

Научная статья

УДК 639.371.5 /575.22

<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-70-78>

EDN PQBPTU

Выращивание растений в аквапонической установке совместно с бактериальным штаммом

Татьяна Сергеевна Старикова[✉], Марина Николаевна Сорокина

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Ростов-на-Дону, Россия, Tania-p@list.ru[✉]

Аннотация. Целью работы является изучение выращивания растений в аквапонической системе с добавлением бактериального изолята, обладающего хозяйственно полезными свойствами. В рамках исследования проводилось совместное культивирование растений с продолжительным вегетационным периодом (баклажан, клубника, кабачок) и мозамбикской тиляпии (*Oreochromis mossambicus*) в условиях аквапонной системы от всходов до сбора зеленой массы растений. Выявлено положительное воздействие штамма *Serratia ficaria* TP3 на прорастание семян. Всхожесть растений в опытных группах превышала контрольные показатели на 1–3 %. Стимуляция роста проявилась в увеличении длины стебля клубники на 5,4 % и сырой массы на 38,5 %; у кабачка эти показатели возросли на 3,73 и 3,26 % соответственно. У баклажана длина стебля в опыте была незначительно ниже контроля (на 1,44 %), сырая масса оказалась ниже на 6,57 %. Тиляпия за весь период набрала в среднем 125,24 г массы, что соответствует суточному приросту 2,09 г, или 0,97 % в день, при коэффициенте накопления массы 0,058 ед. Выживаемость рыб составила 100 %. Гидрохимические параметры находились в пределах нормы: pH варьировался от 7,3 до 8,1 в бассейне с рыбой и от 7,3 до 7,8 в лотке с растениями; концентрация кислорода составляла 7,8–8,8 и 7,3–9,0 мг/л соответственно. Температуру воды поддерживали на уровне 25–26 °С. Содержание нитритов колебалось в диапазоне 0,014–0,031 мг/дм³, нитратов – 18,5–51,45 мг/дм³.

Ключевые слова: растения, аквапоника, бактериальный изолят, установка замкнутого водоснабжения

Благодарности: публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гос. рег. 125111813074-6 «Разработка интегрированных индустриальных биотехнологических методов аквакультуры для снижения нагрузки на природные популяции гидробионтов, сохранения биоразнообразия, получения экологически чистой продукции и восстановления биологического акваресурса».

Для цитирования: Старикова Т. С., Сорокина М. Н. Выращивание растений в аквапонической установке совместно с бактериальным штаммом // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2026. № 2. С. 70–78. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-70-78>. EDN PQBPTU.

Original article

Growing plants in an aquaponic plant together with a bacterial strain

Tatyana S. Starikova[✉], Marina N. Sorokina

Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don, Russia, Tania-p@list.ru[✉]

Abstract. The aim of this study was to investigate the cultivation of plants in an aquaponic system supplemented with a bacterial isolate with economically beneficial properties. The study involved co-cultivating long-season plants (eggplant, strawberry, and zucchini) with Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in an aquaponic system from germination to harvest. A positive effect of the *Serratia ficaria* TP3 strain on seed germination was observed. Germination in the experimental groups exceeded control values by 1-3%. Growth stimulation resulted in an increase in strawberry stem length by 5.4% and fresh weight by 38.5%; for zucchini, these values increased by 3.73% and 3.26%, respectively. In the eggplant, stem length in the experiment was slightly lower than in the control (by 1.44%), and the wet weight was lower by 6.57%. Over the entire period, tilapia gained an average of 125.24 g of weight, which corresponds to a daily gain of 2.09 g or 0.97% per day, with a mass accumulation coefficient of 0.058 units. There were no fish mortalities, and the survival rate was 100%. Hydrochemical parameters were within the normal range: pH varied from 7.3 to 8.1 in the fish tank and from 7.3 to 7.8 in the plant tray; oxygen concentration was 7.8-8.8 and 7.3-9.0 mg/l, respectively. Water temperature was maintained at 25-26 °C. The nitrite content fluctuated in the range of 0.014-0.031 mg/dm³, nitrates – 18.5-51.45 mg/dm³.

Keywords: plants, aquaponics, bacterial isolate, recirculating aquaculture system

Acknowledgment: the publication was prepared as part of the implementation of the Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, State Reg. 125111813074-6 “Development of integrated industrial biotechnological methods of aquaculture to reduce the burden on natural populations of aquatic organisms, preserve biodiversity, obtain environmentally friendly products and restore biological aquatic resources”.

For citation: Starikova T. S., Sorokina M. N. Growing plants in an aquaponic plant together with a bacterial strain. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. 2026;2:70-78.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-70-78>. EDN PQBPPTU.

Введение

Развитие биотехнологий оказывает существенное влияние на аквакультуру, стимулируя разработку новых продуктов, оптимизацию ресурсного использования и усложнение технологических процессов. Российская Федерация обладает значительным потенциалом в области рыбного хозяйства и аквакультуры, что обуславливает приоритетность развития данных отраслей для обеспечения стабильного использования ресурсов и производства высококачественной продукции.

Аквапоника представляет собой технологию, объединяющую аквакультуру и гидропонику в единый замкнутый цикл. Совместное выращивание и правильно подобранные условия среды позволяют достичь устойчивого роста гидробионтов и растений, при этом выращивание растений и гидробионтов происходит в кратчайшие сроки. Постоянная циркуляция воды, выращивание различных рыб и одновременно растений, которые получают биологические вещества для своего развития, создают единую многоуровневую систему: рыбы производят продукты жизнедеятельности, которые перерабатываются бактериальными культурами в доступные формы для растений для получения экологически чистой продукции [1, 2].

Аквапоника является экологически чистой технологией благодаря созданию устойчивых условий выращивания и эффективности работы, т. к. она решает ряд проблем традиционного сельского хозяйства: минимизировать расход воды и исключить использование пестицидов и гербицидов, решить проблемы с истощением земель, загрязнением пресной воды.

В России проводятся исследования [3] и существуют действующие проекты по совместному выращиванию гидробионтов и растений (AquaVega, КФХ «Аквапоника»). Используются установки различной конструкции в Астраханском государственном техническом университете, Южном научном центре Российской академии наук (ЮНЦ РАН), Краснодарском научном центре по зоотехнии и ветеринарии, Всероссийском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии [4, 5].

Использование разных по объему модульных систем с замкнутым циклом водоснабжения для получения товарной рыбопродукции при высоких плотностях посадки является перспективным направлением аквакультуры [6]. Но увеличение плотности посадки рыб приводит к повышению концентрации азотистых веществ в водной среде.

Для решения этой проблемы целесообразно создавать искусственные экосистемы на базе установок замкнутого водоснабжения (УЗВ), в состав которых входят модули по выращиванию объектов аквакультуры и растений.

В УЗВ можно выращивать различные виды рыб, креветок, моллюсков, раков, а также создавать агрогидросистемы для выращивания овощей, зелени, клубники и т. д. [7, 8].

В совмещенной системе отходы жизнедеятельности объектов аквакультуры (корм, фекалии) после механического фильтра могут поступать в емкости с растениями. С использованием новых микробиологических бактериальных штаммов (например, штамма *Serratia ficaria* TP3) [9] остатки жизнедеятельности рыб и взвешенные частицы преобразуются в минеральный раствор, который служит для питания растений в системе гидропоники. Затем использованная жидкость проходит фильтрацию, насыщается кислородом и снова поступает в рыбоводные емкости. Подобные установки позволяют получать экологически чистую продукцию растительных культур и снижать затраты на выращивание гидробионтов [7, 8].

Использование в данных установках микробиологических штаммов, обладающих полезными биологическими свойствами, – одно из фундаментальных научных решений, которое позволяет улучшать условия выращивания и наладить весь цикл выращивания. Большую роль играют микробиологические штаммы (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) для очищения воды, позволяя удалять загрязняющие вещества, содержащиеся в сточных водах, или превращать их в безвредные продукты [6]. Использование микробиологических штаммов в системах аквапонии – одно из новых направлений, позволяющих экологизировать специализированные системы по производству товарной высококачественной продукции.

Целью работы является изучение выращивания растений в аквапонической системе с добавлением бактериального изолята, обладающего хозяйственно полезными свойствами.

Материал и методы исследований

Исследования проводили в ЮНЦ РАН. Объектами исследования являлись тилапия мозамбикская (*Oreochromis mossambicus* L.) и сельскохозяйственные культуры: баклажан (*Solanum melongena* L., 1753), сорт «Аметист» (включен в Государствен-

ный реестр селекционных достижений РФ); клубника (*Fragaria moschata* L., 1753) – земляника садовая, сорт «Сашенька F1»; кабачок (*Cucurbita pepo* subsp. *pepo*), сорт «Маша F1» (включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ). При выборе

растений для выращивания методом аквапонии учитывали следующие критерии: гибрид (для возможного самоопыления), скороспелые (возможно среднеспелые), компактные.

Для экспериментов использовали аквапоническую установку (рис. 1).

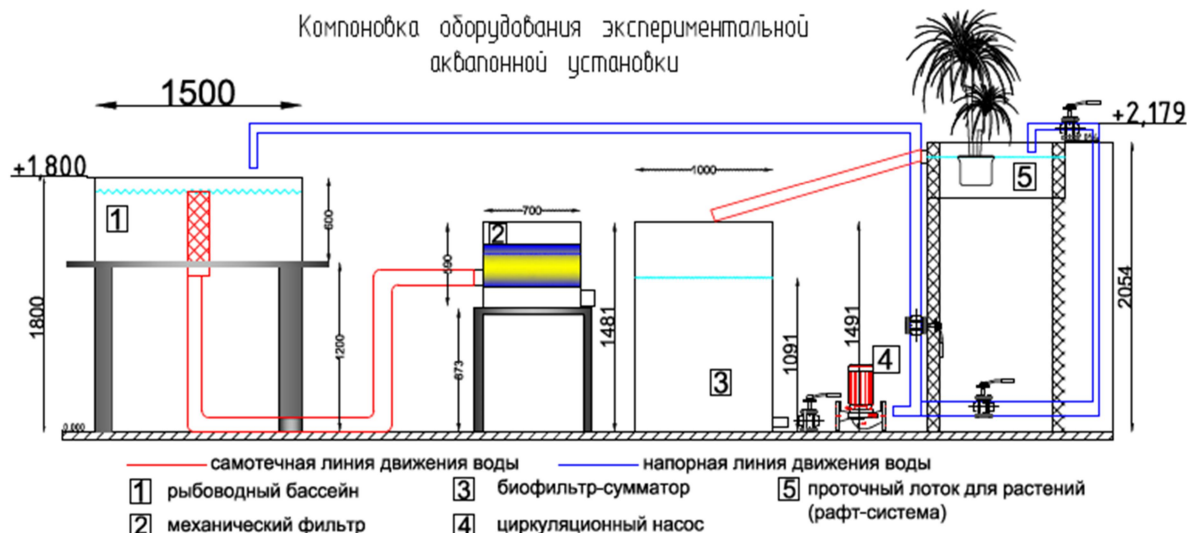


Рис. 1. Принципиальная схема аквапонической установки

Fig. 1. Schematic diagram of an aquaponic installation

Вода из рыбоводного бассейна объемом 1 м^3 по трубопроводу диаметром 110 мм поступает в самотечном режиме в барабанный фильтр с фильтрующей микросеткой размером 40 мкм, затем, также в самотечном режиме, вода из фильтра поступает в бассейн-сумматор, который тоже выполняет роль биологического фильтра. Далее при помощи центробежного асинхронного насоса с префильтром по первой трубопроводной линии технологическая вода подается в три лотка, в каждый при помощи шаровых кранов. В каждом лотке высажены растения в соответствии с требованиями к субстрату (плавающие, рафт-система).

В установку посадили 1 580 экз. тилапии средней массой 160 г, общая биомасса рыбы составила 24 000 г на 1 м^3 .

Кормление рыб проводилось в соответствии с органической нагрузкой на системы аквапонии [10]. Кормление проводили комбикормом Coppens vital со следующим составом: протеин – 44 %, жир – 16 %. Эффективность выращивания тилапии оценивалась по приросту (абсолютному и среднесуточному), среднесуточной скорости роста и коэффициенту массонакопления [11].

Состояние водной среды оценивалось по гидрохимическим показателям: pH, содержание кислорода O_2 , нитритов NO_2 , нитратов NO_3 . Температурный режим поддерживался в оптимальном диапазоне от 25 до 27 °С, обеспечивающем благоприятные усло-

вия для роста растений и жизнедеятельности рыб. Семена опытной группы растений перед посадкой в аквапоническую установку обрабатывали заранее подготовленной культуральной жидкостью *Serratia ficaria* TP3 в рабочей концентрации 109 КОЕ/мл. В контрольной группе семена замачивали в воде.

Приготовление рабочего раствора культуры *Serratia ficaria* TP3 проходило по следующей схеме:

1. Для культивирования штамма использовали агар, который стерилизовали при 120 °С 30 мин. Культуру пересевали в чашки Петри.

2. Суспензию изолята получали путем внесения двух петель биомассы трехсуточной культуры *Serratia ficaria* TP3 со скошенного агара и вносили в 200 мл жидкого агара, культивировали на качалке при непрерывном перемешивании (120 об/мин) в течение 24 ч при температуре 28 °С.

3. Рабочий раствор готовили путем внесения 50 мл жидкого раствора в 1 л отвара картофеля и культивировали его на качалке (120 об/мин) в течение 48 ч при температуре 28 °С при непрерывном перемешивании. В готовом растворе концентрация клеток составила 109 КОЕ/мл, замеры проводили путем посева и подсчета клеток.

4. Растения заранее замачивали в рабочем растворе и затем сажали в рафт-систему модельной установки.

В эксперименте выделяли следующие основные периоды:

- первый период – от посева семян до появления проростка, семена замачивали в рабочем растворе культуральной жидкости исследуемого штамма;
- второй период начинался с появления проростка и заканчивался образованием 3–4 сформировавшихся листа;
- третий период – формирование соцветия и зачатков цветков;
- четвертый период соответствует фазе бутонизации и цветения;
- пятый период соответствует фазе плодоношения.

В качестве субстрата использовали керамзит (средней фракции, до 1 см в диаметре), т. к. в нем корневая система растений хорошо удерживается и развивается. При выращивании растений на вермикулите и кокосовом волокне происходило сильное вымывание этих субстратов при циркуляции воды в установке. Минеральную вату использовали при выращивании рассады, постоянное нахождение ее в воде вызывает появление синезеленых водорослей, что приводит к загниванию растений.

Для проращивания семян растительных культур были использованы гидропонные лотки с пробками из минеральной ваты. В углубления пробок минерального субстрата, предварительно напитанных водой, которая была обработана бактериальной культурой из бассейна с тилапией, поместили 1 семя кабачка, 2 – баклажана, 2 – клубники и засыпали сверху вермикулитом мелкой фракции. Для определения всхожести были использованы пробы по 100 семян.

Для каждого сорта растения было задействовано по 15 пробок минеральной ваты. После подрашивания растений, появления двух листьев и корня через 10–12 сут каждое растение рассаживали в пластмассовые горшочки с керамзитом и помещали в гидропонные плавающие маты, которые помещают в бассейны (рыбоводных емкостей) с рыбами. Освещение растений при выращивании производилось лампами мощностью 200–300 лк, которые находились над растениями на расстоянии 40 см. Продолжительность эксперимента составила 60 сут. Перед посадкой в систему проводили сравнение растений в опыте и в контроле.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием среднего значения и стандартной ошибки ($M \pm m$). Для сравнения групп применялся t -критерий Стьюдента при нормальном распределении и критерий Манна – Уитни – при его отсутствии.

Результаты исследования и обсуждение

Растения. В ходе проведенного исследования было установлено, что в опыте, по сравнению с семенами в контроле, развитие семян клубники происходило с первых дней. Всхожесть семян в опытной группе была 98 %, в контрольной – 95 %.

В опытной группе наблюдалось увеличение высоты стебля и сырой массы клубники в 2,8 раза, при этом количество листьев возросло от 4 до 9 шт. (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Показатели роста клубники «Сашенька F1»

Indicators of strawberry growth “Sashenka F1”

Время выращивания, сут	Опыт			Контроль		
	Длина стебля, см	Количество листьев, шт.	Сырая масса, г	Длина стебля, см	Количество листьев, шт.	Сырая масса, г
10	12,26 ± 0,07	4	19,05 ± 0,08 ^b	12,13 ± 0,03	3	12,08 ± 0,03 ^b
20	14,37 ± 0,05 ^{a*}	6	21,04 ± 0,03 ^b	13,04 ± 0,03 ^a	4	23,04 ± 0,04 ^b
30	21,04 ± 0,02 ^a	7	22,04 ± 0,02 ^b	20,29 ± 0,05 ^a	4	26,11 ± 0,03 ^b
40	22,76 ± 0,03	8	28,07 ± 0,03	22,06 ± 0,04	5	28,03 ± 0,02
50	30,23 ± 0,04 ^a	8	35,07 ± 0,04 ^b	28,05 ± 0,04 ^a	6	37,06 ± 0,03 ^b
60	33,74 ± 0,04 ^a	9	54,07 ± 0,03 ^b	32,09 ± 0,03 ^a	6	39,04 ± 0,0 ^b

* a, b – значения статистически значимо различаются при $p < 0,01$.

В контрольной группе соответствующие показатели составили: увеличение длины стебля – в 2,6 раза, сырой массы – в 3,4 раза, количества листьев – от 3 до 6 шт. Через 60 дней выращивания высота стебля в опытной группе достоверно превышала показатели контрольной группы на 5,4 %, а сырая

масса – на 38,5 %. Урожайность в опыте составила 2,4 кг/м³, тогда как в контроле – 1,9 кг/м³.

Всхожесть семян баклажанов в опыте составила 96,7 %, а в контроле – 95,8 %. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Показатели роста баклажана сорта «Аметист»
Growth indicators of eggplant of “the Amethyst” variety

Время выращивания, сут	Опыт			Контроль		
	Длина стебля, см	Количество листьев, шт.	Сырая масса, г	Длина стебля, см	Количество листьев, шт.	Сырая масса, г
10	15,05 ± 0,02 ^{a*}	4	30,07 ± 0,04 ^b	12,09 ± 0,03 ^a	4	29,03 ± 0,02 ^b
20	17,01 ± 0,05 ^a	6	46,14 ± 0,04 ^b	16,06 ± 0,02 ^a	6	41,09 ± 0,03 ^b
30	23,07 ± 0,05 ^a	7	49,04 ± 0,02 ^b	19,03 ± 0,03 ^a	7	42,13 ± 0,07 ^b
40	31,99 ± 0,04 ^c	8	57,99 ± 0,07 ^b	31,20 ± 0,24 ^c	8	53,04 ± 0,12 ^b
50	42,86 ± 0,32 ^c	9	71,87 ± 0,17 ^b	41,96 ± 0,05 ^c	9	68,04 ± 0,03 ^b
60	52,01 ± 0,07 ^a	10	119,97 ± 0,14 ^b	52,79 ± 0,18 ^a	10	112,09 ± 0,12 ^b

* a, b – значения статистически значимо различаются при $p < 0,01$; c – при $p < 0,05$.

Обработка растений бактериальной культурой способствовала более быстрому развитию растений в опыте по сравнению с контролем. Минимальная средняя длина побега была зафиксирована на 10 сут в контроле – 12,09 см, а максимальная средняя длина – в опыте 15,05 см. Длина стебля по окончании эксперимента в опыте составила 52,01 см, а в контроле – 52,79 см, при этом сырая масса плодов была

выше в опыте на 7,03 %. Количество листьев в обеих группах – от 4 до 10 шт. Урожайность в опыте составила 3,1 кг/м³, а в контроле – 2,7 кг/м³.

В рамках проведенного исследования всхожесть семян кабачка в опытной группе составила 98 %, в то время как в контрольной группе – 95 %. Динамика роста растений отражена в табл. 3.

Таблица 3

Table 3

Показатели роста кабачка сорта «Маша F1»
Growth indicators of “the Masha F1” variety

Время выращивания, сут	Опыт			Контроль		
	Длина стебля, см	Количество листьев, шт.	Сырая масса, г	Длина стебля, см	Количество листьев, шт.	Сырая масса, г
10	15,01 ± 0,08 ^{a*}	4	30,09 ± 0,14 ^b	12,11 ± 0,12 ^a	4	29,06 ± 0,09 ^b
20	16,91 ± 0,17 ^a	6	46,20 ± 0,17 ^b	15,99 ± 0,16 ^a	6	41,73 ± 0,47 ^b
30	21,81 ± 0,42 ^a	7	40,8 ± 0,27 ^b	16,24 ± 0,13 ^a	7	41,77 ± 0,20 ^b
40	27,91 ± 0,11 ^a	8	50,87 ± 0,20 ^b	26,00 ± 0,09 ^a	8	48,8 ± 0,14 ^b
50	29,79 ± 0,19 ^a	9	81,83 ± 0,14 ^b	27,84 ± 0,13 ^a	9	82,86 ± 0,18 ^b
60	32,20 ± 0,33 ^c	10	100,00 ± 0,13 ^b	31,07 ± 0,27 ^c	10	96,84 ± 0,26 ^b

* a, b – значения статистически значимо различаются при $p < 0,01$; c – при $p < 0,05$.

Установлено, что примененная обработка культуральной жидкостью Seratia ficaria TP3 оказала стимулирующее воздействие на вегетативный рост кабачка. На 10-й день культивации опытная группа продемонстрировала статистически значимое увеличение высоты стебля на 23,95 % и сырой массы на 3,54 % по сравнению с контролем. В последующие периоды наблюдения разница в высоте стебля между опытными и контрольными растениями варьировала от 3,64 до 34,3 %. По сырой массе отмечены колебания с переменным преимуществом опытной или контрольной группы. К моменту завершения эксперимента опытные растения превышали контрольные по высоте на 3,73 % и по сырой массе на 3,26 %. Урожайность в опыте составила 3,1 кг/м³, что выше, чем в контроле (2,7 кг/м³), на 14,81 %.

Эксперименты по выращиванию клубники, баклажанов и кабачков с добавлением бактериального штамма продолжаются до получения конечной продукции.

Рыба. Тиляпия в течение периода выращивания достигла общего прироста массы в 125,24 г, что в среднем составляет 2,09 г в сутки при среднесуточной скорости роста 0,97 %. Коэффициент накопления массы составил 0,058 ед. В ходе эксперимента погибших рыб не было, выживаемость была 100 %-й. Динамика роста была неравномерной: наиболее активный набор массы происходил в начале выращивания. Так, за первые 20 дней прирост составил 53,81 г, что является значительной долей (42,96 %) от общего прироста за весь период измерения (рис. 2).

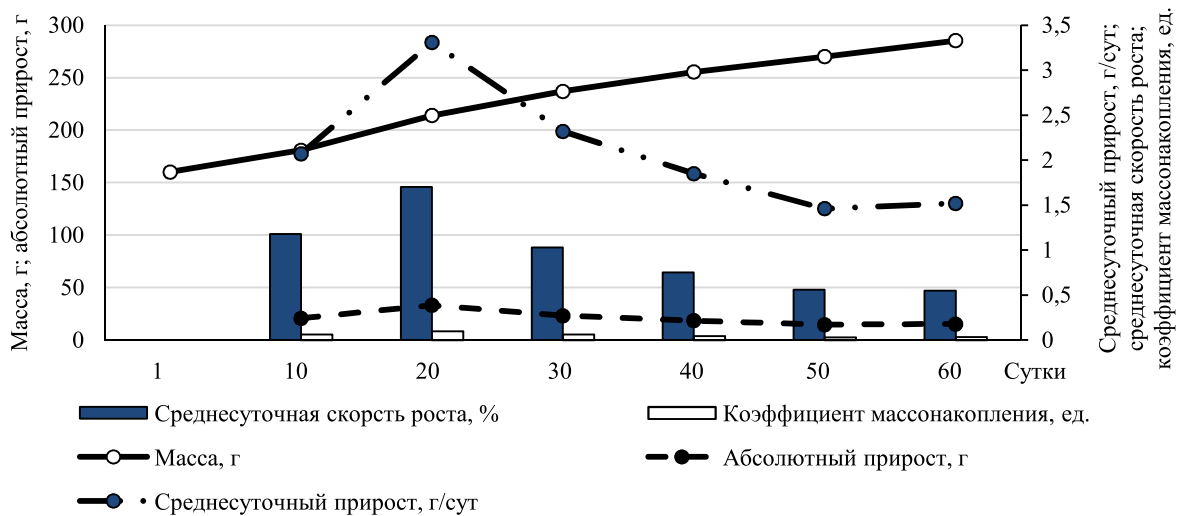


Рис. 2. Динамика показателей роста тилапии *Oreochromis mossambicus*

Fig. 2. Dynamics of tilapia *Oreochromis mossambicus* growth indicators

Суточная скорость роста (% в день) изменялась за время выращивания от 0,55 до 1,18 %, коэффициент массонакопления – от 0,033 до 0,099 ед.

В период выращивания растений и рыбы все показатели оставались в пределах допустимых диапазонов. Уровень pH изменялся в бассейне

с рыбой от 7,3 до 8,1 ед., в лотке с растениями – от 7,3 до 7,8 ед. Содержание растворенного кислорода в воде у рыб составляло от 7,8 до 8,8 мг/л, а у растений – от 7,9 до 9,0 мг/л. Температура воды соответствовала требованиям для растительных культур и рыб – 25–25,8 °C (рис. 3).

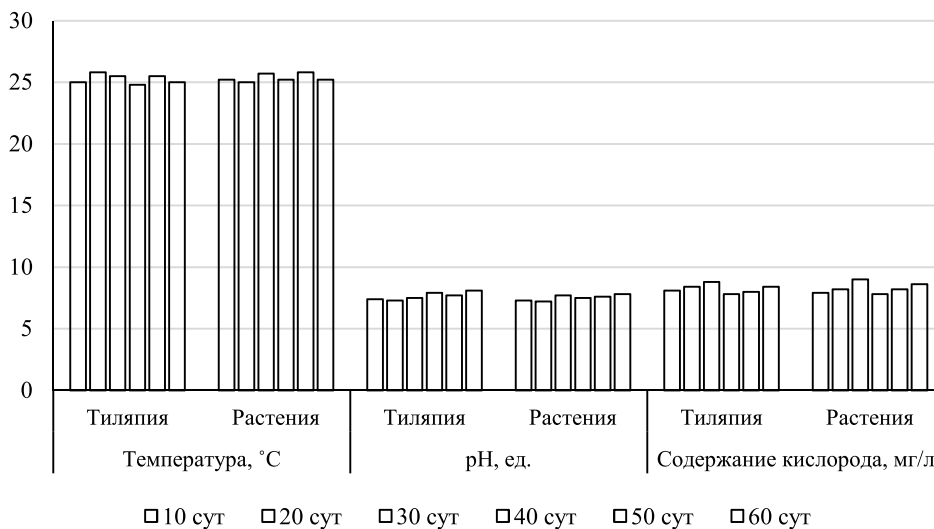


Рис. 3. Динамика гидрохимических показателей

Fig. 3. Dynamics of hydrochemical indicators

Для обеспечения стабильности аквапонной системы и сохранения здоровья рыб критически важно контролировать такие параметры воды, как аммиак, нитриты и нитраты [12]. Эти соединения, образующиеся в основном из отходов жизнедеятельности рыб и несъеденного корма, должны эффективно перерабатываться и усваиваться, чтобы избежать накопления и нарушения равновесия. Значение

уровня азотистых соединений служит индикатором эффективности работы системы. Особую опасность для рыб представляют повышенные концентрации нитритов, в отличие от умеренного роста уровня нитратов. Тилапия, хотя и способна переносить значительные колебания концентрации нитратов, более уязвима к хроническому воздействию нитритов, которое может привести к проблемам с доставкой

кислорода и замедлению роста [13].

Концентрация нитритов в исследуемой воде изменялась в пределах 0,014–0,031 мг/дм³ (рис. 4), что соответствует оптимальным показателям по данным Nadia Z. M. et al. [14] (0,06 мг/л для NO₂). Уровень нитратов, напротив, находился в диапа-

зоне 18,5–51,45 мг/дм³, превышая оптимальные значения (<20 мг/л для NO₃), но это не оказало негативного влияния на здоровье рыб, поскольку в аквапонической установке происходит рециркуляция воды для ее непрерывной очистки [15, 16].

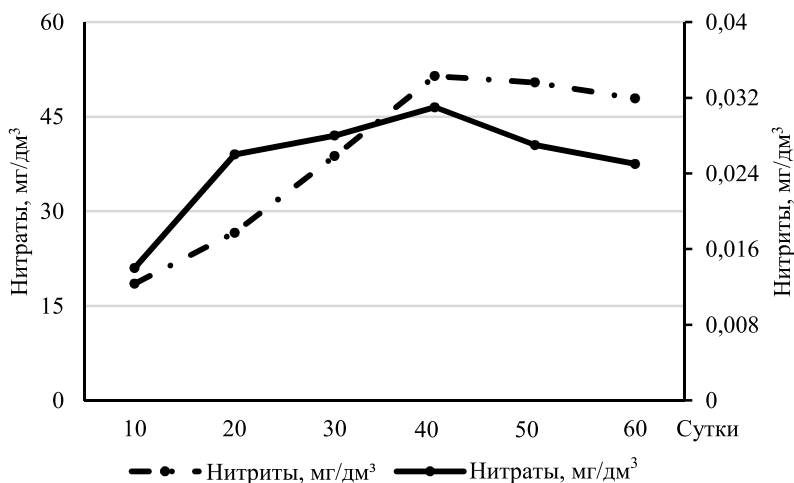


Рис. 4. Динамика показателей азотистых соединений

Fig. 4. Dynamics of indicators of nitrogenous compounds

Примечательно, что NO₃⁻ не токсичен для рыб и способствует росту растений [1], поскольку растения могут напрямую использовать как аммиачный, так и нитратный азот [17].

Причиной высокого содержания NO₃ могут быть низкие плотности посадки растений. В этих условиях растения не могут в полной мере использовать доступный азот, и больше нитратов остается в воде. При проектировании аквапоники малого масштаба низкая плотность посадки растений упрощает управление и снижает трудозатраты, но ограничивает способность системы удалять и восстанавливать питательные вещества. Увеличение плотности посадки растений или включение смеси листовых и плодовых культур, вероятно, улучшит использование нитратов и увеличит общую биомассу [13, 18–20].

Таким образом, исследование роста клубники по-

казало значительные различия в количестве листьев, длине побегов, свежей массе и урожайности (г) между вариантами.

Заключение

Проведены эксперименты по выращиванию в аквапонической установке ЮНЦ РАН растительных культур с длинным вегетационным циклом (баклажан, клубника, кабачок) от момента всхода до получения зеленой массы и 150 экз. мозамбикской тилляпии (*Oreochromis mossambicus*) средней массой 160 г, общая биомасса рыбы составила 24 000 г на 1 м³. В ходе эксперимента выявили влияние штамма *Serratia ficaria* TP3 на стимуляцию роста семян в опыте. Показано, что все культуры (кроме баклажана) имели большую всхожесть семян и рост стебля, чем в контроле.

Список источников

1. Wongkiew S., Hu Zh., Chandran K., Lee J. W., Khanal S. K. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review // *Aquacultural Engineering*. 2017. V. 76. P. 9–19. DOI /10.1016/j.aquaeng.2017.01.004.
2. Wongkiew S., Hu Zh., Lee Ja. W., Chandran K., Nhan H. T., Marcelino K. R., Khanal S. K. Nitrogen Recovery via Aquaponics–Bioponics: Engineering Considerations and Perspectives // *ACS ES&T Engineering*. 2021. V. 1. N. 3. P. 326–339. DOI 10.1021/acsestengg.0c00196.
3. Ромашова Ю. А., Дельмухаметов А. Б. Совместное выращивание австралийского красноклещевого рака и микрозелени в аквапонной установке // *Изв. КГТУ*. 2025. № 76. С. 38–51.
4. Ромашова Ю. А., Дельмухаметов А. Б. Совместное выращивание гидробионтов и растений как перспективное направление развития индустриальной аквакультуры // *Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и обучающихся* (Санкт-Петербург – Пушкин, 24–26 марта 2021 г.). СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. гос. аграр. ун-та, 2021. Т. 1. С. 260–262.
5. Сыздыков К. Н., Куржыкаев Ж. К., Нарбаев С. Н., Григорьев Б. Н., Куанчалеев Ж. Б., Марленов Э. Б. Рыбоводные показатели рыб при выращивании в аквапони-

ке // Вестн. науки Казах. агротехн. ун-та им. С. Сейфуллина. 2017. № 3 (94). С. 53–59.

6. Спотт С. Содержание рыбы в замкнутых системах. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 192 с.

7. Матишов Г. Г., Пономарева Е. Н., Казарникова А. В. Инновационная биотехнология получения экологически чистой продукции аквабиокультуры в модульной установке замкнутого водоснабжения // Изв. высш. учеб. заведений. Сев.-Кавказ. регион. Сер.: Естественные науки. 2016. № 3 (191). С. 41–48.

8. Зыкина Е. А. Установки замкнутого водоснабжения – будущее современной аквакультуры // Сурский вестн. 2023. № 4 (24). С. 14–19.

9. Старикова Т. С. Экосистемный подход в повышении эффективности промышленной технологии получения экологически чистой продукции в аквакультуре: дис. ... канд. с.-х. наук. Астрахань, 2022. 146 с.

10. Subramanian R., Nair C. S., Manoharan R., Nishanth D., El-Haroun E., Jaleel A. Integrated nutrient and feeding optimization strategies in aquaponics for sustainable urban food production and water conservation // Front. Sustain. Food Syst. 2025. V. 9. P. 1681782. DOI 10.3389/fsufs.2025.1681782.

11. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.

12. Tawaha A. R., Wahab P. E. M., Jaafar H. B., Zuan A. T. K., Hassan M. Z. Effects of fish stocking density on water quality, growth performance of Nile tilapia and yield of butterhead lettuce grown in decoupled recirculation aquaponic systems // J. Ecol. Eng. 2020. V. 22 (1). P. 8–19. DOI 10.12911/22998993/128692.

13. Al-Kharusi A., Gallardo W., Al-Souti A. Performance of floating and media-based aquaponic systems with two tank sizes for Nile tilapia and cherry tomato // Aquaculture Reports. 2026. V. 46. P. 103384. DOI /10.1016/j.aqrep.2026.103384.

14. Nadia Z. M., Akhi A. R., Roy P., Farhad F. B., Hossa-

in M. M., Salam Md. A. Yielding of aquaponics using probiotics to grow tomatoes with tilapia // Aquaculture Reports. 2023. V. 33. P. 101799. DOI 10.1016/j.aqrep.2023.101799.

15. Setiadi E., Taufik I., Widyastuti Y. R., Ardi I., Puspainingsih D. Improving productivity and water quality of catfish, *Clarias sp.* cultured in an aquaponic ebb-tide system using different filtration // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2019. Sci. 236. Art. 012026. DOI 10.1088/1755-1315/236/1/012026.

16. Shamsuddin M., Hossain M. B., Rahman M., Kawla M. S., Shufol M. B. A., Rashid M. M., Asadujjaman M., Rakib M. R. J. Application of biofloc technology for the culture of *Heteropneustes fossilis* (Bloch) in Bangladesh: stocking density, floc volume, growth performance, and profitability // Aquac. Int. 2022. V. 30. P. 1047–1070. DOI 10.1007/s10499-022-00849.

17. Gao X., Ya Xu., Shan J., Jiang J., Zhang H., Ni Qi, Zhang Y. Effects of different stocking density start-up conditions on water nitrogen and phosphorus use efficiency, production, and microbial composition in aquaponics systems // Aquaculture. 2024. V. 585. P. 740696. DOI 10.1016/j.aquaculture.2024.740696.

18. Liang Y., Chien Y. H. Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a Nile tilapia–water spinach raft aquaponics system // Int. Biodeterior. Biodegrad. 2013. V. 85. P. 693–700. DOI 10.1016/j.ibiod.2013.03.029.

19. Hasan Z., Dhahiyat Y., Andriani Y., Sahidin A., Farizi I. Impact of Red Water System (RWS) application on water quality of catfish culture using aquaponics // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2018. Sci. 139. Art. 012009. DOI 10.1088/1755-1315/139/1/012009.

20. Nuwansi K. K., Verma A. K., Chandrakant M. H., Prabhath G. P. W. A., Peter R. M. Optimization of stocking density of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) with gotukola (*Cenella asiatica*) in an aquaponic system using phytoremediated aquaculture wastewater // Aquaculture. 2021. V. 532. Art. 735993. DOI 10.1016/j.aquaculture.2020.735993.

References

1. Wongkiew S., Hu Zh., Chandran K., Lee J. W., Khanal S. K. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 2017, vol. 76, pp. 9-19. DOI /10.1016/j.aquaeng.2017.01.004.

2. Wongkiew S., Hu Zh., Lee Ja. W., Chandran K., Nhan H. T., Marcelino K. R., Khanal S. K. Nitrogen Recovery via Aquaponics–Bioponics: Engineering Considerations and Perspectives. *ACS ES&T Engineering*, 2021, vol. 1, no. 3, pp. 326-339. DOI 10.1021/acsestengg.0c00196.

3. Romashova Yu. A., Del'muhametov A. B. Sovmestnoe vyrashchivanie avstralijskogo krasnokleshnevoogo raka i mikrozeleni v akvaponoj ustanovke [Joint cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens in an aquaponic installation]. *Izvestiya KGTU*, 2025, no. 76, pp. 38-51.

4. Romashova Yu. A., Del'muhametov A. B. Sovmestnoe vyrashchivanie gidrobiontov i rastenij kak perspektivnoe napravlenie razvitiya industrial'noj akvakul'tury [Joint cultivation of aquatic organisms and plants as a promising direction for the development of industrial aquaculture]. *Intellektual'nyj potencial molodyh uchenyh kak drayver razvitiya APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh i obuchayushchihsya (Sankt-Peterburg –*

Pushkin, 24–26 marta 2021 g.). Saint Petersburg, Izd-vo Sankt-Peterb. gos. agrar. un-ta, 2021. Vol. 1. Pp. 260-262.

5. Syzdykov K. N., Kurzhykaev Zh. K., Narbaev S. N., Grigoriev B. N., Kuanchaleev Zh. B., Marlenov E. B. Rybovodnye pokazateli ryb pri vyrashchivanii v akvaponike [Fish breeding performance of fish when grown in aquaponics]. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina*, 2017, no. 3 (94), pp. 53-59.

6. Spott S. *Soderzhanie ryby v zamknytyh sistemah* [Keeping fish in closed systems]. Moscow, Legkoj i pishchevoj promishlennosti Publ., 1983. 192 p.

7. Matishev G. G., Ponomareva E. N., Kazarnikova A. V. Innovacionnaya biotekhnologiya polucheniya ekologicheski chistoj produkcii akvabiokul'tury v modul'noj ustanovke zamknutogo vodosnabzheniya [Innovative biotechnology for the production of environmentally friendly aquaculture products in a modular closed circuit water supply system]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki*, 2016, no. 3 (191), pp. 41-48.

8. Zykina E. A. Ustanovki zamknutogo vodosnabzheniya – budushchee sovremennoj akvakul'tury [Closed circuit water supply installations – the future of modern aquaculture]. *Surskij vestnik*, 2023, no. 4 (24), pp. 14-19.

9. Starikova T. S. *Ekosistemnyj podhod v povyshenii effektivnosti industrial'noj tekhnologii polucheniya ekologicheski chistoj produkcii v akvakul'ture. Dissertaciya ... kand. s.-h. nauk* [An ecosystem approach to improving the efficiency of industrial technology for producing environmentally friendly products in aquaculture. Dissertation ... Candidate of Agricultural Sciences]. Astrakhan, 2022. 146 p.
10. Subramanian R., Nair C. S., Manoharan R., Nishanth D., El-Haroun E., Jaleel A. Integrated nutrient and feeding optimization strategies in aquaponics for sustainable urban food production and water conservation. *Front. Sustain. Food Syst.*, 2025, vol. 9, p. 1681782. DOI 10.3389/fsufs.2025.1681782.
11. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormlenie ryb v presnovodnoj akvakul'ture* [Fish feeding in freshwater aquaculture]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2006. 360 p.
12. Tawaha A. R., Wahab P. E. M., Jaafar H. B., Zuan A. T. K., Hassan M. Z. Effects of fish stocking density on water quality, growth performance of Nile tilapia and yield of butterhead lettuce grown in decoupled recirculation aquaponic systems. *J. Ecol. Eng.*, 2020, vol. 22 (1), pp. 8-19. DOI 10.12911/22998993/128692.
13. Al-Kharusi A., Gallardo W., Al-Souti A. Performance of floating and media-based aquaponic systems with two tank sizes for Nile tilapia and cherry tomato. *Aquaculture Reports*, 2026, vol. 46, p. 103384. DOI 10.1016/j.aqrep.2026.103384.
14. Nadia Z. M., Akhi A. R., Roy P., Farhad F. B., Hossain M. M., Salam Md. A. Yielding of aquaponics using probiotics to grow tomatoes with tilapia. *Aquaculture Reports*, 2023, vol. 33, p. 101799. DOI 10.1016/j.aqrep.2023.101799.
15. Setiadi E., Taufik I., Widyastuti Y. R., Ardi I., Puspainingsih D. Improving productivity and water quality of catfish, *Clarias sp.* cultured in an aquaponic ebb-tide system using different filtration. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ.*, 2019, Sci. 236, Art. 012026. DOI 10.1088/1755-1315/236/1/012026.
16. Shamsuddin M., Hossain M. B., Rahman M., Kawla M. S., Shufol M. B. A., Rashid M. M., Asadujjaman M., Rakib M. R. J. Application of biofloc technology for the culture of *Heteropneustes fossilis* (Bloch) in Bangladesh: stocking density, floc volume, growth performance, and profitability. *Aquac. Int.*, 2022, vol. 30, pp. 1047-1070. DOI 10.1007/s10499-022-00849.
17. Gao X., Ya Xu., Shan J., Jiang J., Zhang H., Ni Qi, Zhang Y. Effects of different stocking density start-up conditions on water nitrogen and phosphorus use efficiency, production, and microbial composition in aquaponics systems. *Aquaculture*, 2024, vol. 585, p. 740696. DOI 10.1016/j.aquaculture.2024.740696.
18. Liang Y., Chien Y. H. Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in Nile tilapia–water spinach raft aquaponics system. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 2013, vol. 85, pp. 693-700. DOI 10.1016/j.ibiod.2013.03.029.
19. Hasan Z., Dhahiyat Y., Andriani Y., Sahidin A., Farizi I. Impact of Red Water System (RWS) application on water quality of catfish culture using aquaponics. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ.*, 2018, Sci. 139, Art. 012009. DOI 10.1088/1755-1315/139/1/012009.
20. Nuwansi K. K., Verma A. K., Chandrakant M. H., Prabhat G. P. W. A., Peter R. M. Optimization of stocking density of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) with gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponic system using phytoremediated aquaculture wastewater. *Aquaculture*, 2021, vol. 532, Art. 735993. DOI 10.1016/j.aquaculture.2020.735993.

Статья поступила в редакцию 24.01.2026; одобрена после рецензирования 25.05.2026; принята к публикации 04.06.2026
The article was submitted 24.01.2026; approved after reviewing 25.05.2026; accepted for publication 04.06.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Сергеевна Старикова – кандидат сельскохозяйственных наук; заведующий лабораторией «Интегрированные биотехнологии аквакультуры»; Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук; Tania-p@list.ru

Марина Николаевна Сорокина – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории «Интегрированные биотехнологии аквакультуры»; Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук; Sor-marina@yandex.ru

Tatyana S. Starikova – Candidate of Agricultural Sciences; Head of the Laboratory “Integrated Aquaculture Biotechnology”; Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences; Tania-p@list.ru

Marina N. Sorokina – Candidate of Biological Sciences; Leading Researcher of Laboratory “Integrated Aquaculture Biotechnology”; Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences; Sor-marina@yandex.ru

