 7 сутки хранения			
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1,9 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	Не более $1 \times 10^5$
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. бактерии рода <i>Salmonella</i> , в 25 г	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 0,01 г	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается

Примечание: Бацифолин А из расчета 1,0 г/кг корма (опытная группа); < п. д. о. – ниже предела достоверного определения

Показатель КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов) используется для оценки качества пищевых продуктов и определяет их общую бактериальную обсемененность. В состав КМАФАнМ входят различные таксономические группы микроорганизмов, такие как бактерии, дрожжи и плесневые грибы.

Помимо количественного исследования, проводят и качественные – с определением родовой принадлежности таких микроорганизмов, как бактерии

группы кишечной палочки, сальмонеллы, стафилококки, клостридии, плесневые грибы, дрожжи и др. (Цицкиева, Бетляева, 2024).

По результатам исследования можно заключить, что пробиотики оказали положительное действие на качество охлажденной рыбы при хранении в течение 7 дней, что обеспечивает безопасность продукции при продаже и хранении.

### 3.11 Оценка рыбопродуктивных показателей при выращивании молоди рыб с применением пробиотических организмов

Рыбопродуктивность позволяет оценить общий прирост массы рыбы, полученный с единицы площади. Величина рыбопродуктивности при подращивании молоди радужной форели была выше в опытной группе по сравнению с контролем – на 0,76 кг/м<sup>2</sup> (таблица 16).

Таблица 16 - Рыбопродуктивные показатели молоди радужной форели

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Продолжительность опыта, сут	34	34
Плотность посадки, экз/м <sup>2</sup>	54,16	54,11
Начальная масса, г	60	60
Конечная масса, г	167	181
Абсолютный весовой прирост, г	107	121
Выживаемость, %	99,43	99,61
Рыбопродуктивность, кг/м <sup>2</sup>	5,76	6,52
Экономический эффект, руб./м <sup>2</sup>	-	671,5

Примечание: Бацифолин А из расчета 1,0 г/кг корма (опытная группа)

При включении пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в рацион молоди стерляди показатель рыбопродуктивности был выше на 1,77 кг/м<sup>2</sup> в сравнении с контролем; при включении пробиотической композиции споровых бактерий (Басулифор А) - на 1,56 кг/м<sup>2</sup> в сравнении с контролем.

Разница показателя рыбопродуктивности между опытными группами составила 0,21 кг/м<sup>2</sup> в пользу пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А).

Экономический эффект при внесении пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в рацион молоди стерляди позволяет увеличить выручку от ее реализации на сумму 368 руб./м<sup>2</sup> в сравнении с композицией споровых бактерий (Басулифор А), за счет получения дополнительной товарной продукции (таблица 17).

Таблица 17 – Рыбопродуктивные показатели молоди стерляди возраста 69-102 суток

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа №1	Опытная группа №2
Продолжительность опыта, сут	34	34	34
Плотность посадки, экз/м <sup>2</sup>	200	200	200
Начальная масса, г	7,5	7,5	7,5
Конечная масса, г	28,65	37,35	36,8
Абсолютный весовой прирост, г	21,15	29,85	29,3
Выживаемость, %	98,67	99,5	97,84
Рыбопродуктивность, кг/м <sup>2</sup>	4,17	5,94	5,73
Экономический эффект, руб./м <sup>2</sup>	-	2 848	2 480

Примечание: Бацифолин А из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 1); «Басулифор А» из расчета 0,5 г/кг корма (опытная группа № 2)

Таким образом, включение в состав рациона молоди радужной форели пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в дозе 1,0 г/кг корма способствует повышению показателя рыбопродуктивности на уровне 0,76 кг/м<sup>2</sup> в сравнении с контрольной группой; включение в состав рациона молоди стерляди пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в дозе 0,5 г/кг корма способствует повышению показателя рыбопродуктивности на уровне 1,77 кг/м<sup>2</sup>, композиции споровых бактерий (Басулифор А) в дозе 0,5 г/кг корма – 1,56 кг/м<sup>2</sup> в сравнении с контрольной группой.

## ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Стерлядь (*Acipenser ruthenus* L. 1758) издавна играла важную роль в культуре и экономике Сибири, являясь традиционным объектом рыболовства и символом богатства водных ресурсов региона. Стерлядь ловили в огромных количествах, что было связано с её изобилием в сибирских реках: Обь, Иртыш, Енисей. На сегодняшний день из-за низкой численности популяций вылов стерляди в реках Сибири находится под запретом. Стерлядь активно выращивается в условиях аквакультуры, имеющая два направления: искусственное воспроизводство, подразумевающее выращивание и выпуск молоди в естественные водоемы для пополнения природных биологических ресурсов, и товарное производство. Для успешного функционирования рыбозаводных хозяйств необходимо учитывать следующие ключевые факторы, оказывающие влияние на производительность: кормление, генетика, система управления и условия содержания.

Недавние исследования показали, что пробиотические организмы улучшают здоровье кишечника, повышают иммунитет, борются с инфекциями и повышают продуктивность при включении их в рацион объектов аквакультуры. Организм хозяина и кишечная микробиота тесно взаимодействуют, создавая эти эффекты. Однако эффективность пробиотических организмов зависит от широкого спектра факторов, таких как состав пробиотической композиции, взаимодействия между различными видами микроорганизмов и проявления их активностей, дозировка, способ введения, основной состав рациона, физиологические особенности объектов аквакультуры, условия среды, используемые технологии. Поэтому для того, чтобы максимально повысить эффективность пробиотических организмов, необходимы дополнительные исследования для определения оптимальных условий их применения и понимания механизмов действия.

Оценка состава микробиоты спирального отдела кишечника молоди стерляди показала антагонистическое действие композиции споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* в отношении *C. freundii*, *A. calcoaceticus*, *B. mesentericus*, *B. mycoides*; композиции споровых бацилл *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* в отношении *A. calcoaceticus*.

Антагонистический эффект пробиотических организмов осуществляется несколькими способами: путем ограничения доступа патогенов к питательным веществам, конкурентирования за адгезионные рецепторы в эпителии слизистой оболочки, предотвращении колонизации организма патогенными бактериями, выработки антибактериальных веществ как органические короткоцепочечные жирные кислоты, липопептиды, антибиотики, бактериоцины (продукты грамположительных бактерий) и микроцины (продукты грамотрицательных бактерий), способных подавлять размножение неблагоприятной микробиоты и вызывать их гибель (Servin, 2004).

Пробиотические организмы способствуют росту благоприятной микробиоты и увеличивают ее разнообразие. Нами установлено, что включение бациллярной композиции в состав рациона молоди стерляди способствует увеличению численности молочнокислых бактерий, в частности бактерий семейства *Streptococcaceae*. Стоит отметить, что результаты согласуются с данными Н.П. Саврасовой (2023), полученные при кормлении карпа пробиотической добавки «Бацелл-М» (*B. subtilis*, *L. paracasei*, *E. faecium*).

В процессе исследования установлено, что суммарное количество пробиотических бацилл *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* выше в опытных группах на три порядка в сравнении с контролем. Тем не менее, представительность *B. subtilis* при введении в рацион молоди стерляди пробиотической композиции споровых бактерий (Басулифор А) (опытная группа №2) отмечается на одном уровне с таковой в контрольной группе (таблица 12). Стоит предположить наличие сдерживающих факторов на развитие *B. subtilis*, определение которых следует предусмотреть при проведении дальнейших исследований.

Пробиотики и их метаболиты могут взаимодействовать с иммунными клетками, обеспечивая иммунорегуляцию. Основные эффекты пробиотиков заключаются в активации эпителиальных клеток кишечника, запуске сложных сигналов и стимуляции иммунных реакций; усиливающим воздействием на гуморальный иммунитет, стимулируя продукцию антител; увеличении количества

и усилении функции макрофагов и дендритных клеток, являющихся важными компонентами иммунной системы.

Известно, что пробиотические штаммы способны синтезировать широкий спектр ферментов:  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилазу, арабиназу, целлюлазу, хитиназу, протеазы, липазы и другие (Elshaghabee, 2017). Некоторые из них усиливают пищеварительную функцию, дополняя действие аналогичных эндогенных желудочно-кишечных ферментов у рыб. Пробиотические штаммы *Bacillus subtilis* ВКМБ-1601Д/ВКМ В-2250Д, *Bacillus licheniformis* В-1602/ВКМ В-2252 Д, *Bacillus amyloliquefaciens* 3/28 ВКПМ В-3679, *Enterococcus faecium* ВКМ В-4054, включенные в состав исследованных композиций, обладают внеклеточной протеазной, амилазной и липазной активностью (таблица 3). Максимальная амилазная активность отмечена у *B. subtilis*, что выше на 41,5 %, 26,4 % и 11,1 % в сравнении с *E. faecium*, *B. licheniformis* и *B. amyloliquefaciens* соответственно. По протеазной активности лидирует *E. faecium* – на 76,2 %, 43,8 % и 10,5 % выше, чем у *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. subtilis* соответственно. *B. amyloliquefaciens* – на 61,4 %, 50,9 % и 47,4 % превышает липазную активность *B. licheniformis*, *E. faecium*, *B. subtilis* соответственно.

Способность пробиотических штаммов активно продуцировать пищеварительные ферменты явилось предпосылкой для изучения активности пищеварительных гидролаз в желудочно-кишечном тракте молоди стерляди. Установлено повышение ферментативной активности с возрастом и включением пробиотических композиций в состав рациона молоди стерляди. Так, спустя две недели исследований (возраст 83 суток) было отмечено увеличение активности  $\alpha$ -амилазы на 16,27% и 5,97%; протеазы — на 3,17% и 8,84%; липазы — на 7,9% и 1,29% для опытной группы № 1 и № 2 соответственно в сравнении с контролем (рисунок 22). К концу исследований (возраст 97 суток) активность  $\alpha$ -амилазы увеличилась на 2,03% и 34,53%, протеазы — на 7,42% и 13,95%, липазы — на 9,05% и 2,87% для опытной группы № 1 и № 2 соответственно в сравнении с контролем (рисунок 23). В ряде исследований получены аналогичные результаты при использовании пробиотиков. Так, использование *B. subtilis*, *L. plantarum* и *S.*

*cerevisiae* в рационе тилапии (*Oreochromis niloticus*) способствовало увеличению амилазной, протеазной и липазной активности (Essa et.al., 2010). Аналогичное положительное влияние на активность амилазы было зарегистрировано у сома при добавлении *B. megaterium* (Afrilasari et.al., 2016). Wang (2011) отмечал увеличение активности протеазы у травяного карпа (*Stenopharyngodon idella*) на 18,18% при добавлении *B. coagulans* (Wang, 2011). Reda и др. (2018) отметили значительное повышение активности протеазы у африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) при добавлении в рацион *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus* и *B. subtilis*. В.А. Зуенко (2017) было отмечено увеличению активности пищеварительных ферментов карпа (*Cyprinus carpio*) и стерляди (*Acipenser ruthenus* L., 1758) при включении в их рацион пробиотика на основе *B. subtilis*. Интересно, что у обоих видов было отмечено повышение амилазной и протеазной активности, тогда как у карпа отмечался рост целлюлазной, и в меньше степени – липазной активности (Зуенко, 2017).

Добавленная ферментативная активность обеспечивает повышение эффективности использования питательных веществ корма молодью рыб, что отражается на их массе тела. Так, разница в средней навеске молоди возраста 43-65 суток к концу исследований была отмечена на 0,179 г (5,4 %) больше в пользу опытной группы (рисунок 7). У молоди стерляди возраста 69-102 суток разница в средней навеске составляла 8,7 г (30,36%) и 8,15 г (28,44%) для опытной группы №1 и №2 в сравнении с контрольной (рисунок 8).

Такие результаты получены во многих работах с использованием пробиотиков. Так, при кормлении молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L., 1758) пробиотическим штаммом *L. brevis* 47f в течение 60 дней в условиях УЗВ отмечено повышение ее средней массы тела на 5,3% относительно контрольной группы (Кочетков, 2024).

Кроме того, отмечены высокие показатели сохранности молоди стерляди при включении в рацион пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) (рисунок 10). В исследованиях Пономаревой с соавторами (2024) установлено повышение показателя сохранности на 2,89 % в

сравнении с контролем при использовании в рационе стерляди штаммов *Bacillus sp.* МТ14 и *Bacillus sp.* МТ42 с высокой ферментативной активностью.

Высокий темп роста и массонакопление важны и необходимы при товарном выращивании рыбы. При выращивании молоди для выпуска в природные водоемы, которые не отличаются комфортными условиями, необходима высокая адаптационная пластичность, позволяющая быстро и адекватно реагировать на постоянно изменяющиеся условия среды. При этом высокий темп роста и уровень развития должны быть дополнительными качествами, обеспечивающими адаптационную пластичность (Селюков и др., 2020).

Использование пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) при выращивании молоди стерляди обусловило меньшую вариабельность морфометрических признаков НС (13,34%), ВС (12,73%), ОО (11,15%), R (17,21%), RCR (19,69%), VL (13,67%), ДН (15,28%) в возрасте 65 суток по сравнению с контролем. В контрольной группе изменчивость этих признаков составила НС (34,04%), ВС (24,63%), ОО (46,21%), R (29,64%), RCR (34,33%), VL (29,32%), ДН (27,28%). При выращивании до возраста 97 суток с использованием композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) меньшие значения коэффициента вариации отмечены по морфометрическим признакам СО (15,87%), НС (12,19%), ВС (12,95%), PL (14,68%). В контрольной группе изменчивость этих признаков составила СО (38,18%), НС (28,34%), ВС (25,18%), PL (31,65%). В практическом аспекте выживаемость молоди, выращенной с использованием пробиотической композиции, будет выше в естественной среде за счет лучшей однородности выпускаемой молоди (Маркин, Шипицын, Цицкиева, Бетляева, 2023).

При оценке динамики взаимосвязей морфометрических параметров молоди стерляди опытной группы 65-суточного возраста выявлена тесная зависимость ( $r > +0,97$ ) между длиной головы (С) и длиной тела (L). С этими линейными признаками тесно связана ( $r > +0,93$ ) величина антеанального расстояния (АА) (рис. 14 б). В контроле на 65 сутки выделились три кластера. Два кластера имеют тесную связь ( $r > +0,9$ ), один из которых включает признаки: общая длина тела

(L), антеанальное расстояние (AA), высота спинного плавника (DH); второй включает признаки: длина (C) и высота (CH) головы, тогда как третий включает признаки: наибольшая (H) и наименьшая (HM) высота тела, длина хвостового стебля (CL) с зависимостью на уровне  $r > +0,625$  (рисунок 14-а).

При включении в рацион композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в возрасте 97 суток отмечена высокая скоррелированность ( $r > +0,9$ ) основных линейных признаков (L, AA, C), наименьшей высоты тела (HM) ( $r > +0,8$ ), длины хвостового стебля (CL) и наибольшей высоты тела на уровне  $r > +0,7$ , наибольшей высоты головы (HC) и высоты спинного плавника (DH) на уровне  $r > +0,6$  (рисунок 18). При включении в рацион композиции споровых бактерий (Басулифор А) в возрасте 97 суток отмечена высокая скоррелированность ( $r > +0,9$ ) между признаками общая длина тела (L), антеанальное расстояние (AA) и наименьшая высота тела (HM), с ними связан признак длины головы (C) на уровне  $r > +0,85$ ; признаки высота тела (H) и длина хвостового стебля (CL) образуют кластер на уровне  $r > +0,85$  (рисунок 19). В контроле на 97 сутки выделились два кластера, один из которых включает признаки: общая длина тела (L), антеанальное расстояние (AA), длина головы (C), наименьшая высота тела (HM), длина хвостового стебля (CL) на уровне  $r > +0,8$ ; второй кластер с признаками высота спинного плавника (DH) и высота тела (H) ( $r > +0,7$ ); тогда как параметр наибольшей высоты головы (HC) характеризуется обратной связью (рисунок 17).

Включение пробиотических композиций в рационе молоди стерляди отразилось также на профиле интерьерных признаков. Так, молодь, получавшая в составе основного рациона композицию споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А), отличалась повышенной двигательной активностью, что отразилось на более высоком индексе сердца – на 25% выше, чем в контроле (рисунок 20). По мнению С.С. Шварца с соавторами (1968) существует связь между размерами сердца и двигательной активностью организмов. Установлено, что высокая двигательная активность организмов обеспечивается увеличением индекса сердца в связи с повышением уровня метаболизма органа и

интенсификации его функции. Кроме того, у рыб, в отличие от наземных позвоночных, снижение индекса сердца с возрастом и увеличением размера рыб не происходит (Шварц, Смирнов и др., 1968).

Установлено повышение индекса печени у молоди стерляди, получавшей в составе рациона композицию споровых бактерий (Басулифор А) на 19% в сравнении с контролем, что вероятно обусловлено увеличением содержания жира в печени. При этом индекс гонад в данной группе был меньше на 3%, тогда как у молоди стерляди, получавшей в составе рациона композицию споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А), отмечено увеличение индекса гонад на 10% при отсутствии разницы в индексе печени в сравнении с контрольной группой. По-видимому, это связано с расходом жировых резервов печени на формирование репродуктивных органов, что характерно для исследуемого возраста стерляди. Согласно данным Г.М. Персова (1975) у трехмесячной стерляди отмечается увеличение числа половых клеток за счет митотических делений гоний.

Индекс жабр в опытных группах не был увеличен, что предположительно связано с благотворным влиянием пробиотиков на качество воды в УЗВ.

Известно, что жабры, печень и гонады являются важным биомаркером физиологического состояния организма (Селюков и др., 2024). Функция печени заключается в эмульгации жиров и усилении перистальтики кишечника, детоксикации, синтезе белков и углеводов, а также запасе жира и гликогена. В связи с последним происходит изменение ее массы, что важно при изучении данного органа в качестве морфофизиологического индикатора. По данным Е.М. Евграфовой с соавторами (2020) действие неблагоприятных факторов активизируют защитную функцию жабр, проявляющуюся разрастанием и утолщением дыхательного эпителия, что отражается на их массе.

В разделе 1.2 отмечалось, что одним из механизмов действия пробиотических организмов является их способность эффективно разлагать органические соединения, снижать концентрацию токсичных веществ в воде. В первую очередь, это связано со способностью пробиотических штаммов, в

частности бацилл, преобразовывать органическое вещество, а также участвовать в процессах нитрификации (Nathanailides et. al., 2021; Tabassum et. al., 2021). При проведении исследований на молоди стерляди возраста с 69 по 102 сутки отмечено повышение активности бактерий рода *Nitribacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* и перевод нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) в нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ) при включении в рацион пробиотических микроорганизмов (таблица 5).

Важным показателем для оценки качества воды, используемой в рыбохозяйственных целях, является биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>). Так, использование пробиотических композиций в составе рациона молоди рыб способствовало снижению показателя БПК<sub>5</sub> в опытных группах. Это обусловлено способностью пробиотических организмов осуществлять переработку продуктов жизнедеятельности рыб, остатков корма и других органических веществ, что приводит к снижению количества кислорода, необходимого для их распада.

Активность метаболических процессов рыб определяется температурным режимом. Полученные результаты позволили установить, что температурный диапазон при выращивании стерляди в УЗВ (15,9-19,1°C), был несколько ниже оптимального (от 18 до 22°C по рекомендациям Пономарева, Иванова, 2009; от 19 до 24°C по данным Матишова, Пономаревой, 2011). Однако нами не были отмечены отклонения от нормального роста и развития в связи с их широкой эвритермностью (Бубунец, Жигин, 2020). Кроме того, С.В. Пономарев (2010) подчеркивал, что замедление скорости роста осетровых происходит при снижении температуры воды менее 15°C (Пономарев и др., 2010). Уровень растворенного кислорода в воде во время проведения наших исследований (от 7,0 до 10,5 мг/л) соответствовал норме (не менее 8 мг/л) (Головина, Стрелков, 2003). Значения pH воды также отмечалось в пределах нормы (6,9–8,8) (Хрусталева, Курапова, 2022). Отмечено превышение предела допустимой концентрации по содержанию главных ионов ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), что отразилось на градусе жесткости воды. Тем не менее, такие условия обеспечивают поддержание осмотического давления рыбы, необходимого для нормального функционирования внутренних

органов, включая процессы всасывания питательных веществ через стенки кишечника в кровь, а также выведение продуктов обмена (Иванов, 1988). Кроме того, жесткая вода обеспечивает более стабильный показатель pH, а также нейтрализацию некоторых токсичных веществ. По данным С.С. Григорьевой, Н.А. Седовой (2008) оптимальная общая жесткость для осетровых рыб является 6,0-8,0 мг/л, что эквивалентно 18-20 °Ж.

Известно, что высокие концентрации ионов  $\text{Cl}^-$  сдерживают токсичность нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ). Превышение сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) представляет опасность при низкой концентрации кислорода и большого количества органического вещества (Проскуренко, 2003).

Выращивание рыб в бассейнах с проточным водоснабжением представляет собой простой, удобный и экономически эффективный способ организации рыбоводного хозяйства. Среди ключевых преимуществ этого метода можно выделить: простоту конструкций и их обслуживание; поступление воды непосредственно из природных источников, что приближает условия выращивания к естественным, улучшая качество рыбы; постоянный поток свежей воды обеспечивает стабильные условия для роста и развития рыбы, не требующих дорогостоящих систем фильтрации и рециркуляции; увеличение производственной мощности достигается простым добавлением дополнительных бассейнов, что позволяет легко расширять производство без значительных затрат.

За десятилетний период, с 2013 по 2023 год, в России производство товарной аквакультуры увеличилось более чем вдвое - с 186 тыс. тонн в 2013 г. до 402 тыс. тонн в 2023 г., а к 2030 г. стратегия развития рыбохозяйственного комплекса предусматривает увеличение этого показателя до 618 тыс. тонн. В рейтинге объектов выращивания за этот период на первый план вышли лососевые виды рыб: в 2023 г. их производство составило 158,6 тыс. тонн. Карповые и растительноядные рыбы на втором месте (147 тыс. тонн), в связи с высоким спросом российских потребителей на лососевую продукцию (Итоги деятельности федерального агентства по рыболовству в 2023 году, 2024).

Лососевые рыбы представляют собой важный объект для развития аквакультуры в России, учитывая их экономическую значимость и высокий спрос на рынке. Среди представителей семейства лососевых радужная форель отличается высокой адаптационной пластичностью к искусственным условиям содержания, хорошо усваивает гранулированные корма, обладает высоким темпом роста при значительной плотности посадки, что обусловлено многолетней селекцией по данным признакам.

Производство форели осуществляется в 50 регионах России, но лидерами по объему выращивания является Республика Карелия, Ленинградская область и Республика Северная Осетия-Алания (Анализ российского рынка форели в 2024 году). В 2024 году производство форели в России сохранилось на уровне предыдущего года и составило более 72 тыс. тонн.

За последние 5 лет потребление форели в нашей стране увеличилось на 70 %. Форель занимает первое место среди предпочтений прочих видов рыб (Агроинвестор, 2024).

Радужная форель - объект холодноводного рыбоводства, хотя диапазон благоприятных для ее роста температур достаточно широк – в пределах 9 - 17°C, тогда как наибольший темп роста отмечается при температуре воды 16-18 °C (Цуладзе, 1990). При температуре ниже 4°C и выше 20°C интенсивность питания сокращается, и, как следствие, снижается рост рыбы. Температура свыше 25 °C для выращивания радужной форели является летальной (Рыжков и др., 2014). Наиболее требовательна радужная форель к содержанию растворенного в воде кислорода, благоприятная концентрация которого должна быть не менее 7 мг/л, оптимально – 9 – 11 мг/л (Григорьев, Седова, 2008). Так, в период наших исследований температура соответствовала оптимальным значениям.

Использование композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в составе рациона молоди радужной форели способствовало увеличению  $\alpha$  – амилазной (рисунок 24) и протеазной (рисунок 25) активности в области среднего отдела кишечника, липазной (рисунок 26) – в области пилорических придатков в сравнении с контрольной группой.

Повышение эффективности использования питательных веществ корма молодь радужной форели определило увеличение средней навески в опытной группе в среднем на 7,7% (рисунок 9) в сравнении с контролем, а также высокий показатель сохранности – 99,6% (рисунок 11).

Известно, что использование споровых пробиотиков на основе *B. subtilis*, *B. licheniformis* положительно влияет на продуктивные показатели рыб. Так, в исследованиях Т.А. Нечаевой (2014) на молоди форели установлено увеличение массы тела на 10,4 % при добавлении в рацион пробиотика «Ветом 1.1», в сравнении с контролем. В другом исследовании, с использованием тех же споровых организмов было установлено повышение массы тела форели на 4,3% (Свешникова и др., 2023).

Включение пробиотической композиции в состав рациона молоди радужной форели способствовало, как и в исследованиях со стерлядью, увеличению индекса сердца в сравнении с контрольной группой (рисунок 21). Кроме того, было установлено увеличение индекса печени у молоди радужной форели, чего не отмечалось у молоди стерляди при включении в рацион композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А). Индекс селезенки также был выше в опытной группе. Селезенка – орган кроветворения, осуществляет формирование новых эритроцитов, тромбоцитов и лейкоцитов, а также утилизацию старых эритроцитов. Известно, что уменьшение индекса селезенки происходит при неблагоприятных условиях (Рыжков и др., 2014; Крайнюк, 2016). Кроме того, масса селезенки варьирует интенсивнее, чем масса других внутренних органов животных, поэтому этот показатель редко используют в качестве морфофизиологического индикатора (Хрусталева и др., 2018). Индекс жабр молоди радужной форели, не дали аналогичных результатов, как в исследованиях с молодь стерляди. Вероятно, это обусловлено разными условиями выращивания молоди: бассейны с высокой скоростью водообмена и УЗВ с обновлением воды от общего объема не более 10% в сутки. Именно в последних создаются более стабильные условия, позволяющие пробиотическим микроорганизмам проявить весь положительный эффект.

Применение пробиотических препаратов в сфере животноводства и аквакультуры стало основным инструментом для перехода к созданию экологически чистой продукции. Одним из главных достоинств пробиотиков является их способность минимизировать отрицательный эффект для здоровья животных и обеспечивать безопасность конечной продукции для потребителей. Так, включение пробиотической композиции споровых и молочнокислых бактерий (Бацифолин А) в дозе 1,0 г/кг корма оказало положительное действие на качество охлажденной радужной форели при хранении в течение 7 дней (таблица 15).

Включение пробиотических композиций в рацион молоди рыб (таблица 16, 17), сокращает сроки выращивания и обеспечивает более раннее достижение молодью массы выпуска в естественную среду обитания.

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что применение пробиотических композиций способствует увеличению ихтиомассы, снижению вариабельности морфометрических параметров, изменению индексов внутренних органов, что обеспечивается оптимизацией микробного состава желудочно-кишечного тракта, сопряженностью ферментативной активности пробиотических организмов и пищеварительной системы молоди рыб. Использование пробиотических композиций является экономически выгодным и экологически безопасным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных экспериментов, направленных на изучение влияния разных композиций споровых и молочнокислых бактерий на биологические и продуктивные качества рыб с использованием биохимических и микробиологических методов оценки ферментативной активности пищеварительной системы и её микробиологического состава, оценки формирования продуктивных свойств молоди стерляди при выращивании в условиях УЗВ и радужной форели в бассейнах с проточным водоснабжением, анализа результатов экспериментов, были получены следующие **выводы**:

1. Сочетание споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* усиливает антагонистический эффект микробиоты спирального отдела кишечника молоди стерляди, исключает развитие условно-патогенных бактерий *C. freundii*, *A. calcoaceticus*, *B. mesentericus*, *B. mycoides*, снижает количество *B. cereus* на 2-3 порядка.

2. Сочетание споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* исключает развитие условно-патогенных микроорганизмов *A. calcoaceticus*, *B. mycoides*, снижает численность *B. mesentericus* на 1-3 порядка и повышает обсемененность спирального отдела кишечника молоди стерляди лактострептококками на 2 порядка.

3. Повышенная энзиматическая активность споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* улучшает использование питательных веществ корма, увеличивает показатели прироста при выращивании молоди стерляди и радужной форели ( $P \leq 0,01$ ) и определяет высокий уровень их сохранности.

4. Использование в составе корма композиции споровых бактерий *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* и композиции споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* снижает вариабельность морфометрических параметров молоди стерляди ( $P \leq 0,05$ ;  $P \leq 0,01$ ), повышает

однородность молоди при выращивании, обуславливает высокую взаимосвязанность линейных параметров ( $r > 0,85$ ).

5. При выращивании молоди стерляди с 69 по 102 сутки с использованием композиции споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* отмечено увеличение индекса сердца, гонад, кишечника; композиции споровых бактерий *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* отмечено увеличение индекса печени и сердца; при выращивании молоди форели отмечено увеличение индекса сердца, печени, жабр и кишечника.

6. При выращивании молоди стерляди в условиях высокой жесткости воды с использованием споровых *B. subtilis*, *B. licheniformis* и молочнокислых бактерий *E. faecium* установлено повышение активности бактерий рода *Nitribacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* и перевод нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) в нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ), снижение показателя биохимического потребления кислорода.

### **Рекомендации**

С целью профилактики бактериальных заболеваний, а также повышения ферментативной активности пищеварительной системы и оптимизации её микробиологического состава целесообразно использовать пробиотическую композицию на основе штаммов *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *E. faecium* в дозе 0,5 г/кг корма при выращивании молоди стерляди в установках замкнутого водоснабжения для воспроизводства и в компенсационных целях; в дозе 1,0 г/кг корма для товарного выращивания молоди радужной форели в бассейнах с проточным водоснабжением.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

В условиях растущей глобальной угрозы устойчивости возбудителей болезней к антибиотикам и лекарственным средствам актуальна проблема биологической защиты объектов аквакультуры при их разведении на интенсивной основе, поиск новых эффективных подходов биологической защиты как путем активации иммунной системы и ингибирования активности условно-патогенной микрофлоры, так и путем оптимизации кишечного микробиоценоза, усиления активности ферментативной системы и повышения обмена веществ рыб.

Исследование влияния микроорганизмов направленного действия на активацию систем защиты и формирование продуктивных качеств рыб рассматривается как один из этапов дальнейшей исследовательской работы по повышению экономической эффективности аквакультуры.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

БПК – биохимическое потребление кислорода

КМАФАнМ - количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов

КОЕ – колониеобразующая единица

КЧЖК - короткоцепочечные жирные кислоты

МКБ – молочнокислые бактерии

ОМЧ – общее микробное число

ПК – подавление кворума

УЗВ – установка замкнутого водоснабжения

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агроинвестор. У российского рынка красной рыбы есть потенциал дальнейшего роста // Агроинвестор, 2024. [Электронный ресурс] - URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/43338-u-rossiyskogo-rynka-krasnoy-ryby-est-potentsial-dalneyshego-rosta> (дата обращения: 02.11.2025).

2. Аламдари, Х. Использование пробиотических препаратов при кормлении осетровых рыб: результаты испытаний при температуре ниже оптимальной / Х. Аламдари, С. В. Пономарев // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. - 2013. - № 3. - С. 133-140.

3. Анализ российского рынка форели в 2024 году // FishNet.Ru. [Электронный ресурс] - URL: <https://www.fishnet.ru/news/rynok/analiz-rossiyskogo-rynka-foreli-v-2024-godu> (дата обращения: 02.11.2025).

4. Артюх, Т.В. Универсальные принципы бактериальной коммуникации / Т.В. Артюх, Е. А. Сидорович, Д. В. Тапальский // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. - 2023. - Т. 21, № 5. - С. 453–459. - DOI: 10.25298/2221-8785-2023-21-5-453-459.

5. Бедняков, А.Д. Температурные адаптации ферментов слизистой оболочки кишечника некоторых представителей отряда Acipenseriformes / А.Д. Бедняков, А.Н. Неваленный // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 3: Экономика. Экология. - 2009. - № 1 (14). - С. 244–247.

6. Бедняков, Д.А. Структурно-функциональные особенности мембранного пищеварения у осетрообразных видов рыб и их гибридов: автореф. дис. канд. биол. наук / Д.А. Бедняков. - Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2014. - 43 с.

7. Бетляева, Ф.Х. Пробиотики на основе спор *Bacillus* и механизмы их действия / Ф.Х. Бетляева, К.Р. Цицкиева // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: тезисы докл. Всерос. научно-практич. конф. – Уфа, 2022. - С. 5-6.

8. Бубунец, Э.В. Влияние термических условий зимовки производителей на продолжительность инкубации икры и выдерживание предличинок осетровых рыб / Э.В. Бубунец, А.В. Жигин, А.В. Лабенец // Российская сельскохозяйственная наука. - 2020. - № 6. - С. 54–58.

9. Бурлаченко, И.В. Актуальные вопросы безопасности комбикормов в аквакультуре рыб / И.В. Бурлаченко. - Москва: ВНИРО, 2008. - 183 с.

10. Веденева, Н.В. Оценка бактериального загрязнения системы замкнутого водоснабжения гальванических производств / Н.В. Веденева, Е.В. Скиданов, Ю.А. Матвеев // Поволжский экологический журнал. - 2021. - № 4. - С. 447-457.

11. Волкова, И.В. Особенности ферментативной активности желудочно-кишечного тракта лососевых и осетровых рыб / И.В. Волкова, С.В. Шипулин, Т.С. Ершова, В.Ф. Зайцев // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов: материалы Междунар. конф. - Петрозаводск, 2004. - С. 25-26.

12. Волкова, И.В. Особенности функционирования пищеварительной системы рыб различных трофических групп: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Волкова Ирина Владимировна. - Астрахань, 2010. - 44 с.

13. Волосников, Г.И. Характеристика размерных параметров молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L. 1758) реки Иртыш (Уватский район) / Г.И. Волосников // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. - 2020. - № 3. - С. 18-26.

14. Гашев, С.Н. Математические методы в биологии: анализ биологических данных в системе Statistica: учебное пособие для вузов / С.Н. Гашев, Ф.Х. Бетляева, М.Ю. Иванова, К.Р. Цицкиева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2024. - 181 с.

15. Гашев, С.Н. Математические методы в биологии: анализ данных в системе STATISTICA: учебное пособие / С.Н. Гашев, Ф.Х. Бетляева, М.Ю. Иванова, К.Р. Цицкиева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Тюмень: ТюмГУ-Press, 2023. - 244 с.

16. Гербильский, Н.Л. Гистологический анализ пищеварительной системы осетровых и костистых на раннем периоде развития и методика работы с личинками в рыбоводстве / Н.Л. Гербильский // Труды совещания по рыбоводству. — Москва: Изд-во АН СССР, 1957. - Вып. 7. - С. 89-93.

17. Грозеску, Ю.Н. Биологическая эффективность применения пробиотика Субтилис в составе стартовых комбикормов для осетровых рыб / Ю.Н. Грозеску, А.А. Бахарева, Е.А. Шульга // Известия Самарского научного центра РАН. - 2009. - Т. 11, № 1. - С. 42-45.
18. Гусева, Ю.А. Инновационные подходы к оптимизации белкового питания рыб / Ю.А. Гусева, А.А. Васильев, А.М. Фрэнк, А.В. Ариповский; ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - Саратов, 2020. - 292 с.
19. Диксон, М. Ферменты / М. Диксон, Э. Уэбб. — Москва: Мир, 1982. - 1118 с.
20. Долганова, Н.В. Микробиология рыбы и рыбных продуктов: учебное пособие / Н.В. Долганова, Е.В. Першина, З.К. Хасанова. - 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 288 с.
21. Дорошенко, В.Д. Влияние препарата Ветом 3 на рост и развитие личинок карпа (*Cyprinus carpio* L.) в условиях установки замкнутого водоснабжения / В.Д. Дорошенко, И.В. Морузи, Г.А. Ноздрин, Р.Х. Инцибаев, Т.А. Литош, С.В. Севастеев // Инновации и продовольственная безопасность. - 2019. - № 4 (26). - С. 81–86.
22. Егоркина, Н.А. Выбор пробиотика и методика исследования эффективности при применении во время стрессов у карпов при их содержании в аквариумах / Н.А. Егоркина, И.И. Лобода, В.В. Ковалев, С.В. Королькова // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - 2017. - № 46. - С. 156-164.
23. Егоров, А.О. Опыт использования пониженных концентраций пробиотического препарата «Моноспорин» при подращивании молоди африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в УЗВ / А.О. Егоров, А.Н. Пашков // Рыбоводство и рыбное хозяйство. - 2016. - № 1. - С. 29-33.
24. Есавкин, Ю.И. Повышение эффективности выращивания форели в садках на теплых водах / Ю. И. Есавкин, С. А. Грикшас, В. П. Панов [и др.] // Рыбное хозяйство. - 2018. - № 5. - С. 89-93.

25. Забокрицкий, Н.А. Биологически активные вещества, синтезируемые пробиотическими микроорганизмами родов *Bacillus* и *Lactobacillus* / Н.А. Забокрицкий // Здоровье и образование в XXI веке. - 2015. - Т. 17, № 3. - С. 80-90.
26. Захарова, Ю.В. Факторы адгезии бифидобактерий / Ю.В. Захарова // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. - 2016. - № 5. - С. 80-87.
27. Зуенко, В.А. Влияние кормового пробиотика на основе бактерий *Bacillus subtilis* на пищеварение рыб при садковом выращивании / В. А. Зуенко и др. // Вопросы ихтиологии. - 2017. - Т. 57, № 1. - С. 112-117.
28. Иванов, А.П. Рыбоводство в естественных водоемах / А. П. Иванов. - Москва: Агропромиздат, 1988. - 367 с.
29. Иванова, А.Б. Перспективы применения бактериальных препаратов и пробиотиков в рыбоводстве / А.Б. Иванова, Б.Т. Сариев, Г.А. Ноздрин, И.В. Моружи, Ю.С. Аликин // Ветеринария. Вестник НГАУ. - 2012. - № 2 (23). Ч. 2. - С. 58-61.
30. Извекова, Г.И. Функциональное значение микрофлоры кишечника для рыб и паразитирующих в их пищеварительном тракте цестод / Г.И. Извекова // Успехи современной биологии. - 2008. - Т. 128, № 5. - С. 497–507.
31. Ильмаст, Н.В. Питание рыб: учебное пособие для студентов биологических и аграрно-технических специальностей / Н.В. Ильмаст, Д.С. Савосин, Я.А. Кучко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Петрозаводский государственный университет. - Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2015. - 17 с.
32. Индексы физиологических признаков белуги и шипа и их межвидовых гибридов в условиях бассейнового хозяйства / Е. М. Евграфова [и др.] // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2020. № 4 с.154-164.
33. Индустриальное рыбоводство: учебное пособие для студентов специальности 110901 «Водные биоресурсы и аквакультура». В 2 частях. Часть 1. Биологические основы и основные направления разведения рыбы индустриальными методами / С. С. Григорьев, Н. А. Седова. — Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. — 186 с.

34. Интеграция бактериальных заквасочных культур с рыбным сырьем: подбор и обоснование / Лаврухина Е.В., Зарубин Н.Ю., Бредихина О.В., Гриневич А.И. // Рыбное хозяйство, 2022. № 6. - С. 107-114.
35. Исследование размерных и весовых характеристик форели при использовании кормовой добавки «Акваспорин» / Свешникова Е.В. [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4 (64). С. 149-155.
36. Ихтиопатология / Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин, П.П. Головин, Е.Б. Евдокимова, Л.Н. Юхименко; под ред. Н.А. Головиной, О.Н. Бауэра. - Москва: Мир, 2003. — 448 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений).
37. Калайда, М.Л. Исследование микробиологических компонентов в установке замкнутого цикла / М.Л. Калайда, Л.К. Говоркова, Р.Р. Сафиуллин // Рыбное хозяйство. - 2025. - № 1. - С. 102-109.
38. Койлыбаева, М.К. Перспективы применения пробиотиков на основе бактерий рода *Bacillus* / М.К. Койлыбаева, Г.О. Устенова, Д.Ж. Батырбаева, Ж.С. Алибаева, К. К. Мустафина // Вестник КазНМУ. - 2018. - № 4. - С. 181-184.
39. Коллегия. Итоги деятельности федерального агентства по рыболовству в 2023 году и задачи на 2024 год. [Электронный ресурс]. – 2024. - URL: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf> (дата обращения: 02.11.2025).
40. Коростелёв, С.Г. Особенности мембранного пищеварения у рыб различных таксономических и экологических групп: автореф. дис. ... доктора биологических наук: специальность 03.00.13 - физиология / Коростелёв Сергей Георгиевич. - Астрахань, 2006. - 48 с.
41. Крайнюк, В.Н. Динамика индексов печени и селезенки у плотвы *Rutilus rutilus* (L., 1758) (Cyprinidae) из системы канала им. К. Сатпаева в зимний и преднерестовой периоды / В.Н. Крайнюк // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. - 2016. № 12-1. - С. 44-47.

42. Краюхин, Б.В. Физиология пищеварения пресноводных костистых рыб / Б.В. Краюхин. - Москва: Ленинград, Изд-во АН СССР, 1963. - 129 с.
43. Кузнецов, Д.А. Сидерофоры бактерий: структура, функции и роль в патогенезе инфекций / Д.А. Кузнецов, В.А. Рыков, О.Н. Подладчикова // Проблемы особо опасных инфекций. - 2022. - № 3. - С. 14-22.
44. Кузьмина, В. В. Процессы пищеварения у рыб. Новые факты и гипотезы / В.В. Кузьмина. - Ярославль: Филигрань, 2018. - 300 с. - ISBN 978-5-6042063-0-0.
45. Кузьмина, В.В. Активность пептидаз и гликозидаз пищеварительного тракта у некоторых видов костистых рыб Вьетнама / В.В. Кузьмина, Е.Е. Слынько, Е.А. Куливацкая, Е.П. Карпова, Д.К. Нгуен // Морской биологический журнал. - 2022. - Т. 7, № 1. - С. 55-64.
46. Кузьмина, В.В. Влияние концентрации водородных ионов на активность некоторых карбогидраз пищеварительного тракта рыб / В.В. Кузьмина, А.Н. Неваленный // Вопросы ихтиологии. - 1983. - Т. 23, вып. 3. - С. 481-490.
47. Кузьмина, В.В. Влияние суточных ритмов питания на общую амилолитическую активность и активность щелочной фосфатазы кишечника у молоди рыб / В.В. Кузьмина, А.П. Стрельникова // Биология внутренних вод. - 2008. - № 2. - С. 81-90.
48. Кузьмина, В.В. Нутритивные адаптации ферментов, осуществляющих мембранное пищеварение у пресноводных костистых рыб / В. В. Кузьмина // Журнал общей биологии. - 1981. - Т. 42, № 2. - С. 258-265.
49. Кузьмина, В.В. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб / В.В. Кузьмина. - Москва: Наука, 2005. - 300 с.
50. Лакин, Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для университетов и педагогических институтов / Г.Ф. Лакин. — Москва: Высшая школа, 1973. — 343 с.
51. Маркин, Ю.В. Влияние композиции споровых и молочнокислых бактерий на реализацию потенциала роста молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L., 1758) в условиях интенсивного рыбоводства / Ю.В. Маркин, Е.Ю. Шипицын, К.Р. Цицкиева, Ф.Х. Бетляева // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. - 2023. - № 2. - С. 15-22.

52. Матишов, Г.Г. Основы осетроводства в условиях замкнутого водообеспечения для фермерских хозяйств / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов и др. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного научного центра РАН, 2008. - 112 с.
53. Матишов, Г.Г. Практическая аквакультура: разработки ЮНЦ РАН и ММБИ КНЦ РАН / Г.Г. Матишов, Е.Н. Пономарёва, Н.Г. Журавлёва, В.А. Григорьев, В.А. Лужняк. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2011. - 284 с.
54. Михайлов, В.Н. Гидрология: учебник для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. - 2-е издание, исправленное. — Москва: Высшая школа, 2007. - 463 с.
55. Мусселиус, В.А. Лабораторный практикум по болезням рыб / В.А. Мусселиус. - Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. - 296 с.
56. Нетрусов, А.И. Микробиология: учебник для студентов высших учебных заведений / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. - 3-е издание, исправленное. - Москва: Академия, 2009. - 352 с.
57. Нечаева, Т.А. Применение пробиотика Ветом 1.1 при выращивании молоди форели в установках с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) // Т.А. Нечаева // Фармакология. Актуальные вопросы ветеринарной биологии. - 2014.- № 1 (21). - С. 65-69.
58. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник / А.М. Никаноров. - 2-е издание, переработанное и дополненное. - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001. - 444 с.
59. Ноздрин, Г.А. Изменение прироста массы осетровых при применении пробиотического препарата Аквапурин / Г.А. Ноздрин, И.В. Моружи, Е.В. Пищенко, С.И. Нурутдинова // Ветеринария. Вестник НГАУ. - 2015. - № 4 (37). - С. 121–126.
60. Ноздрин, Г.А. Новые иммуномодуляторы и лечебно-профилактические средства / Г.А. Ноздрин, В.Н. Зеленков // Новые фармакологические средства в ветеринарии: тезисы докладов IV Межгосударственной межвузовской научно-практической конференции. - Санкт-Петербург, 1992. - С. 31-32.

61. Осипова, И.Г. Споровые пробиотики / И.Г. Осипова, Н.А. Михайлова, И.Б. Сорокулова и др. // Журнал микробиологии. - 2003. - № 3. - С. 113-117.
62. ОСТ 15.372-87. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы: отраслевой стандарт. - Москва, 1987. - 17 с.
63. Остроумова, И.Н. Биологические основы кормления рыб / И.Н. Остроумова. - Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2001. - 372 с.
64. Пегель, В.А. Физиология пищеварения рыб / В.А. Пегель. - Томск: Издательство Томского университета, 1950. - 199 с.
65. Персов, Г.М. Дифференцировка пола у рыб / Г.М. Персов. - Ленинград: ЛГУ, 1975. - 148 с.
66. Пивненко, Т.Н. Ферментные системы водно-биологических ресурсов и их роль в формировании качества продукции: учебник / Т.Н. Пивненко, Ю.М. Позднякова, Е.В. Михеев. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 280 с.
67. Плотников, Г.К. Сборник классических методов гидробиологических исследований для использования в аквакультуре / Г.К. Плотников, Т.Ю. Пескова, А.Шкуте, А.Пупиня, М.Пупиньш. — Академическое издательство Даугавпилсского университета «Сауле», 2017. - 282 с.
68. Поддубный, А.Г. Экологическая топография популяций рыб в водохранилищах / А.Г. Поддубный. - Ленинград: Наука, 1971. - 312 с.
69. Положительный опыт применения штамма *Lactobacillus brevis* 47f на рыбоводно-биологические, гематологические и гистологические показатели молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*) / Н.И. Кочетков, Д.Л. Никифоров-Никишин, С.В. Смородинская [и др.] // Рыбное хозяйство. - 2024. - №4. – с. 96-107.
70. Пономарев, С.В. Осетроводство на интенсивной основе / С.В. Пономарев, Д.И. Иванов. - Москва: Колос, 2009. - 312 с.
71. Пономарев, С.В. Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в промышленных условиях: монография / С.В. Пономарев, Е.Н. Пономарева. - Астрахань: АГТУ, 2003. - 186 с.
72. Пономарева, Е.Н. Оценка действия пробиотических препаратов антиоксидантного и ферментативного действия на основе штамма *Bacillus subtilis*

на рост и физиологическое состояние рыб / Е.Н. Пономарёва, М.Н. Сорокина, В.А. Григорьев, М.С. Мазанко, В.А. Чистяков // Вестник НГАУ. - 2024. - № 4 (73). - С. 250-264. - DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-250-264.

73. Похиленко, В.Д. Бактериоцины: их биологическая роль и тенденции применения / В. Д. Похиленко, В. В. Перельгин // Исследовано в России. - 2011. – [Электронный ресурс] - URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2011/016.pdf> (дата обращения: 18.09.2021).

74. Похиленко, В.Д. Пробиотики на основе спорообразующих бактерий и их безопасность / В.Д. Похиленко, В.В. Перельгин // Химическая и биологическая безопасность. - 2007. - № 2–3. - С. 20-41.

75. Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб / И.Ф. Правдин. — Москва: Пищевая промышленность, 1966. - 96 с.

76. Привезенцев, Ю.А. Рыбоводство: учебное пособие / Ю.А. Привезенцев, В.А. Власов. — Москва: Мир, 2004. - 456 с.

77. Пронина, Г.И. Методы повышения иммунной устойчивости рыб в аквакультуре / Г.И. Пронина // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. - 2019. - № 4. - С. 37-42.

78. Проскуренко, И.В. Замкнутые рыбоводные установки / И.В. Проскуренко. — Москва: Издательство ВНИРО, 2003. - 152 с.

79. Романова, Н.Н. Применение препаратов «Левифлоксацин» и «СУБ-ПРО» при терапии бактериальной геморрагической септицемии у карповых рыб / Н.Н. Романова и др. // Труды ВНИРО. - 2022. - Т. 190. - С. 116-124.

80. Рост осетровых рыб при использовании технологии интенсивного выращивания / С.В. Пономарев, Н.В. Болонина, В.В. Чалов, Б.Т. Сариев, А.Н. Туменов // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. - 2010. - № 1. - С. 77-85.

81. Рыжков, Л.П. Морфофизиологические показатели рыб: учебное пособие для студентов эколого-биологического факультета / Л.П. Рыжков, А.В. Полина. - Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2014. - 36 с.

82. Рыжков, Л.П. Основы рыбоводства: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 110401.65 «Зоотехния» / Л.П.

Рыжков, Т.Ю. Кучко, И.М. Дзюбук. — Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 527 с. - ISBN 978-5-8114-1101-6.

83. Савиных, И. Пробиотики: достойное настоящее и эффективное будущее / И. Савиных // Эффективное животноводство. - 2022. - № 6. - С. 22-29.

84. Саврасова, Н.П. Влияние пробиотика «Бацелл-М» на микробиоценоз кишечника и систему антиоксидантной защиты *Suiprinus carpio* / Н.П. Саврасова, Е.В. Михайлов, С.Н. Семенов, И.М. Глинкина, Г.Н. Гнанканжа // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. - 2023. - № 2 (21). - С. 5-13.

85. Савустьяненко, А.В. Механизмы действия пробиотиков на основе *Bacillus subtilis* / А.В. Савустьяненко // Актуальная инфектология. - 2016. - № 2 (11). - С. 35-44.

86. Садов, И.А. Влияние условий инкубации икры на развитие молоди осетра и севрюги / И.А. Садов // Труды Института морфологии животных АН СССР. - 1951. - Вып. 5. - С. 126-146.

87. Сахарова, О.В. Водная микробиология: учебник для вузов / О. В. Сахарова, Т. Г. Сахарова. - 2-е издание, стереотипное. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 260 с.

88. Сборник классических методов гидробиологических исследований для использования в аквакультуре / Г.К. Плотников и др. // Академическое издательство Даугавпилсского университета «Сауле». - 2017. - 282 с.

89. Севрюков, А.В. Эффективность применения синбиотического препарата на основе штамма *Bacillus subtilis* В1895 в аквакультуре и ветеринарии / А.В. Севрюков и др. // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. - 2013. - № 4 (20). - С. 49-56.

90. Селюков, А.Г. Ихтиофауна и морфофункциональные изменения в организме рыб бассейна Средней Оби и нижеобского бассейнового округа / А.Г. Селюков, И.С. Некрасов, Л.А. Шуман // Биоразнообразие и экология популяций и сообществ водных и околоводных организмов бассейна Средней и Нижней Оби. — Волгоград: Перископ-Волга, 2024. - С. 138-186.

91. Селюков, А.Г. Проблемы компенсационного рыбоводства: повышение адаптационного потенциала чира (*Coregonus nasus* Pall.) в раннем онтогенезе слабыми магнитными полями. 1. Морфометрический анализ / А.Г. Селюков, Е.В. Ефремова, С.А. Селюкова, Л.А. Шуман // Рыбоводство и рыбное хозяйство. - 2020. - № 11 (178). - С. 32–46.
92. Скляр, В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре / В.Я. Скляр. — Москва: Издательство ВНИРО, 2008. - 150 с.
93. Смирнов В.С., Божко А.М., Рыков Л.П., Добринская Л.А. Применение метода морфофизиологических индикаторов в экологии рыб // Труды Северного НИИ озёрн. и речн. хоз- ва. - Петрозаводск, – 1972. – С. 5-168.
94. Современное состояние водных биоресурсов и аквакультуры: материалы научно-практической VII международной конференции, г. Новосибирск, 08–09 ноября 2023 г. / под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Моружи. - Новосибирск: НГАУ, 2023. - 222 с.
95. Стрельникова, А.П. Питание и пищевые взаимоотношения некоторых пресноводных рыб в раннем онтогенезе: автореф. дис. ... кандидата биологических наук / А.П. Стрельникова. - Иркутск, 1987. - 23 с.
96. Сычева, М.В. Практикум по санитарной микробиологии: учебное пособие / М.В. Сычева, О.Л. Карташова, Т.М. Пашкова. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2018. - 77 с.
97. Уголев, А.М. Пищеварительные процессы и адаптации у рыб / А.М. Уголев, В. В. Кузьмина. - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. - 238 с.
98. Уголев, А.М. Эволюция пищеварения и принципы эволюции функций / А.М. Уголев. — Ленинград: Наука, 1985. - 544 с.
99. Фаритов, Т.А. Кормление рыб: учебное пособие / Т. А. Фаритов. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 352 с.
100. Федорова, О.В. Пробиотические препараты: характеристика, критерии, требования к ним / О.В. Федорова, З.С. Юнусова, М.Ю. Шурбина, Р.Т. Валеева // Вестник Казанского технологического университета. Серия: Биологические науки. - 2016. - Т. 19, № 7. - С. 142-145.

101. Феоктистова, Н.В. Пробиотики на основе бактерий рода *Vacillus* в птицеводстве / Н.В. Феоктистова, А.М. Марданова, Г.Ф. Хадиева, М.Р. Шарипова // Учёные записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. - 2017. - Т. 159, книга 1. - С. 85-107.

102. Хрусталёв, Е.И. Возрастные изменения морфофизиологических показателей у судака второй генерации при выращивании в УЗВ / Е.И. Хрусталёв, Т.М. Курапова, К.А. Молчанова // Рыбное хозяйство. - 2018. - №1. - С. 83-86.

103. Хрусталёв, Е.И. Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры: учебник / Е.И. Хрусталёв, Т.М. Курапова, О.Е. Гончаренок, К.А. Молчанова. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 416 с.

104. Цицкиева, К.Р. Гидрохимические условия и рост молоди стерляди при использовании пробиотиков разного микробиологического состава / К.Р. Цицкиева, Ф.Х.Бетляева // «Водные ресурсы — основа глобальных и региональных проектов обустройства России, Сибири и Арктики в XXI веке»: сборник статей Национальной научно-практической конференции с международным участием 20-21 марта 2025 г. С. 234-239.

105. Цицкиева, К.Р. Влияние пробиотиков различного микробиологического состава на рост, интерьерные показатели и микрофлору пищеварительного тракта молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L., 1758) / К.Р. Цицкиева, Ф.Х. Бетляева, Ю.В. Маркин // Рыбное хозяйство. - 2025. - № 2. - С. 91-99.

106. Цицкиева, К.Р. Использование пробиотика «Бацифолин А» при выращивании радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в условиях интенсивного рыбоводства / К.Р. Цицкиева, Ф.Х. Бетляева, Ю.В. Маркин // Рыбное хозяйство. — 2024. - № 6. - С. 83-89.

107. Цицкиева, К.Р. Морфометрические параметры молоди стерляди при применении пробиотических композиций / К.Р. Цицкиева, Ф.Х. Бетляева, Ю.В. Маркин // Рыбоводство и рыбное хозяйство. - 2025. - №8. - С. 600-612.

108. Цицкиева, К.Р. Положительный эффект композиции споровых и молочнокислых бактерий на рост радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) и качество товарной продукции / К.Р. Цицкиева, Ф.Х. Бетляева // Современное

животноводство и инновации в технологии производства продуктов питания, аспекты экологической, производственной и гигиенической безопасности: материалы международной научно-практической конференции (Персиановский, 22 ноября 2024 г.) - пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2024. – с. 341-345.

109. Цицкиева, К.Р. Применение композиции споровых и молочнокислых бактерий при выращивании молоди стерляди (*Acipenser ruthenus* L. 1758) / К.Р. Цицкиева, Ф.Х. Бетляева // Водные ресурсы – основа глобальных и региональных проектов обустройства России, Сибири и Арктики в XXI веке: сборник статей Национальной научно-практической конференции с международным участием (21-22 марта 2024 года). В 2 т. Том I / отв. ред. Л. А. Пульдас. – Тюмень: ТИУ, 2024. С. 293 – 297.

110. Чуприна, Е.В. Экологическое взаимодействие морской аквакультуры и окружающей среды / Е.В. Чуприна // Экология гидросферы. - 2023. - № 1 (9). - С. 1-7.

111. Шадыева, Л.А. Результативность использования пробиотика «Акваспорин» для хищных и травоядных видов рыб в индустриальной аквакультуре / Л.А. Шадыева, Е.М. Романова, А.В. Васильев, В.В. Ахметова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2023. - № 4 (64). - С. 163-169. - DOI: 10.18286/1816-4501-2023-4-163-169.

112. Шварц, С.С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных / С.С. Шварц, В.С. Смирнов, Л.Н. Добринская // Труды института экологии растений и животных Уральского филиала Академии наук СССР. - 1968. - Вып. 58. - 387 с.

113. Шивокене, Я. Симбионтное пищеварение у гидробионтов и насекомых / Я. Шивокене. - Вильнюс: Мокслас, 1989. - 223 с.

114. Шульга, Е.А. Пробиотики в кормлении осетровых рыб при товарном выращивании: диссертация кандидата биологических наук / Е.А. Шульга. - Астрахань, 2009. - 24 с.

115. Щербина, М.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин. - Москва: Издательство ВНИРО, 2006. - 360 с.

116. Abdelhafiz, Y. *et al.* Fish as the Lesser-Known Counterpart to Mammalian Models to Explore the Biofunctionality of Polyphenols // *Journal of Functional Foods*. - 2023. - Vol. 107. - P. 105654.
117. Adamovsky O., Buerger A.N., Wormington A.M., Ector N., Griffitt R.J., Bisesi J.H., Martyniuk C.J. The gut microbiome and aquatic toxicology: an emerging concept for environmental health // *Environ Toxicol Chem*. - 2018. - T. 37, вып. 11. - С. 2758-2775.
118. Afrilasari, W., Meryandini, A. Effect of Probiotic *Bacillus megaterium* PTB 1.4 on the Population of Intestinal Microflora, Digestive Enzyme Activity and the Growth of Catfish (*Clariassp.*) // *HAYATI J. Biosci.*, 2016. - № 23. - P. 168-172. - DOI: 10.1016/j.hjb.2016.12.005.
119. Akbar, A., Anal, A. K. Food Safety Concerns and Food-Borne Pathogens, *Salmonella*, *Escherichia coli* and *Campylobacter* // *FUUAST J. Biol.* - 2011. - Vol. 1, № 1. - P. 5-17.
120. Ali, N. *et al.* Lipopeptide Biosurfactants from *Bacillus* spp.: Types, Production, Biological Activities, and Applications in Food // *Journal of Food Quality*. - 2022. - Vol. 2022, Issue 1. - Art. no. 3930112.
121. Amoah, K. *et al.* Effects of Three Probiotic Strains (*Bacillus coagulans*, *B. licheniformis* and *Paenibacillus polymyxa*) on Growth, Immune Response, Gut Morphology and Microbiota, and Resistance Against *Vibrio harveyi* of Northern Whitings, *Sillago sihama* Forsskál (1775) // *Animal Feed Science and Technology*. - 2021. - Vol. 277. - Article ID 114958.
122. Balcazar, J. L., Vendrell, D., De Blas, I., Ruiz-Zarzuela, I., Girones, O., Muzquiz, J. L. In Vitro Competitive Adhesion and Production of Antagonistic Compounds by Lactic Acid Bacteria Against Fish Pathogens // *Veterinary Microbiology*. - 2007. - Vol. 122. - P. 373-380.
123. Borges N., Keller-Costa T., Sanches-Fernandes G.M.M., Louvado A., Gomes N.C.M., Costa R. Bacteriome structure, function, and probiotics in fish larviculture: the good, the bad, and the gaps // *Ann Rev Anim Biosci*. - 2021. - T. 9. - C. 423-452. DOI: 10.1146/annurev-animal-062920-113114.

124. Brazaca, S. G., Bicalho, R. C. The *Lactococcus* Genus as a Potential Emerging Mastitis Pathogen Group: A Report on an Outbreak Investigation // *J. Dairy Sci.* - 2016. - Vol. 99, № 12. - P. 9864-9874.
125. Brutscher, L. M. *et al.* Preclinical Safety Assessment of *Bacillus subtilis* BS50 for Probiotic and Food Applications // *Microorganisms.* - 2022. - Vol. 10, № 5. - Art. no. 1038.
126. Buddington, K. Digestive Secretion of Lake Sturgeon (*Acipenser fulvescens*) During Early Development // *Journal of Fish Biology.* - 2006. - Vol. 26, № 6. - P. 715-723. - DOI: 10.1111/j.1095-8649.1985.tb04311.x.
127. Butt R.L., Volkoff H. Gut Microbiota and Energy Homeostasis in Fish // *Front Endocrinol.* - 2019. - Т. 10. - Статья 14. DOI: 10.3389/fendo.2019.00014.
128. Cahill M.M. Bacterial flora of fishes: a review // *Microb Ecol.* - 1990. - Т. 19. - С. 21-41.
129. Caruso, G., Denaro, M. G., Genovese, L. Digestive Enzymes in Some Teleost Species of Interest for Mediterranean Aquaculture // *The Open Fish Science Journal.* - 2009. - № 2. - P. 74-86.
130. Caulier, S. *et al.* Overview of the Antimicrobial Compounds Produced by Members of the *Bacillus subtilis* Group // *Frontiers in Microbiology.* - 2019. - Vol. 10. - Art. no. 302.
131. Cui X., Zhang Q., Zhang Q., Zhang Y., Chen H., Liu G., Zhu L. Research progress of the gut microbiome in hybrid fish // *Microorganisms.* - 2022. - Т. 10, вып. 5. - Статья 891. DOI: 10.3390/microorganisms10050891.
132. Defoirdt, T., Boon, N., Bossier, P., Verstraete, W. Disruption of Bacterial Quorum Sensing: An Unexplored Strategy to Fight Infections in Aquaculture // *Aquaculture.* - 2004. - Vol. 240. - P. 69-88. - DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.06.031.
133. Doan, H. V., Soltani, M., Ring, E. In Vitro Antagonistic Effect and In Vivo Protective Efficacy of Gram-Positive Probiotics Versus Gram-Negative Bacterial Pathogens in Finfish and Shellfish // *Aquaculture.* - 2021. - Vol. 540. - Art. no. 736581. - DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.736581.

134. Dong, Y. H., Wang, L. H., Zhang, L. H. Quorum-Quenching Microbial Infections: Mechanisms and Implications // *Phil. Trans. Roy. Soc. B.* - 2007. - Vol. 362, № 1483. - P. 1201-1211.
135. Dulski T., Zakeś Z., Ciesielski S. Characterization of the gut microbiota in early life stages of pikeperch *Sander lucioperca* // *Journal of Fish Biology.* - 2018. - T. 92, вып. 1. - С. 94-104.
136. Elsabagh, M. *et al.* Assessing the Impact of *Bacillus* Strains Mixture Probiotic on Water Quality, Growth Performance, Blood Profile and Intestinal Morphology of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* // *Aquaculture Nutrition.* - 2018. - Vol. 24, № 6. - P. 1613-1622.
137. Elshaghabee, F. M. F. *Bacillus* As Potential Probiotics: Status, Concerns, and Future Perspectives [Text] / F. M. F. Elshaghabee, N. Rokana, R. D. Gulhane, C. Sharma, H. Panwar // *Front Microbiol.* - 2017. - V. 8. - P. 1490.
138. Erega, A. *et al.* Impact of *Bacillus subtilis* Antibiotic Bacilysin and *Campylobacter jejuni* Efflux Pumps on Pathogen Survival in Mixed Biofilms // *Microbiology Spectrum.* - 2022. - Vol. 10, № 4. - Art. no. e02156-e02122.
139. Errington, J., Aart, L. T. V. Microbe Profile: *Bacillus subtilis*: Model Organism for Cellular Development, and Industrial Workhorse // *Microbiology (Reading).* - 2020. - Vol. 166, № 5. - P. 425–427. - DOI: 10.1099/mic.0.000922.
140. Essa, M. A., El-Serafy, S. S., El-Ezabi, M. M., Daboor, S. M., Esmael, N. A., Lall, S. P. Effect of Different Dietary Probiotics on Growth, Feed Utilization and Digestive Enzymes Activities of Nile Tilapia // *J. Arab Aquac. Soc.* - 2010. - Vol. 5. - P. 143-162.
141. Falaye, A. *et al.* Influence of *Lactobacillus plantarum*-Supplemented Diet on Growth Response, Gut Morphometry and Microbial Profile in Gut of *Clarias gariepinus* Fingerlings // *Journal of Coastal Life Medicine.* - 2016. - Vol. 4, № 8. - P. 597-602.
142. Fang Jiao, Zhang Lei, Limbu SM, Yin Hong, Xie Yuqing, Yang Zihan, Shang Zongmin, Kong Lingfu, Rong Hua. A comparison of digestive strategies for fishes with different feeding habits: Digestive enzyme activities, intestinal morphology, and gut

microbiota // *Ecol Evol.* - 2023. - Vol. 13, Iss. 9. - Art. e10499. - DOI: 10.1002/ece3.10499.

143. Fatmagün Aydın, Şehriban Çek-Yalnız. Effect of Probiotics on Reproductive Performance of Fish // *NE Sciences.* - 2019. - Vol. 4, № 2. - P. 153-162. - DOI: 10.28978/nesciences.567113.

144. Firdaus-Nawi, M., Zamri-Saad, M. Major Components of Fish Immunity: A Review // *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science.* - 2016. - Vol. 39, № 4.

145. Fuller, R., Gibson, G. R. Probiotics and Prebiotics: Microflora Management for Improved Gut Health // *Clin. Microbiol. Infect.* - 1998. - Vol. 4. - P. 477-480.

146. García, M. E., Olivera, N. L., Fernández, M., Rossi, C. R., Sequeiros, C. Antimicrobial Activity of Bacteriocin-Producing *Carnobacterium* spp. Isolated From Healthy Patagonian Trout and Their Potential Use in Aquaculture // *Aquac. Res.* - 2020. - Vol. 00. - P. 1-11. - DOI: 10.1111/are.14806.

147. Ghanbari Mahdi, Kneifel Wolfgang, Domig Konrad J. A new view of the fish gut microbiome: Advances from next-generation sequencing // *Aquaculture.* - 2015. - Vol. 448. - Pp. 464-475.

148. Ghosh, T. Recent Advances in the Probiotic Application of *Bacillus* as a Potential Candidate in Sustainable Development of Aquaculture // *Aquaculture.* - 2025. - Vol. 594. - Art. no. 741432. - ISSN 0044-8486. - DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.741432.

149. Gibson, G. R., Roberfroid, M. B. Dietary Modulation of Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics // *J. Nutr.* - 1995. - Vol. 125. - P. 1401-1412.

150. Gisbert, E. et al. *Bacillus cereus* Var. *Toyoi* Promotes Growth, Affects Histological Organization and Microbiota of the Intestinal Mucosa in Rainbow Trout Fingerlings // *Journal of Animal Science.* - 2013. - Vol. 91, № 6. - P. 2766-2774.

151. Gomez J.A., Primm T.P. A slimy business: the future of fish skin microbiome studies // *Microbial Ecology.* - 2021. - T. 82. - C. 275-287. - DOI: 10.1007/s00248-020-01648-w.

152. Hoseinifar, S. H., Sun, Y.-Z., Wang, A., Zhou, Z. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review of Current Knowledge and Future Perspectives // *Frontiers in Microbiology*. - 2018. - Vol. 9. - Art. no. 2429. - DOI: 10.3389/fmicb.2018.02429.
153. Huang J., Wei Z., Tan S., Mei X., Shen Q., Xu Y. Suppression of bacterial wilt of tomato by bioorganic fertilizer made from the antibacterial compound producing strain *Bacillus amyloliquefaciens* HR62 // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. - 2014. - T. 62, вып. 44. - С. 10708-10716. DOI: 10.1021/jf503136a.
154. Izvekova, G. I., Izvekov, E. I., Plotnikov, A. O. Symbiotic Microflora in Fishes of Different Ecological Groups // *Biology Bulletin Russian Academy of Sciences*. - 2007. - № 34. - P. 610-618.
155. Jiang X., Long J., et.al. The effect of triclosan on intergeneric horizontal transmission of plasmid-mediated tigeicycline resistance gene tet (X4) from *Citrobacter freundii* isolated from grass carp gut. *Environmental Pollution*, 2024. V. 346. - P. 123658.
156. Kaewklom, S., Lumlert, S., Kraikul, W., Aunpad, R. Control of *Listeria monocytogenes* on Sliced Bologna Sausage Using Novel Bacteriocin, Amysin, Produced by *Bacillus amyloliquefaciens* Isolated from Thai Shrimp Paste (Kapi) // *Food Control*. - 2013. - Vol. 32. - P. 552–557. - DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.01.012.
157. Kaktcham, P. M., Temgoua, J. B., Zambou, M. N., Díaz-Ruiz, G., Wache, C., Pérez-Chabela, M. L. In Vitro Evaluation of the Probiotic and Safety Properties of Bacteriocinogenic and Non-Bacteriocinogenic Lactic Acid Bacteria from the Intestines of Nile Tilapia and Common Carp for Their Use as Probiotics in Aquaculture // *Probiotics Antimicrob. Protections*. - 2018. - Vol. 10, № 1. - P. 98-109.
158. Khanjani, M. H., Mozanzadeh M. T., Gisbert E., Hoseinifar S. H. Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics in Shrimp Aquaculture: Their Effects on Growth Performance, Immune Responses, and Gut Microbiome // *Aquaculture Reports*. - 2024. - Vol. 38. - Art. no. 102362. - DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102362.
159. Kim P.S., Shin N.-R., Lee J.-B., Kim M.-S., Whon T.W., Hyun D.-W., Yun J.-H., Jung M.-J., Kim J.Y., Bae J.-W. Host habitat is the major determinant of the gut

microbiome of fish // *Microbiome*. - 2021. - Т. 9, вып. 1. - Art. no. 166. DOI: 10.1186/s40168-021-01113-x.

160. Lee, T., Pang, S., Abraham, S., Coombs, G. W. Antimicrobial-Resistant CC17 *Enterococcus faecium*: The Past, Present and Future // *J. Global Antimicrob. Resist.* - 2019. - № 16. - P. 36–47. - DOI: 10.1016/j.jgar.2018.08.016.

161. Lei, X. *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. - P. 1315-1332.

162. Li, X. *et al.* The Adherence and Colonization of Microorganisms in Fish Gastrointestinal Tract // *Reviews in Aquaculture*. - 2019. - Vol. 11, № 3. - P. 603-618.

163. Lin, E. R., Cheng, Y. H., Hsiao, F. S. H., Proskura, W. S., Dybus, A., Yu, Y. H. Optimization of Solid-State Fermentation Conditions of *Bacillus licheniformis* and Its Effects on *Clostridium perfringens*-Induced Necrotic Enteritis in Broilers // *Revista Brasileira de Zootecnia*. - 2019. - Vol. 48. - Art. no. e20170298.

164. Mazziotta, C., Tognon, M., Martini, F., Torreggiani, E., Rotondo, J. C. Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health // *Cells*. - 2023. - Vol. 12, № 1. - Art. no. 184. - DOI: 10.3390/cells12010184.

165. Miao Sh., Zhao Ch., Zhu J., Hu J., Dong X., Sun L. Dietary soybean meal affects intestinal homeostasis by altering the microbiota, morphology and inflammatory cytokine gene expression in northern snakehead // *Scientific Reports*. - 2018. - Vol. 8, № 1. - P. 113. DOI: 10.1038/s41598-017-18430-7.

166. Milamena, O. M. *et al.* Pascual Nutrition in Tropical Aquaculture // *Aquaculture Department*. - 2002. - P. 268.

167. Minich J.J., Petrus S., Michael J.D., Michael T.P., Knight R., Allen E.E. Temporal, environmental, and biological drivers of the mucosal microbiome in a wild marine fish, *Scomber japonicus* // *mSphere*. - 2020. - Vol. 5, № 3. - DOI: 10.1128/mSphere.00401-20.

168. Mohammadian, T., Nasirpour, M., Tabandeh, M. R., Heidary, A. A., Ghanei-Motlagh, R., Hosseini, S. S. Administrations of Autochthonous Probiotics Altered

Juvenile Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* Health Status, Growth Performance and Resistance to *Lactococcus garvieae*, *Experimental Infection // Fish Shellfish Immunol.* - 2019. - Vol. 86. - P. 269–279. - DOI: 10.1016/j.fsi.2018.11.052.

169. Mokhtar, D. M. et al. Main Components of Fish Immunity: An Overview of the Fish Immune System // *Fishes.* - 2023. - Vol. 8, № 2. - Art. no. 93.

170. Monteagudo-Mera, A., Rastall, R. A., Gibson, G. R., Charalampopoulos, D., Chatzifragkou, A. Adhesion Mechanisms Mediated by Probiotics and Prebiotics and Their Potential Impact on Human Health // *Applied Microbiology and Biotechnology.* - 2019. - Vol. 103, № 16. - P. 6463-6472.

171. Monzón-Atienza, L., Bravo, J., Serradell-Pastor, A., Acosta-Arbelo, F. Current Status of Probiotics in European Sea Bass Aquaculture as One Important Mediterranean and Atlantic Commercial Species: A Review // *Animals.* - 2023. - Vol. 13, № 14. - Art. no. 2369.

172. Nathanailides, C., Kolygas, M., Choremi, K., Mavraganis, T., Gouva, E., Vidalis, K., Athanassopoulou, F. Probiotics Have the Potential to Significantly Mitigate the Environmental Impact of Freshwater Fish Farms // *Fishes.* - 2021. - Vol. 6, № 4. - Art. no. 76. - DOI: 10.3390/fishes6040076.

173. Nimalan, N. et al. Supplementation of Lactic Acid Bacteria Has Positive Effects on the Mucosal Health of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fed Soybean Meal // *Aquaculture Reports.* - 2023. - Vol. 28. - Art. no. 101461.

174. Oliva-Teles, A. Nutrition and Health of Aquaculture Fish // *Journal of Fish Diseases.* - 2012. - Vol. 35, № 2. - P. 83-108. - DOI: 10.1111/j.1365-2761.2011.01333.x.

175. Orlando, A. et al. *Lactobacillus rhamnosus* GG Protects the Epithelial Barrier of Wistar Rats From the Pepsin-Trypsin-Digested Gliadin (PTG)-Induced Enteropathy // *Nutrients.* - 2018. - Vol. 10, № 11. - Art. no. 1698.

176. Parris N., Bourne D.G., Webster N.S. Whole gut microbiome composition of damselfish and cardinalfish before and after reef settlement // *PeerJ.* - 2016. - Vol. 4, no. e2412. - DOI: 10.7717/peerj.2412.

177. Pereira, W. A., Piazzentin, A. C. M., Oliveira, R. C. d., Mendonça, C. M. N., Tabata, Y. A., Mendes, M. A., Fock, R. A., Makiyama, E. N., Corrêa, B., Vallejo, M.,

Villalobos, E. F., Oliveira, R. P. de S. Bacteriocinogenic Probiotic Bacteria Isolated from an Aquatic Environment Inhibit the Growth of Food and Fish Pathogens // Scientific Reports. - 2022. - Vol. 12, № 1. - Art. no. 5530.

178. Perry W.B., Lindsay E., Payne C.J., Brodie C., Kazlauskaitė R. The role of the gut microbiome in sustainable teleost aquaculture // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. - 2020. - Vol. 287, №. 1926. - DOI: 10.1098/rspb.2020.0184.

179. Picchiatti, S. et al. Early Treatment With *Lactobacillus delbrueckii* Strain Induces an Increase in Intestinal T-Cells and Granulocytes and Modulates Immune-Related Genes of Larval *Dicentrarchus labrax* (L.) // Fish & Shellfish Immunology. - 2009. - Vol. 26, № 3. - P. 368-376.

180. Pridmore, R. D., Pittet, A. C., Praplan, F., Cavadini, C. Hydrogen Peroxide Production by *Lactobacillus johnsonii* NCC 533 and Its Role in Anti-Salmonella Activity // FEMS Microbiol. Lett. - 2008. - Vol. 283. - P. 210-215.

181. Rahayu, S., Amoah, K., Huang, Y., Cai, J., Wang, B., Shija, V. M., Jin, X., Anokyewaa, M. A., Jiang, M. Probiotics Application in Aquaculture: Its Potential Effects, Current Status in China and Future Prospects // Frontiers in Marine Science. - 2024. - Vol. 11. - Art. no. 1455905. - DOI: 10.3389/fmars.2024.1455905.

182. Ran, C., Carrias, A., Williams, M. A., Capps, N., Dan, B. C. T. Identification of *Bacillus* Strains for Biological Control of Catfish Pathogens // PLoS ONE. - 2012. - Vol. 7, № 9. - Art. no. e45793. - DOI: 10.1371/journal.pone.0045793.

183. Rana, M., Mandal, S., Sabita, S. *Spirulina* in Fish Immunity Development: Find the Black Box // Reviews in Fish Biology and Fisheries. - 2024. - P. 1-24.

184. Reda, R. M., El-Hady, M., Selim, K. M., El-Sayed, H. M. Comparative Study of Three Predominant Gut *Bacillus* Strains and a Commercial *B. Amyloliquefaciens* Probiotics on the Performance of *Clarias gariepinus* // Fish Shellfish Immunol. - 2018. - Vol. 80. - P. 416-425. - DOI: 10.1016/j.fsi.2018.06.031.

185. Ringø, E. Probiotics in Shellfish Aquaculture // Aquac. Fish. - 2020. - Vol. 5, № 2. - P. 1–27. - DOI: 10.1016/j.aaf.2019.12.001.

186. Ringø, E., Hoseinifar, S. H., Ghosh, K., Doan, H. V., Beck, B. R., Song, S. K. Lactic Acid Bacteria in Finfish—An Update // *Front. Microbiol.* - 2018. - Vol. 9. - Art. no. 1818. - DOI: 10.3389/fmicb.2018.01818.
187. Roberts, R. J. *Fish Pathology*. Hoboken : John Wiley & Sons, 2012. - 591 p.
188. Servin A.L. Antagonistic activities of lactobacilli and bifidobacteria against microbial pathogens / A.L. Servin [Text] // *FEMS Microbiol. Rev.* - 2004 Oct. - 28(4). - 405-40. PMID: 15374659.
189. Shafique L., Abdel-Latif H.M.R., Hassan F.U., Alagawany M., Naiel M.A.E., Dawood M.A.O., Yilmaz S., Liu Q. The feasibility of using yellow mealworms (*Tenebrio molitor*): towards a sustainable aquafeed industry // *Animals.* - 2021. - T. 11, вып. 811. - С. 34. DOI: 10.3390/ani11030811.
190. Shefat, S. H. T. Probiotic Strains Used in Aquaculture // *Int. Res. J. Microbiol.* - 2018. - Vol. 7, № 2. - P. 43–55.
191. Shokryazdan, P., Faseleh Jahromi, M., Liang, J. B., Ho, Y. W. Probiotics: From Isolation to Application // *Journal of the American College of Nutrition.* - 2017. - Vol. 36, № 8. - P. 666–676. - DOI: 10.1080/07315724.2017.1337529.
192. Simón, R. et al. Mechanisms Used by Probiotics to Confer Pathogen Resistance to Teleost Fish // *Frontiers in Immunology.* - 2021. - Vol. 12. - Art. no. 653025.
193. Soltani, M., Pakzad, K., Taheri-Mirghaed, A., Mirzargar, S., Shekarabi, S. P. H., Yosefi, P., Soleymani, N. Dietary Application of the Probiotic *Lactobacillus plantarum* 426951 Enhances Immune Status and Growth of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Vaccinated Against *Yersinia ruckeri* // *Probiotics Antimicrob. Proteins.* - 2019. - Vol. 11, № 1. - P. 207–219. - DOI: 10.1007/s12602-017-9376-5.
194. Spilsbury F., Foysal J., Tay A., Gagnon M.M. Gut microbiome as a potential biomarker in fish: dietary exposure to petroleum hydrocarbons and metals, metabolic functions and cytokine expression in juvenile *Lates calcarifer* // *Frontiers in Microbiology.* - 2022. - Vol. 13. - DOI: 10.3389/fmicb.2022.827371.

195. Stephenson, S. J., Perego, M. Interaction Surface of the Spo0A Response Regulator with the Spo0E Phosphatase // *Mol. Microbiol.* - 2002. - Vol. 44, № 6. - P. 1455-1467.
196. Sumon, T. A., Hussain, M. A., Sumon, M. A. A., Jang, W. J., Abellan, F. G., Sharifuzzaman, S. M., Brown, C. L., Lee, E.-W., Kim, C.-H., Hasan, M. T. Functionality and Prophylactic Role of Probiotics in Shellfish Aquaculture // *Aquaculture Reports.* - 2022. - Vol. 25. - Art. no. 101220.
197. Tabassum, T., Mahamud, A., Acharjee, T. K. et al. Probiotic Supplementations Improve Growth, Water Quality, Hematology, Gut Microbiota and Intestinal Morphology of Nile Tilapia // *Aquaculture Reports.* - 2021. - № 21.
198. Takahashi, H., Miya, S., Igarashi, K., Suda, T., Kuramoto, S., Kimura, B. Biofilm Formation Ability of *Listeria monocytogenes* Isolates from Raw Ready-to-Eat Seafood // *J. Food Prot.* - 2009. - Vol. 72, № 7. - P. 1476-1480.
199. Talwar C., Nagar S., Lal R., Negi R.K. Fish Gut Microbiome: Current Approaches and Future Perspectives // *Indian J Microbiol.* - 2018. - Vol. 58, №. 4. - C. 397-414. DOI: 10.1007/s12088-018-0760-y.
200. Tamilselvan, M., Raja, S. Exploring the Role and Mechanism of Potential Probiotics in Mitigating the Shrimp Pathogens // *Saudi Journal of Biological Sciences.* - 2024. - Vol. 31, № 3. - Art. no. 103938. - DOI: 10.1016/j.sjbs.2024.103938.
201. Tan S., Gu Y., Yang C., Dong Y., Mei X., Shen Q., Xu Y. *Bacillus amyloliquefaciens* T-5 may prevent *Ralstonia solanacearum* infection through competitive exclusion // *Biology Fertility Soils.* - 2016. - Vol. 52, №. 3. - C. 341–351. - DOI: 10.1007/s00374-015-1079-z.
202. Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P. et al. Probiotic Bacteria as Biological Control Agents in Aquaculture // *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* - 2000. - Vol. 64, № 4. - P. 655–671. - DOI: 10.1128/MMBR.64.4.655-671.2000.
203. Viaud Sophie, Saccheri F., [et.al.] The intestinal microbiota modulates the anticancer immune effects of cyclophosphamide // *Science.* - 2013. - No. 6161. - Pp. 971-976. - DOI: 10.1126/science.1240537.

204. Vinderola G., Sanders M.E., Cunningham M., Hill C. Frequently asked questions about the ISAPP postbiotic definition // *Front Microbiol.* - 2024. - Vol. 14. - DOI: 10.3389/fmicb.2023.1324565.
205. Volkoff H., Rønnestad I. Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish // *Temperature (Austin)*. - 2020. - № 7(4). - C. 307–320. - DOI: 10.1080/23328940.2020.1765950.
206. Wang, Y. Use of Probiotics *Bacillus coagulans*, *Rhodopseudomonas palustris* and *Lactobacillus acidophilus* as Growth Promoters in Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) Fingerlings // *Aquaculture Nutrition*. - 2011. - № 17. - P. 372-378. - DOI: 10.1111/anu.2011.17.issue-2.
207. Wanka, K. M., Damerau, T., Costas, B., Krüger, A., Schulz, C., Würtz, S. Isolation and Characterization of Native Probiotics for Fish Farming // *BMC Microbiology*. - 2018. - Vol. 18, № 1. - Art. no. 19. - DOI: 10.1186/s12866-018-1260-2.
208. Williams, N., Weir, T. L. Spore-Based Probiotic *Bacillus subtilis*: Current Applications in Humans and Future Perspectives // *Fermentation*. - 2024. - Vol. 10, № 2. - Art. no. 78.
209. Wuertz, S., Schroeder, A., Wanka, K. M. Probiotics in Fish Nutrition—Long-Standing Household Remedy or Native Nutraceuticals? // *Water*. - 2021. - Vol. 13, № 10. - Art. no. 1348.
210. Xia, Y. et al. Effects of Dietary *Lactobacillus rhamnosus* JCM1136 and *Lactococcus lactis* Subsp. *lactis* JCM5805 on the Growth, Intestinal Microbiota, Morphology, Immune Response and Disease Resistance of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* // *Fish & Shellfish Immunology*. - 2018. - Vol. 76. - P. 368-379.
211. Xue, L., Sun, B., Yang, Y., Jin, B., Zhuang, G., Bai, Z., Zhuang, X. Efficiency and Mechanism of Reducing Ammonia Volatilization in Alkaline Farmland Soil Using *Bacillus amyloliquefaciens* Biofertilizer // *Environmental Research*. - 2021. - Vol. 202. - Art. no. 111672.

212. Yang, G. et al. Dietary Supplementation of *Bacillus cereus* as Probiotics in Pengze Crucian Carp (*Carassius auratus* var. Pengze): Effects on Growth Performance, Fillet Quality, Serum Biochemical Parameters and Intestinal Histology // *Aquaculture Research*. - 2019. - Vol. 50, № 8. - P. 2207-2217.
213. Yang, H., Yang, Y., Dong, Y., Ito, K., Zhang, B. Highly Nutrient Diet Resistant to *Salmonella typhimurium* Infections by Improving Gut Microbiota and Morphology in Broiler Chickens // *Poultry Science*. - 2020. - Pp. 7055-7065.
214. Zare R., Abedian Kenari A., Yazdani Sadati M. Influence of dietary acetic acid, protexin (probiotic), and their combination on growth performance, intestinal microbiota, digestive enzymes, immunological parameters, and fatty acids composition in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) // *Aquaculture International*. - 2021. - T. 29. - C. 891-910.
215. Zhang, J. et al. Effects of Dietary *Bacillus licheniformis* on Growth Performance, Intestinal Morphology, Intestinal Microbiome, and Disease Resistance in Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) // *Aquaculture International*. - 2021. - Vol. 29. - P. 1343-1358.
216. Zhang, J., Huang, M., Feng, J., Chen, Y., Li, M., Chang, X. Effects of Dietary *Bacillus licheniformis* on Growth Performance, Intestinal Morphology, Intestinal Microbiome, and Disease Resistance in Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) // *Aquaculture International*. - 2021. - Vol. 29. - DOI: 10.1007/s10499-021-00701-w.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Акт о внедрении результатов диссертационной работы  
ООО «Новая аквакультура»

**« Новая Аквакультура »****ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**

625032, г. Тюмень  
ул. 3-й проезд Губернский, д.28  
ОГРН 1177232017016  
ИНН 7203421399 /КПП 720301001  
E-mail: nov.akva@yandex.ru  
Тел: 8-982-938-72-72

р/с № 40702810211150000664  
к/с № 3010181045250000411  
Ф-л "Центральный" БАНК ВТБ  
(ПАО) г. Москва  
БИК 044525411

УТВЕРЖДАЮ:

Директор  
ООО «Новая аквакультура»

Е.Ю. Шипицын

26.06.2025 г



АКТ

**внедрения результатов исследований кандидатской диссертационной  
работы Цицкиевой Марины Руслановны**

Настоящим удостоверяется, что рекомендации, содержащиеся в диссертационном исследовании Цицкиевой Марины Руслановны, были апробированы и внедрены на рыбноводном предприятии ООО «Новая аквакультура» при выращивании молоди стерляди в установках замкнутого водоснабжения для воспроизводства и проведения компенсационных мероприятий.

Выращивание молоди стерляди с использованием пробиотических композиций позволило:

- повысить активность нитрифицирующих бактерий и снизить уровень органического загрязнения воды;

## Продолжение приложения А

- улучшить усвояемость питательных веществ корма за счет повышенной активности пищеварительных гидролаз и оптимизации кишечного микробиоценоза;

- повысить показатели прироста молоди и сократить период их выращивания до выпуска в природные водоемы.

Эффект от использования результатов исследования представляет собой важный вклад в развитие работы с редкими видами рыб позволяющий добиться:

- оптимизации условий выращивания молоди осетровых рыб;

- высокой сохранности, позволяющий увеличить объем выращиваемой молоди для воспроизводства и проведения компенсационных мероприятий;

- повышения однородности выращиваемой молоди и их выживаемости в условиях природных водоемов.

Главный рыбовод

ООО «Новая аквакультура»



Бердюгин А.А.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б****Акт о внедрении результатов диссертационной работы ООО «Радужный»**

Компания ООО «РАДУЖНЫЙ», адрес: Кабардино-Балкарская Респ, м.р-н Майский, с.п. станция Котляревская, ст-ца Котляревская, ул. Лебедевых, зд. 87 зарегистрирована 04.12.2023. Организации присвоены ИНН 0700013566, ОГРН 1230700006096, КПП 070001001



УТВЕРЖДАЮ:  
Генеральный директор  
ООО «Радужный»

Беждугов В.Ш.

01.08.2025 г

**АКТ****внедрения результатов исследований кандидатской диссертационной  
работы Цицкиевой Карины Руслановны**

Настоящим удостоверяется, что рекомендации, содержащиеся в диссертационном исследовании Цицкиевой Карины Руслановны, были апробированы и внедрены на рыбноводном предприятии ООО «Радужный» при товарном выращивании молоди форели в условиях проточного водоснабжения.

Применение пробиотических композиций при выращивании молоди радужной форели позволило:

- повысить активность пищеварительных ферментов и усвояемость питательных веществ корма;
- повысить показатели прироста молоди, сократить период их выращивания до товарной массы.

Эффект от использования результатов исследования представляет собой важный вклад в обеспечении:

- высокой сохранности и высоких показателей прироста молоди, позволяющих увеличить объем производства товарной рыбы;
- пищевой безопасности товарной рыбы;
- эффективности выращивания товарной рыбы в условиях проточного водоснабжения.

Рыбовод ООО «Радужный»

Милязимов Р. К.