

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1534

EDN: UMEMLO

УДК 639.3.05



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИКОВ В СОСТАВЕ КОРМА НА РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФОРЕЛИ *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1792) В ПЕРИОД РАННЕГО ОНТОГЕНЕЗА

*Д.В. Рудой, А.В. Ольшеская, В.Н. Шевченко,
Т.А. Мальцева, Д.А. Козырев, М.С. Мазанко*

Аннотация

Обоснование. Вопросы повышения продуктивности в различных отраслях сельского хозяйства, в особенности сектора аквакультуры, в настоящее время является приоритетной задачей многих научных коллективов в России и в других странах. Интенсификация производства неизбежно приводит к снижению резистентности объектов аквакультуры, что делает их восприимчивыми к различным патогенным агентам, в результате чего снижается общая продуктивность производства. Применение пробиотиков в биотехнологическом цикле выращивания позволяет снизить негативные эффекты интенсификации.

Неоднократно было высказано мнение, что наибольший эффект на организм рыб оказывают штаммы бактерий с пробиотическими свойствами, которые изначально были характерны для рассматриваемого организма и среды его обитания. В настоящей работе рассмотрены эффекты пробиотических штаммов бактерий, выделенных из донных отложений в местах постоянного обитания рыб.

Цель исследования заключалась в изучении влияния пробиотиков в составе корма на рыбоводно-биологические показатели форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) в период раннего онтогенеза.

Материалы и методы. Площадкой для проведения эксперимента послужило рыбоводное предприятие индустриального типа, расположенное в Ростовской области. Объектом исследования являлись 100 000 экз. личинок радужной форели *O. mykiss* в возрасте 29 суток, которые в случайном порядке были распределены на 2 группы (контроль и опыт).

Продолжительность эксперимента составила 30 суток. Рацион особей включал стартовые комбикорма для молоди лососевых рыб с размером круп-ки 0,2 мм с содержанием сырого протеина 58,0%.

Опытная группа в составе рациона получала пробиотическую добавку с 2 штаммами бактерии *Bacillus subtilis* (штамм МТ48 и МТ74). Содержание бактериальных клеток в готовом корме составляло $7,3 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Бонитировку, в ходе которой оценивали морфометрические показатели рыб, проводили 2 раза за период эксперимента: в начале и по завершению. Для оценки эффективности введения пробиотика в состав рациона проводился расчет рыбоводных коэффициентов: коэффициент упитанности по Фультону, индивидуальный прирост массы, общий прирост биомассы, коэффициент конверсии корма и выживаемость.

Результаты. Добавление пробиотиков на основе *B. subtilis* (штаммы МТ48 и МТ74) в корм личинок *O. mykiss* привело к значительному улучшению рыбо-водно-биологических показателей. В опытной группе наблюдалось увеличе-ние средней индивидуальной массы рыб на 12,68% и длины тела по сравнению с контрольной группой.

Выживаемость личинок в опытной группе была выше на 19,41%, а об-щий прирост биомассы увеличился на 38,31%. Коэффициент конверсии корма снизился с 1,69 кг/кг в контрольной группе до 1,04 кг/кг в опытной группе, что свидетельствует о более эффективном использовании корма. Статистический анализ подтвердил достоверность различий между груп-пами ($p < 0,05$).

Заключение. Проведённое исследование подтвердило эффективность при-менения пробиотиков на основе *B. subtilis* (штаммы МТ48 и МТ74) в кормле-нии личинок *O. mykiss*.

Включение пробиотической добавки в рацион способствовало значи-тельному улучшению ключевых рыбоводно-биологических показателей: увеличению массы и длины тела, повышению выживаемости и снижению коэффициента конверсии корма.

Ключевые слова: *Oncorhynchus mykiss*; *Bacillus subtilis*; аквакультура; фо-рель; пробиотики; рыбоводство; интенсификация

Для цитирования. Рудой, Д. В., Ольшевская, А. В., Шевченко, В. Н., Маль-цева, Т. А., Козырев, Д. А., & Мазанко, М. С. (2025). Влияние пробиотиков в составе корма на рыбоводно-биологические показатели форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) в период раннего онтогенеза. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-2), 48-65. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1534>

Original article

THE EFFECT OF PROBIOTIC-ENRICHED FEED ON AQUACULTURE-BIOLOGICAL PARAMETERS OF RAINBOW TROUT *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1792) DURING EARLY ONTOGENY

*D.V. Rudoy, A.V. Olshevskaya, V.N. Shevchenko,
D.A. Kozyrev, T.A. Maltseva, M.S. Mazanko*

Abstract

Background. The issues of increasing productivity in various sectors of agriculture, especially the aquaculture sector, are currently a priority for many research teams in Russia and other countries. The production intensification inevitably leads to a decrease in the resistance of aquaculture objects, which makes them susceptible to various pathogenic agents, resulting in a decrease in overall production efficiency. The use of probiotics in the biotechnological farming cycle can reduce the negative effects of intensification. It has been repeatedly suggested that bacterial strains with probiotic properties, which were originally characteristic of the organism in question and its habitat, have the greatest effect on the fish body. In this paper, the effects of probiotic bacterial strains isolated from bottom sediments in fish habitats are considered.

Purpose. The aim of the study was to study the effect of probiotics in the feed on the fish-breeding and biological parameters of trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) during the early ontogenesis.

Materials and methods. The experimental site was an industrial-type fish hatchery located in the Rostov region. The object of the study was 100,000 species of *O. mykiss* rainbow trout larvae aged 29 days, which were randomly divided into 2 groups (control and experiment). The duration of the experiment was 30 days. The diet of the individuals included starter feeds for juvenile salmon with a grain size of 0.2 mm and a crude protein content of 58.0%. The experimental group received a probiotic supplement with 2 strains of the bacterium *Bacillus subtilis* (strains MT48 and MT74) as a part of the diet. The content of bacterial cells in the finished feed was $7.3 \cdot 10^6$ CFU/g. The valuation, during which the morphometric parameters of the fish were evaluated, was carried out 2 times during the experiment period: at the beginning and at the end. To assess the effectiveness of probiotic implementation in the diet, fish farming coefficients were calculated: Fulton's fatness coefficient, individual weight gain, total biomass gain, feed conversion rate and survival rate.

Results. The addition of probiotics based on *B. subtilis* (strains MT48 and MT 74) to the feed of *O. mykiss* larvae led to a significant improvement in fish biological parameters. In the experimental group, there was an increase in the average individual fish weight by 12.68% and body length compared with the control group. The survival rate of larvae in the experimental group was higher by 19.41%, and the total increase in biomass increased by 38.31%. The feed conversion rate decreased from 1.69 kg/kg in the control group to 1.04 kg/kg in the experimental group, indicating a more efficient use of feed. The statistical analysis confirmed the significance of the differences between the groups ($p < 0.05$).

Conclusion. The study confirmed the effectiveness of probiotics based on *B. subtilis* (strains MT48 and MT 74) in feeding *O. mykiss* larvae. The inclusion of probiotic supplements in the diet contributed to a significant improvement in key fish-breeding and biological parameters: an increase in body weight, length and survival rate and a decrease in feed conversion rate.

Keywords: *Oncorhynchus mykiss*; *Bacillus subtilis*; aquaculture; trout; probiotics; fish farming; intensification

For citation. Rudoy, D. V., Olshevskaya, A. V., Shevchenko, V. N., Kozyrev, D. A., Maltseva, T. A., & Mazanko, M. S. (2025). The effect of probiotic-enriched feed on aquaculture-biological parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) during early ontogeny. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-2), 48-65. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1534>

Введение

Увеличение численности населения и связанные с этим продовольственные потребности заставили многие страны обратить взгляд на аквакультуру как на важный источник пополнения своих продовольственных ресурсов. Более того, высокое качество продуктов аквакультуры для питания человека сделало аквакультуру быстрорастущим сектором пищевой промышленности, ежегодно увеличивающимся на 8% [1]. Фермеры стремятся увеличить плотность посадки некоторых видов, таких как радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*), чтобы повысить производство рыбы. Однако высокая плотность негативно влияет на здоровье, выживаемость, показатели роста и качество продукции радужной форели [2; 3]. Одним из наиболее негативных последствий высокой плотности является увеличение популяции патогенных микроорганизмов. В последние десятилетия безответственное использование антибиотиков для уничтожения этих микроорганизмов привело к появлению многочисленных устойчивых бактерий [4; 5]. В этом смысле добавление в рацион рыбы некоторых

альтернативных иммуностимуляторов, таких как пробиотики для укрепления иммунной системы, является подходящей заменой. Пробиотики могут помочь заменить или минимизировать применение антибиотиков и химиотерапевтических препаратов в рыбоводстве [6-8]. Включение пробиотиков в рацион является ключевым шагом для защиты выращиваемой рыбы от стресса или инфекций в условиях рыбоводства [9]. Пробиотики приносят пользу организму, улучшая устойчивость к болезням, состояние здоровья, показатели роста, усвоение корма и реакцию на стресс при добавлении в корм или воду для выращивания [10].

Радужная форель *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) является одним из ключевых объектов современной аквакультуры благодаря быстрому росту и востребованности на мировом рынке. В 2019 г. глобальное производство этого вида достигло 940 000 тонн, что подтверждает его экономическую значимость [11]. Однако интенсивные методы выращивания сопряжены с рядом проблем, включая стрессовые факторы, повышенную заболеваемость и снижение продуктивности, особенно на критически важных ранних этапах онтогенеза.

В последние годы особое внимание исследователей привлекает применение пробиотиков как экологически безопасной альтернативы антибиотикам. Многочисленные исследования подтвердили их положительное воздействие на объекты аквакультуры, включая улучшение микробиоценоза кишечника, модулирование иммунной системы, повышение эффективности потребления корма [13].

Особый интерес представляют «автохтонные» штаммы, например, как *Carnobacterium* sp. (штамм K1), выделенные из кишечника лососевых. Доказано, что их применение значительно повышает выживаемость молоди при бактериальных инфекциях (вызванных *Aeromonas salmonicida*, *Vibrio ordalii*, *Yersinia ruckeri*) [14].

Несмотря на значительный объем накопленных данных, большинство работ посвящено изучению влияния пробиотиков на взрослых особей, тогда как их роль в оптимизации рыбоводно-биологических показателей на ранних стадиях развития (личиночный и мальковый периоды) изучена недостаточно. Этот пробел в знаниях особенно значим, учитывая, что именно ранний онтогенез является критическим периодом для формирования устойчивости и дальнейшего роста рыбы.

Важность применения пробиотиков и их положительное влияние на здоровье широко обсуждаются в научной литературе. В обзоре van Doan с соавторами [15], посвященном пробиотикам, авторы отмечают, что бак-

терии, изначально выделенные из воды или желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), имеют определенные преимущества, среди которых наиболее значимыми являются увеличение темпов роста, повышение ферментативной активности в ЖКТ, подавление адгезии и колонизации патогенов в ЖКТ, улучшение гематологических показателей и иммунного ответа.

Цель. Изучение влияния пробиотиков в составе корма на рыбоводно-биологические показатели форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) в период раннего онтогенеза.

Материалы и методы

Исследование одобрено Локальным независимым этическим комитетом Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация). В ходе экспериментов соблюдались рекомендации по гуманному и этичному обращению с лабораторными животными, в том числе, в соответствии с Директивой 2010/63/ЕС Европейского парламента и совета от 22.09.2010 «О защите животных, используемых в научных целях».

Эксперимент проводили в условиях индустриального рыбоводного предприятия, расположенного в Красносулинском районе Ростовской области. В качестве объекта исследования была выбрана радужная форель *O. mykiss* в возрасте 29 суток с момента выклева. Всего в эксперименте было задействовано 100 000 экз. личинок (группа 1 – контроль, группа 2 - опыт), которые были распределены в случайном порядке на 2 экспериментальные рыбоводные емкости (лотки) прямоугольной формы, изготовленные из полипропилена. Плотность посадки в лотках составляла 10 000 экз./м². Водоснабжение экспериментальных лотков осуществлялось по прямоточному типу, водоисточником являлись подземные воды. Продолжительность эксперимента составила 30 суток (31.05.2024 - 30.06.2024). В ходе эксперимента ежедневно проводили измерения концентрации растворенного в воде кислорода (O₂, мг/л), а также температуры воды (°C) с помощью портативного термооксиметра Анион-7040 («НПП Инфраспек-Аналит», г. Новосибирск, Российская Федерация).

Рацион особей включал стартовые комбикорма для молоди лососевых рыб с размером частицы 0,2 мм. Изготовление кормов производилось в лаборатории «Технологическая линия производства кормов» Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация). Производство экспериментальных кормов состояло из сле-

дующих этапов: взвешивание компонентов в соответствии с рецептурой, смешивание сухих компонентов кормов, увлажнение до массовой доли влаги 12%, гранулирование, охлаждение и просеивание гранул, обмасливание гранул под вакуумом, измельчение гранул, просеивание полученной крупки на наборе сит, повторное измельчение и просеивание крупной фракции.

Изготовленные корма характеризовались следующими показателями: сырой протеин – 58,0%, сырой жир – 13,0%, клетчатка – 0,30%, зола – 9,20%, кальций – 1,67%, фосфор – 1,25%, натрий – 0,57%. 2 группа рыб (опыт) дополнительно в составе корма получала пробиотическую добавку (0,1% от массы корма), полученную путем твердофазной ферментации соевых бобов. Пробиотический препарат содержал 2 штамма бактерии *Bacillus subtilis* (MT48 и MT74) с антиоксидантными свойствами с концентрацией $7,3 \cdot 10^9$ КОЕ/г. Содержание бактериальных клеток в корме составляло $7,3 \cdot 10^6$ КОЕ/г.

Кормление рыб выполнялось ежедневно, с интервалом через каждые 2 часа (12 раз в сутки). Суточная норма составляла 10% от предполагаемой биомассы рыб.

Для снижения хэндлинга контрольные измерения рыб (бонитировки) проводились 2 раза за период эксперимента: в начале и по завершению. В ходе бонитировки оценивали массу рыб (m , г) с использованием лабораторных весов II класса точности BEL LG- 2202i с дискретностью 0,01 г (ChangZhou XingYun Electronic Equipment Co., Китай), а также проводили измерения длины тела до конца чешуйного покрова (L , мм) при помощи штангенциркуля.

Для оценки эффективности кормления производили расчет следующих показателей:

– коэффициент упитанности по Фультону (Q_F , усл. ед.) согласно формуле:

$$Q_F = \frac{m * 100}{l^3}$$

– индивидуальный прирост биомассы (WGi , г) с применением формулы:

$$WGi = m_1 - m_0$$

– общий прирост биомассы (WGt , кг) согласно:

$$WGt = M_1 - M_0$$

– коэффициент конверсии корма (FCR , кг/кг) на основании формулы:

$$FCR = M_f / WGt$$

– выживаемость рыб (S , %) оценивали с применением формулы:

$$S = 100 * \frac{N_1}{N_0}$$

где t – продолжительность эксперимента, суток; l_1 – длина в конце эксперимента, см; l_0 – длина в начале эксперимента, см; m_1 – масса в конце эксперимента, г; m_0 – масса в начале эксперимента, г; N_1 – количество рыб в конце эксперимента, экз.; N_0 – количество рыб в начале эксперимента, экз.; M_f – масса корма, затраченного в ходе проведения эксперимента, кг; M_1 – биомасса рыб в конце эксперимента кг; M_0 – биомасса рыб в начале эксперимента, кг; m – масса, г; l – длина, см.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Первичный анализ включал проверку нормальности распределения с применением критериев Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова при уровне значимости $\alpha=0,05$. Визуальную оценку распределения проводили по гистограммам с наложением кривой нормального распределения и Q-Q графикам. Для сравнительного анализа групп использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни с коррекцией на непрерывность, что обусловлено особенностями распределения биометрических показателей. Расчет включал определение суммы рангов, U-статистики, Z-критерия с вычислением точного уровня значимости (p-value) и размера эффекта ($r=Z/\sqrt{n}$). Визуализацию результатов осуществляли посредством диаграмм размаха (box-plot), отображающих медиану, межквартильный размах (25-75 процентиля) и диапазон нормальных значений (1,5 IQR). Особое внимание уделяли контролю качества данных, включавшему двойной ввод 10% случайной выборки, визуальную верификацию распределений и перекрестную проверку результатов альтернативными методами в пакете R 4.0.2. Мощность исследования при объеме выборки $n=50$ в каждой группе составляла 85% для обнаружения эффекта среднего размера ($d=0,5$) при $\alpha=0,05$.

Результаты исследования

В период проведения эксперимента гидробионты находились в схожих условиях: температура воды в лотках с контрольной и опытной группами рыб составляла в среднем $12,9 \pm 0,16$ °C. Концентрация растворенного в воде O_2 в лотках за период эксперимента в среднем составила $12,0 \pm 0,22$ мг/л (рисунок 1). pH воды составляла $7,5-7,6$ ($7,57 \pm 0,04$). Создание подобных схожих условий способствовало проведению эксперимента, в ходе которого получены репрезентативные данные об изменении морфометри-

ческих и рыбоводно-биологических характеристик рыб при введении в рацион мультиштаммового пробиотического препарата на основе *B. subtilis* (штаммы МТ48, МТ74).

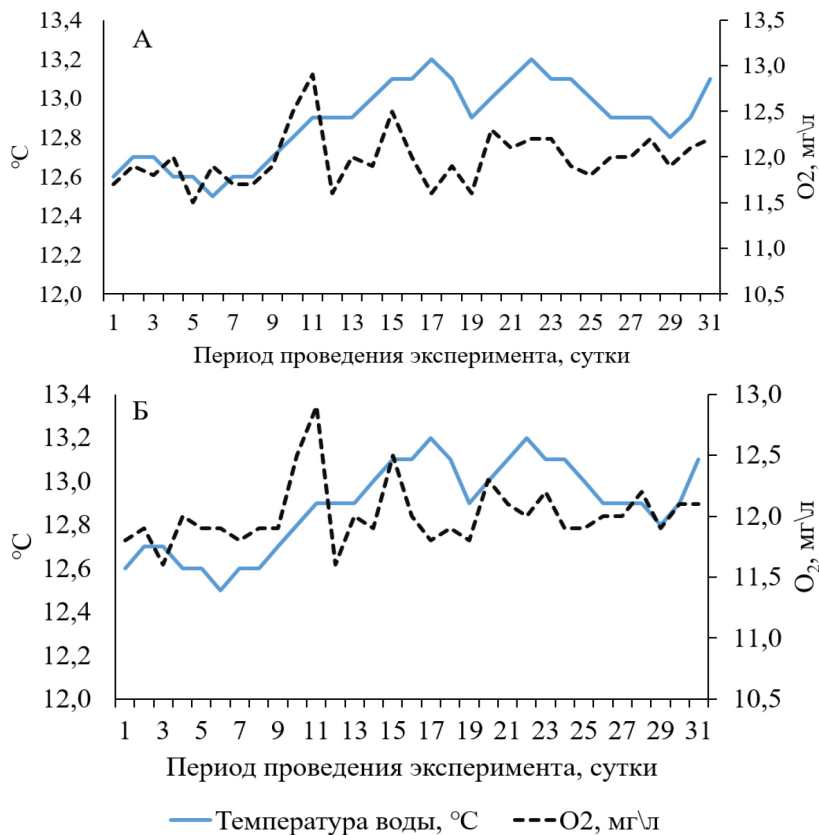


Рис. 1. Температура воды (°C) и концентрация растворенного в воде кислорода (O₂, мг/л) в период проведения эксперимента

На протяжении экспериментального периода в контрольной и опытной группах отсутствовали случаи заболеваний, все особи сохраняли клиническое здоровье. Наблюдалась стабильная пищевая активность, проявляющаяся в латентном периоде реакции на корм менее 3 секунд. В таблице 1 представлены морфометрические и основные рыбоводно-биологические параметры *O. mykiss*, задействованных в эксперименте.

Таблица 1.

**Изменение морфометрических характеристик личинок
форели *O. mykiss* в ходе эксперимента**

Параметр, ед. изм.	Начало эксперимента (1 сутки)		Окончание эксперимента (30 суток)	
	контрольная группа	опытная группа	контрольная группа	опытная группа
морфометрические характеристики				
Средняя индивидуаль- ная масса рыб, г	0,111±0,032	0,101±0,022	0,799±0,170	0,915±0,155
min, г	0,057	0,050	0,447	0,605
max, г	0,191	0,161	1,402	1,836
Средняя индивидуаль- ная длина рыб, см	2,314±0,135	2,304±0,097	3,664±0,197	3,824±0,185
min, см	2,000	2,000	3,1	3,3
max, см	2,600	2,500	4,5	4,4
Коэффициент упитан- ности по Фультону, усл. ед.	0,875±0,157	0,813±0,111	1,661±0,427	1,664±0,371
основные рыбоводно-биологические характеристики				
Индивидуальный при- рост биомассы (WGt), г	-	-	0,688	0,814
Общий прирост био- массы (WGt), кг	-	-	14,185	22,994
Коэффициент конвер- сии корма (FCR), кг/кг	-	-	1,69	1,04
Выживаемость (S), %	-	-	49,4	61,3

Статистический анализ данных 30-суточного эксперимента по оценке влияния пробиотической кормовой добавки на рост личинок форели выявил значимые изменения ключевых морфометрических показателей. Исследование включало комплексный анализ распределения данных и сравнение групп с использованием современных методов визуализации и статистических критериев.

Анализ нормальности распределения показателя массы тела, представленный на гистограммах (рисунок 2.2 – контрольная группа, рисунок 2.4 – опытная группа) и подтвержденный Q-Q графиками (рисунок 2.5, рисунок 2.3), показал соответствие нормальному закону распределения (критерий Шапиро-Уилка: $p > 0,05$; критерий Колмогорова-Смирнова: $p > 0,05$ для обеих групп). Диаграмма размаха (рисунок 2.1) наглядно демонстрирует различия между группами: в опытной группе наблюдается смещение медианы в об-

ласть более высоких значений при одновременном уменьшении межквартильного размаха, что свидетельствует не только об увеличении средней массы, но и о большей однородности показателей в группе, получавшей пробиотик.

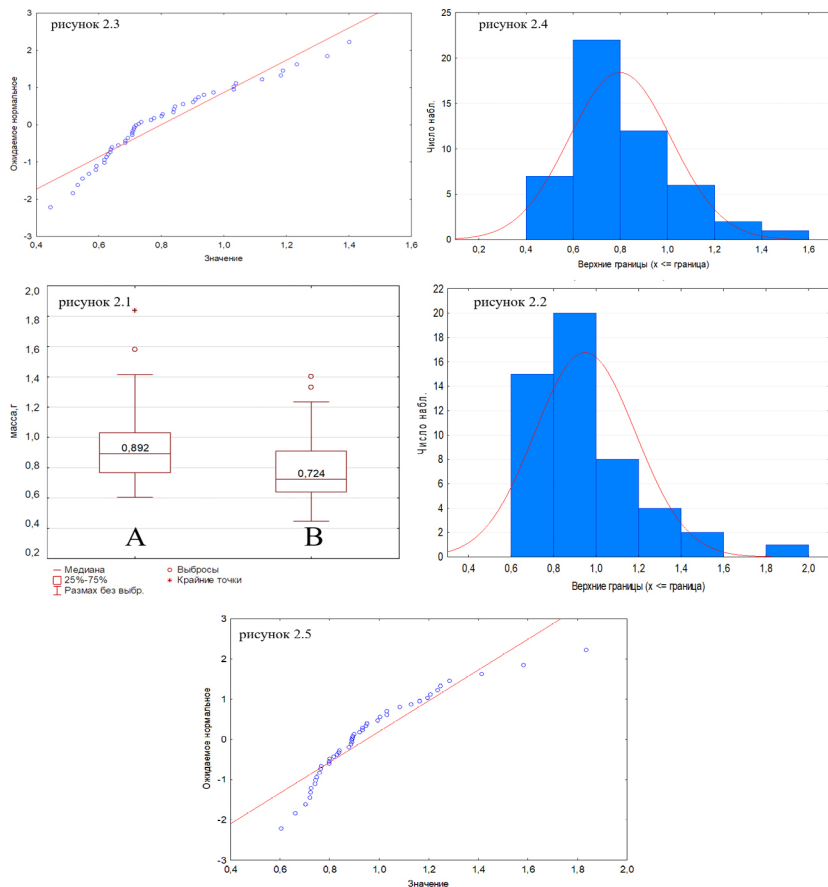


Рис. 2. 2.1. Диаграмма размаха для средней индивидуальной массы рыб в группах «контроль» (А) и «опыт» (В); 2.2 – гистограмма нормальности распределения данных для средней индивидуальной массы рыб в группе «контроль»; 2.3 – график нормальности распределения данных для средней индивидуальной массы рыб для группы «опыт»; 2.4 – гистограмма нормальности распределения данных для средней индивидуальной массы рыб в группе «опыт»; 2.5 – график нормальности распределения данных для средней индивидуальной массы рыб для группы «контроль»

Аналогичные закономерности выявлены для показателя длины тела. Гистограммы распределения (рисунок 3.2, рисунок 3.4) и соответствующие Q-Q графики (рисунок 3.3, рисунок 3.5) подтверждают нормальность распределения данных. Диаграмма размаха (рисунок 3.1) визуализирует достоверное увеличение медианных значений длины в опытной группе при сохранении нормального характера распределения.

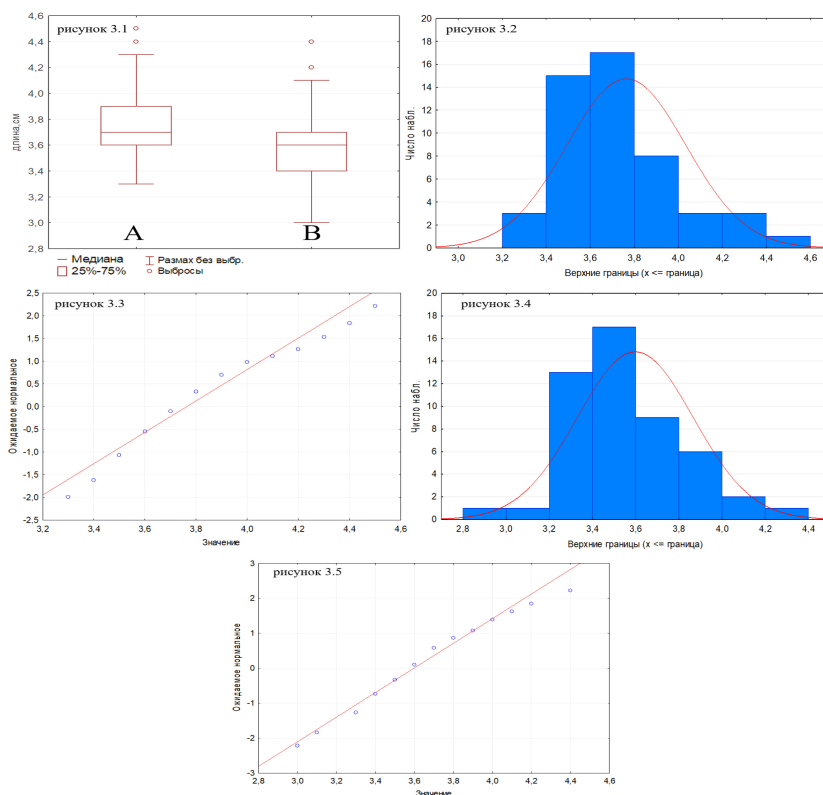


Рис. 3.3.1. Диаграмма размаха для средней индивидуальной длины рыб в группах «контроль» (A) и «опыт» (B); 3.2 – гистограмма нормальности распределения данных для средней индивидуальной длины рыб в группе «контроль»; 3.3 – график нормальности распределения данных для средней индивидуальной длины рыб для группы «контроль»; 3.4 – гистограмма нормальности распределения данных для средней индивидуальной длины рыб в группе «опыт»; 3.5 – график нормальности распределения данных для средней индивидуальной длины рыб для группы «опыт»

Результаты статистического анализа с использованием U-критерия Манна-Уитни показали высокую значимость различий между группами. Для показателя массы тела зафиксированы следующие значения: сумма рангов 3045,50 (контроль) против 2004,50 (пробиотик), $U = 729,50$ ($Z = 3,58$; $p = 0,000337$). Для показателя длины тела: сумма рангов 2969,00 (контроль) против 2081,00 (пробиотик), $U = 806,00$ ($Z = 3,06$; $p = 0,002$). Размер эффекта для обоих показателей соответствовал средней величине ($r = 0,36$ и $r = 0,31$ соответственно), что подтверждает не только статистическую, но и практическую значимость полученных результатов.

Обсуждение и заключение

В ходе исследования установлены различия в морфометрических и основных рыбоводно-биологических характеристиках у младших возрастных групп радужной форели *O. mykiss* между контрольной и опытной группами. Особи, получавшие в рационе мультиштаммовый пробиотик на основе бактерий *B. subtilis* (штаммы МТ48 и МТ74) с антиоксидантными свойствами, продемонстрировали высокую выживаемость одновременно со снижением коэффициента конверсии корма. Выживаемость в опытной группе была выше, чем в контрольной на 19,41%. Личинки представляют наиболее уязвимую стадию развития, в связи с чем снижение смертности напрямую увеличивает выход товарной продукции и окупаемость затрат на корма.

Результаты исследования демонстрируют увеличение продуктивности в опытной группе, где было зафиксировано повышение выживаемости, а также увеличение средней индивидуальной массы особей (на 12,68%). Совокупное влияние этих факторов привело к значительному (на 38,31%) возрастанию общего прироста биомассы по сравнению с контрольной группой.

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, демонстрирующих положительное влияние пробиотических добавок на продуктивность в аквакультуре. В частности, Gołaś I. с соавторами [12] наблюдали увеличение удельной скорости роста молоди *O. mykiss* на 15% при введении в рацион пробиотического штамма *Carnobacterium maltaromaticum* по сравнению с контрольной группой, получавшей стандартный корм. Эти данные подтверждают эффективность применения пробиотиков для оптимизации роста и развития объектов аквакультуры. В исследовании Wang и соавторов [16] продемонстрировано, что добавление пробиотического штамма *B. subtilis* RT-BS07 в рацион молоди *O. mykiss* повышало массонакопление до 118,2% от контрольных значений. Кроме того, было установлено увеличение устойчивости рыб к *Aeromonas*

hydrophila, что свидетельствует об иммуномодулирующем свойстве данного пробиотического препарата.

Проведённое исследование подтвердило эффективность применения пробиотиков на основе *B. subtilis* (штаммы МТ48 и МТ74) в кормлении личинок *O. mykiss*. Включение пробиотической добавки в рацион способствовало значительному улучшению ключевых рыбоводно-биологических показателей: увеличению массы и длины тела, повышению выживаемости и снижению коэффициента конверсии корма.

Полученные результаты демонстрируют, что использование пробиотиков в раннем онтогенезе форели имеет важное значение для интенсификации аквакультуры. Данный подход может быть рекомендован для внедрения в рыбоводных хозяйствах с целью повышения продуктивности и экономической эффективности производства.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках реализации гранта № 23-76-30006 «Стратегия молекулярной аквакультуры в разработке новых синбиотических препаратов для улучшения здоровья и качества рыбы».

Список литературы / References

1. FAO. *Food and agriculture organization of the United Nations*. Rome. <https://www.fao.org/home/en>
2. Long, L., et al. (2019). Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in a recirculating aquaculture system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 219, 25–34.
3. Mirghaied, A. T., Hoseini, S. M., & Ghelichpour, M. (2018). Effects of dietary 1,8-cineole supplementation on physiological, immunological and antioxidant responses to crowding stress in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 81, 182–188.
4. Santos, L., & Ramos, F. (2018). Antimicrobial resistance in aquaculture: Current knowledge and alternatives to tackle the problem. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 52(2), 135–143.
5. Xiong, W., et al. (2015). Antibiotics, antibiotic resistance genes, and bacterial community composition in fresh water aquaculture environment in China. *Microbial Ecology*, 70(2), 425–432.

6. Hai, N. V. (2015). The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*, 119(4), 917–935.
7. Dawood, M. A. O., et al. (2019). Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 907–924.
8. Dawood, M. A. O., Koshio, S., & Esteban, M. Á. (2018). Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: A review. *Reviews in Aquaculture*, 10(4), 950–974.
9. Verschuere, L., et al. (2000). Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(4), 655–671.
10. Cordero, H., Esteban, M. A., & Cuesta, A. (2014). Use of probiotic bacteria against bacterial and viral infections in shellfish and fish aquaculture. In: *Sustainable Aquaculture Techniques* (pp. 239–262). Intech Publishing.
11. D'Agaro, E., Gibertoni, P. P., & Esposito, S. (2022). Recent trends and economic aspects in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sector. *Applied Sciences*, 12(17), 8773.
12. Gołaś, I., & Potorski, J. A. (2022). The influence of commercial feed supplemented with *Carnobacterium maltaromaticum* environmental probiotic bacteria on the rearing parameters and microbial safety of juvenile rainbow trout. *Animals*, 12(23), 3321.
13. Ringø, E., et al. (2020). Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: Interesting supplementation for aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*, 129(1), 116–136.
14. Robertson, P. A. W., et al. (2000). Use of *Carnobacterium* sp. as a probiotic for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum). *Aquaculture*, 185(3–4), 235–243.
15. Van Doan, H., et al. (2020). Host-associated probiotics: A key factor in sustainable aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 16–42.
16. Wang, J., et al. (2024). Effects of dietary supplementation with endogenous probiotics *Bacillus subtilis* on growth performance, immune response and intestinal histomorphology of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fishes*, 9(6), 229.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рудой Дмитрий Владимирович, д-р техн. наук, доцент, декан факультета «Агропромышленный», заведующий научно-исследовательской лабораторией «Центр агробиотехнологии»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

*пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
dmitriyrudoi@gmail.com*

Ольшевская Анастасия Владимировна, канд. техн. наук, заместитель руководителя Центра развития территориального кластера «Долина Дона», доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

*пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
olshevskaya.av@gs.donstu.ru*

Шевченко Виктория Николаевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр агробиотехнологии», доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

*пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
vikakhorosheltseva@gmail.com*

Мальцева Татьяна Александровна, канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Биохимический и спектральный анализ пищевых продуктов», доцент кафедры «Техника и технологии пищевых производств»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

*пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
tamaltseva.donstu@gmail.com*

Козырев Денис Андреевич, канд. биол. наук, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр агробиотехнологии», доцент кафедры «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

*пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
dinis.kozyrev@bk.ru*

Мазанко Мария Сергеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр Агробиотехнологии»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

*пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
mary.bio@list.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Dmitry V. Rudoy, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Agroindustry, Head of the Research Laboratory “Center for Agrobiotechnology”

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

dmitriyrudoi@gmail.com

Anastasia V. Olshevskaya, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Don Valley Territorial Cluster Development Center, Associate Professor of the Department of Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

olshevskaya.av@gs.donstu.ru

Viktoria N. Shevchenko, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Agrobiotechnology Center Research Laboratory, Associate Professor of the Department of Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products

*Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
vikakhorosheltseva@gmail.com*

Tatyana A. Maltseva, PhD in Technical Sciences, Head of the Laboratory of Biochemical and Spectral Analysis of Food Products, Associate Professor of the Department of Food Production Engineering and Technology
*Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
tamaltseva.donstu@gmail.com*

Denis A. Kozyrev, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher at the Agrobiotechnology Center Research Laboratory, Associate Professor of the Department of Design and Technical Service of Transport and Technological Systems
*Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
dinis.kozyrev@bk.ru*

Maria S. Mazanko, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Research Laboratory “Center for Agrobiotechnology”
*Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
mary.bio@list.ru*

Поступила 10.11.2025
После рецензирования 29.11.2025
Принята 14.12.2025

Received 10.11.2025
Revised 29.11.2025
Accepted 14.12.2025