

Научная статья

УДК 639.3.043.2

DOI 10.46845/1997-3071-2025-76- 38-51

Совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и микрозелени в аквапонной установке

Юлия Алексеевна Ромашова¹, Артем Борисович Дельмухаметов²

¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

² Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, Полесск, Калининградская область, Россия

¹ yuliya.romashova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9067-4880>

² delmuchametov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1056-1680>

Аннотация. В настоящее время наиболее эффективным и перспективным способом ведения хозяйства является аквапоника. Она представляет собой соединение двух технологий – аквакультуры (разведение и выращивание водных организмов) и гидропоники (выращивание растений без использования грунта). Необходимость и актуальность разработки и применения различных вариантов подобной технологии обосновывается потребностью предприятий аквакультуры в повышении доходности производства. Аквакультура – отрасль, связанная с высокими производственными и экономическими рисками. Наличие дополнительных видов продукции – растительных культур – позволит предприятиям получить дополнительный доход и обеспечить большую стабильность на рынке. Целью данной работы являлось создание экспериментальной аквапонной установки и проведение исследования особенностей функционирования системы. В статье приведены данные по результатам экспериментального выращивания австралийского красноклешневого рака и микрозелени Редис микс (сорта Чайна Роуз + Рэд Корал) в условиях аквапонной системы на основе установки замкнутого цикла водоснабжения (УЗВ) в течение 8 дней, а также гороха зеленого сорта Мадрас в течение 12 дней. Также в статье показана схема установки и рассмотрена продуктивность данной системы по растениям, дана оценка биохимических процессов очистки воды от органических загрязнений. Проведенные исследования показали, что выращивание австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868)) в данной аквапонной системе УЗВ достаточно эффективно, а выращивание микрозелени редиса и гороха по урожайности сопоставимо с классической гидропоникой (получены сходные показатели развития и урожайности растений в одинаковые нормативные сроки выращивания).

Ключевые слова: аквапоника, австралийский красноклешневый рак, микрозелень редиса, микрозелень гороха зеленого, аквакультура, гидропоника, рациональное природопользование.

Для цитирования: Ромашова Ю. А., Дельмухаметов А. Б. Совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и микрозелени в аквапонной установке // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 38–51. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-38-51.

Original article

Joint cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens in an aquaponic system

Yuliya A. Romashova¹, Artem B. Del'mukhametov²

¹ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

² Kaliningrad branch of Saint-Petersburg State Agrarian University, Polessk, Kaliningrad region, Russia

¹ yuliya.romashova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9067-4880>

² delmuchametov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1056-1680>

Abstract. Currently, one of the most promising and most high-tech ways of farming is aquaponics. It is a combination of two technologies: aquaculture (breeding and cultivation of aquatic organisms) and hydroponics (growing plants without soil). The necessity and urgency of developing and applying of different variants of such technology is justified by the need of aquaculture enterprises to increase profitability of production. Aquaculture is an industry associated with high production and economic risks. Availability of additional products, such as vegetable crops, will allow enterprises to gain additional income and provide greater stability in the market. The aim of this work was to create an experimental aquaponic plant and to investigate the peculiarities of the system functioning. The article presents data on the results of experimental cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens of Radish mix (varieties China Rose + Red Coral) in aquaponic system based on recirculatory aquaculture system (RAS) for 8 days, as well as green peas Madras for 12 days. The paper also contains a schematic diagram of the RAS installation and considers productivity of this system in terms of plants, as well as an assessment of biochemical processes of water purification from organic contaminants. The studies have shown that cultivation of Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868)) in this aquaponic system is quite effective, and the cultivation of radish and pea microgreens is comparable to classical hydroponics in terms of yields: similar indicators of plant development and yields have been obtained at the same normative terms of cultivation.

Keywords: aquaponics, Australian red-clawed crayfish, radish microgreens, green pea microgreens, aquaculture, hydroponics, environmental management.

For citation: Romashova Yu. A., Delmukhametov A. B. Joint cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens in aquaponic installation. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025;(76):38–51. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-38-51.

ВВЕДЕНИЕ

Аквапоника (лат. *aqua* – вода, греч. *πόνοϛ* – работа) – современный и высокотехнологичный способ ведения хозяйства, результат интеграции аквакультуры (разведение и выращивание гидробионтов) и гидропоники (культивирование растений без использования грунта) [1]. Аквапонная система представляет собой комбинацию двух хорошо известных технологий – системы рециркуляционной аквакультуры (УЗВ) и системы гидропоники (выращивание растений на искусственных средах), работающие вместе в интегрированной среде [2]. В рамках такой системы удастся добиться устойчивого роста как гидробионтов, так и растений за счет циркуляции воды, питательных веществ и биологических процессов. Аквапонику можно рассматривать как один из способов интенсификации производства в рыбоводных (и растениеводческих) хозяйствах.

Современная аквапоника функционирует, направляя сточные воды, содержащие продукты метаболизма, из выростной емкости с гидробионтами в гидропонный модуль для выращивания растительных культур. Сточные воды используются в качестве источника питательных веществ для растений. Кроме того, добавление в схему индустриальной установки для выращивания гидробионтов гидропонного модуля (модуля для выращивания растений) позволяет снизить нагрузку на систему со стороны продуктов азотистого обмена гидробионтов и способствует улучшению функционирования системы в целом [1, 3, 4].

Также аквапоника является одним из примеров рационального природопользования. Существует серьезная озабоченность общества по поводу того, как будущие поколения будут получать экологичные продукты питания. Интенсивное производство продуктов вынуждает сельское хозяйство чрезмерно эксплуатировать природные ресурсы, а также превращать естественные земли и леса в пахотные угодья. Загрязнение окружающей среды в результате массового использования удобрений и химикатов, снижение плодородия почвы и запасов углерода – неполный перечень основных проблем в сфере сельского хозяйства [5].

Система аквапоники отличается высокой экологической устойчивостью за счет минимизации расхода воды, отсутствия необходимости использования химических удобрений и возможности рециркуляции питательных веществ. Такой подход способствует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду и позволяет обеспечить устойчивое производство пищевых продуктов. Кроме того, аквапонные установки характеризуются технической и эксплуатационной сложностью и могут быть частью как рыбоводных, так и растениеводческих хозяйств. Промышленные теплицы, использующие аквапонную технологию, относятся к самому высокотехнологичному на данный момент, шестому поколению теплиц [6, 7].

Отметим, что одним из интересных и относительно новых направлений в аквапонике является выращивание ракообразных. В литературных источниках (как в русскоязычных, так и в иностранных) есть только некоторые упоминания по данной тематике, что также определило актуальность данной работы.

Цель текущего исследования – создание экспериментальной аквапонной установки, исследование особенностей функционирования системы.

Задачи:

1. Изучить основные принципы создания и использования аквапонных систем;

2. Разработать и запустить действующую аквапонную установку на основе УЗВ со встроенным гидропонным модулем для совместного выращивания растений и раков;
3. Проанализировать динамику гидрохимических показателей в процессе эксплуатации опытной аквапонной установки;
4. Оценить эффективность выращивания раков и микрозелени.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Существует ряд минимальных требований к основным техническим характеристикам аквапонных систем с гидропонным модулем.

Аквапонные установки изначально строятся на базе УЗВ для выращивания объектов аквакультуры. В дальнейшем в дополнение к УЗВ строится гидропонный модуль по технологии NFT (Nutrient Film Technique, в переводе – техника питательного слоя), представляющий систему для выращивания растительных культур, где происходит постоянная циркуляция тонкого слоя питательного раствора, что дает возможность корням растений регулярно получать все необходимые питательные вещества. УЗВ и гидропонный модуль соединены между собой системой труб и насосов, благодаря чему вода из выростных емкостей УЗВ попадает в емкости для выращивания растений. Емкости для растений, в свою очередь, оборудованы устройствами для слива воды, попадающей обратно в УЗВ, из-за чего образуется замкнутый цикл.

Сами УЗВ, используемые в аквапонике, как правило, снабжены типичным рыбоводным оборудованием: механическими фильтрами с префильтрами, воздушными компрессорами для поддержания определенного уровня растворенного кислорода в воде, терморегуляторной системой для обеспечения стабильной температуры воды, водными термометрами для точного и быстрого определения температуры.

Гидропонный модуль оснащен лотками с дренажными отверстиями, где и происходит рост самого растения на субстрате. Субстраты могут быть различными, они подбираются под растение, культивируемое в системе. Допустимо использование керамзита, вермикулита, минеральной ваты, перлита, кокосового волокна, почвенного грунта, также возможно совмещение нескольких субстратов. Помимо этого, для выращивания растений необходимы обдув, создаваемый вентиляторами во избежание распространения плесени на зеленой массе, и освещение фитолампами с подходящими для растений характеристиками.

Наряду с этим выделяют основные эксплуатационные требования для данных систем [8]:

1. Условия для выращивания растительных культур и гидробионтов, а именно гидрофизические (температура) и гидрохимические показатели водной среды (pH, соленость и т. д.), должны быть комфортными и соответствовать требованиям для их культивирования;
2. Важно учитывать скорость роста, плотность посадки, поведенческие особенности, отношение к выбранному типу содержания, выживаемость и скорость метаболизма гидробионтов для корректной работы системы. Поскольку метаболиты гидробионтов служат источником питательных веществ для растений, а растения, в свою очередь, способствуют очистке воды от органических загрязне-

ний, то значимость правильного выбора объемов разведения организмов нельзя недооценивать.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В соответствии с основными требованиями и принципами работы аквапонных систем с гидропонным модулем нами была создана схема (рис. 1) и собраны экспериментальные установки.

Установки включали в себя выростную емкость, изготовленную из контейнера типа «еврокуб» (емкость после удаления верхней части – 750 л), канистровый фильтр SunSun HW-404, терморегулятор Barbus HEATER 013 (500 Вт), компрессор воздушный Hailea ACO-318 с распылителями. Аквапонный модуль состоял из стойки с емкостями для размещения растений, насосов для обеспечения циркуляции воды, фитоламп «Эра FITO-14W-T5-RA90» и вентиляторов SHENGAN SG-002 для обдува растений. Параллельно был собран и запущен гидропонный модуль, устроенный аналогичным образом, но с той разницей, что питательный раствор для выращивания подавался к растениям из отдельных емкостей. В качестве питательного раствора для гидропонной установки использовали модифицированный раствор Кнопа, предназначенный для культивирования салатов, помидоров и зелени.

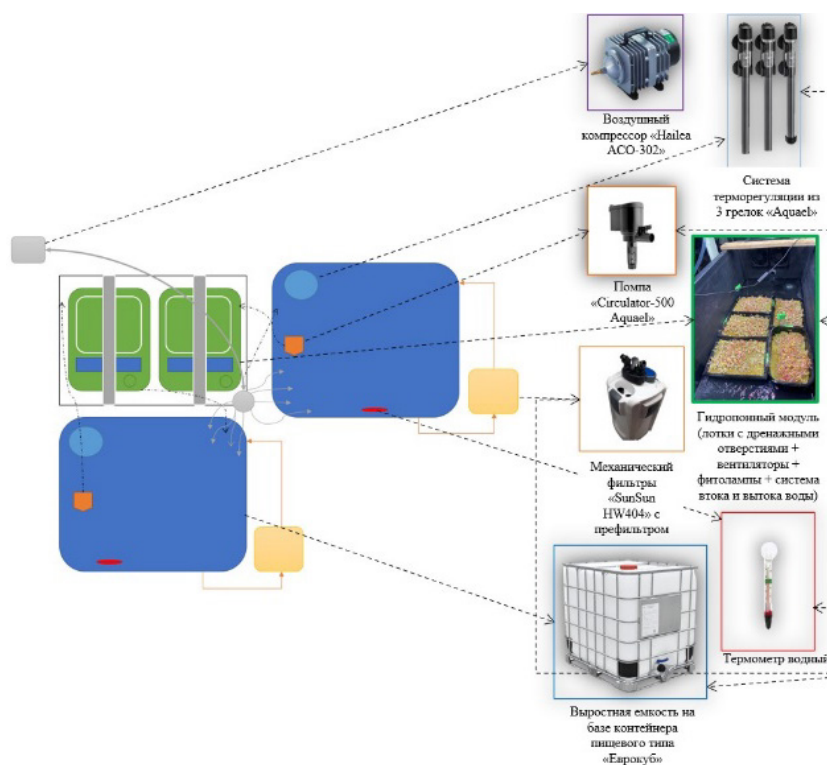


Рис. 1. Схема экспериментальной аквапонной установки с гидропонным модулем (составлена авторами)

Fig. 1. Schematic diagram of experimental aquaponic plant with hydroponic module (compiled by the authors)

Эксперимент проводили в двух повторностях. В качестве объектов аквакультуры были выбраны 36 особей красноклешневого австралийского рака (*Cherax quadricarinatus*, vonmartens, 1868), в качестве растительных объектов – микрозелень Редис микс (сорта Чайна Роуз + Рэд Корал) и зеленый горох Мадрас.

Эксперимент длился 21 сут без учета времени на проращивание посадочного материала. С 26.07.2024 по 02.08.2024 происходило культивирование семян микрозелени редиса, а с 02.08.2024 по 15.08.2024 – семян гороха. Предварительно раки содержались в установке в течение трех недель с целью наработки биофильтрационных кассет канистровых фильтров и стабилизации гидрохимических условий в установках.

Для оценки скорости роста раков использовали общий продукционный коэффициент скорости массонакопления и относительный среднесуточный прирост.

Общий продукционный коэффициент массонакопления рассчитывали по формуле (1) [9]:

$$K_m = \frac{\left(M_{\text{кон}}^{\frac{1}{3}} - M_{\text{нач}}^{\frac{1}{3}} \right) \times 3}{(T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}})}, \quad (1)$$

где $M_{\text{нач}}$ и $M_{\text{кон}}$ – начальная и конечная масса рыб, г; $T_{\text{нач}}$ и $T_{\text{кон}}$ – возраст рыб в начале и конце периода, сут

Относительный среднесуточный прирост определяли по формуле (2) [10]:

$$C = \frac{(M_{\text{кон}} - M_{\text{нач}}) \times 2 \times 100}{(M_{\text{кон}} + M_{\text{нач}}) \times (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}})}, \quad (2)$$

где обозначения те же, что в формуле (1).

Для оценки эффективности кормления раков и продуктивного действия корма использовали затраты корма. Этот показатель определяли как отношение количества корма, внесенного в емкость, где выращиваются раки, к единице прироста массы по формуле (3) [11]:

$$З = \frac{E_{\text{в}}}{R}, \quad (3)$$

где $E_{\text{в}}$ – количество внесенного корма, кг; R – полученная продукция, кг.

Массовые промеры раков (рис. 2, а и б) проводили по методике Л. Ю. Лагуткиной и С. В. Пономарева [12], определение пола – по наличию или отсутствию аппендикса маскулина на эндоподите 2-х плеопод или первой пары плеопод по наличию бокового выступа у самцов или его отсутствию у самок.



Рис. 2. Процесс массовых промеров австралийского красноклешневого рака:
а) самка австралийского красноклешневого рака перед промерами тела и клешней; б) взвешивание австралийского красноклешневого рака
Fig. 2. Australian red-clawed crayfish mass measurement process: a) female Australian red-clawed crayfish before body and claw measurements; b) weighing of Australian red-clawed crayfish

Плотность посадки в обеих емкостях составила 18 шт. на 1 м², биомасса была одинаковой.

Кормление осуществлялось 2 раза в сутки (утром и вечером). Суточная доза корма была равна 2,5 % от массы тела особи, в дальнейшем ее корректировали с учетом поедаемости корма.

Обслуживание УЗВ происходило ежедневно. Суточная замена воды в выростных емкостях осуществлялась из расчета 10–15 % от объема рыбоводной емкости. Это позволило рационально обновлять воду и в то же время поддерживать температуру в установке на оптимальном уровне.

За 3 суток до начала эксперимента (т. е. 24.07.2024) были пророщены семена микрозелени редиса. К растениям применена методика калибровки семян и визуального осмотра перед посадкой. Калибровка (рис. 3а) и сортировка позволяют предварительно отобрать пустые, слабые или поврежденные семена, так как более крупные и тяжелые семена содержат больше питательных веществ. Такой отбор является важным этапом в процессе обработки семян в агрономии.

Высаживали семена на влажную минеральную вату в предварительно подготовленные лотки размерами 17×11,5 см для выращивания микрозелени с дренажными отверстиями. Норма высева микрозелени редиса составила 7 г на 195,5 см² (около 103–126 семян на 1 лоток).

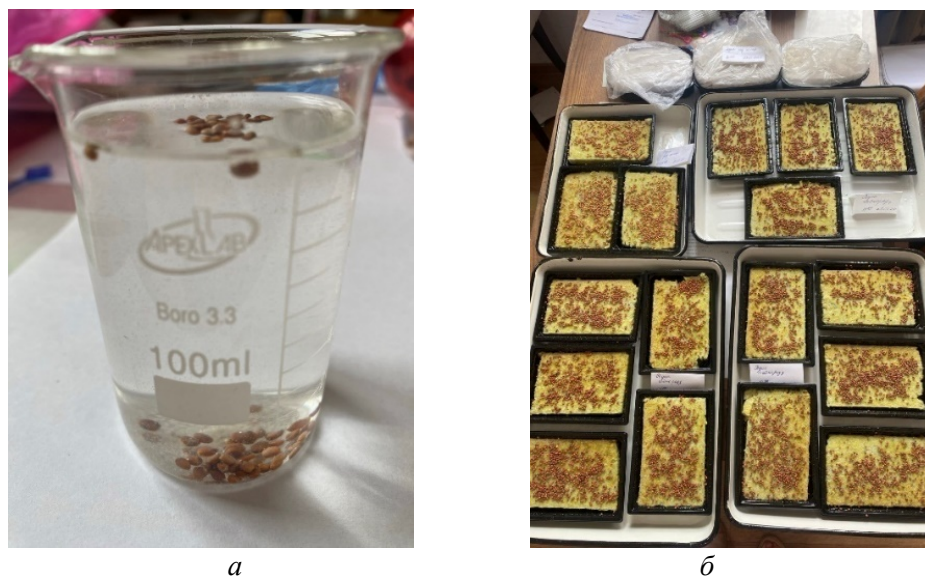


Рис. 3. Процессы калибровки и высадки семян в субстрат: а) калибровка семян микрорзелени редиса в калибровочном растворе из поваренной соли; б) высадка семян микрорзелени редиса в дренажные лотки

Fig. 3. Processes of seed calibration and planting into substrate: a) calibration of radish microgreen seeds in calibration solution of table salt; b) planting of radish microgreen seeds into drainage trays

После проращивания рассчитывали стандартные показатели роста для микрорзелени: энергию прорастания, лабораторную всхожесть, густоту посева, высоту растений. В конце эксперимента определяли конечную высоту растений, их массу, урожайность, сырую фитомассу, время прорастания и уборки урожая.

Данные показатели и методика проращивания растений была идентична и для гороха зеленого сорта Мадрас. Норма высева гороха составила 60 г на 195,5 см² (около 120–133 горошин на 1 лоток).

Гидрохимические показатели были отобраны с различных точек аквапонной и гидропонной установок – на втоках и вытоках из модулей, пробы обрабатывали по общепринятым методикам в гидрохимической лаборатории КГТУ [13, 14, 15], также определяли содержание нитритов NO₂, нитратов NO₃, фосфатов P₂O₅, аммонийного азота NH₄⁺, свободного аммиака NH₃⁺.

За период исследования аквапонная установка работала стабильно, без перебоев, во время проведения эксперимента условия, созданные для растительных культур и гидробионтов, соответствовали оптимуму.

В табл. 1 представлены результаты массовых промеров раков на начало и конец эксперимента. Прирост массы раков за период наблюдений составил 6,11 г (с 23,85±7,35 г в начале работ до 25,96±8,87 г на момент завершения). Общая длина тела также увеличилась с 10,03±1,38 до 11,8±1,50 см. Общепродукционный коэффициент массонакопления за рассматриваемый период был равен 0,29, относительный среднесуточный прирост – 1,51 %. Выживаемость раков за период выращивания составила 88,9 %, затраты корма – 1,15. Некоторые гидрохимические параметры воды установок замкнутого цикла водоснабжения на втоке в аквапонный модуль и вытоке из него представлены в табл. 2.

Таблица 1. Морфометрические показатели и показатели скорости роста раков в аквапонных установках

Table 1. Morphometric and growth rate indices of crayfish in aquaponic plants

Период	Параметры							
	Масса тела, г	Общая длина, см	Длина цефалоторакса, см	Длина абдомена, см	Длина тельсона, см	Длина второго сегмента периподов, см		
						дактилоподит	проподит	карпоподит
Начало эксперимента	23,85 ± 7,35	10,03 ± 1,38	4,6 ± 0,53	3,98 ± 0,49	1,38 ± 0,18	3,23 ± 0,47	0,79 ± 0,24	1,78 ± 0,28
Завершение эксперимента	25,96 ± 8,87	11,8 ± 1,50	4,8 ± 0,63	4,26 ± 0,73	1,71 ± 0,51	3,37 ± 0,63	1,13 ± 0,61	1,89 ± 0,34
Коэффициент массонакопления	0,29							
Относительный среднесуточный прирост, %	1,51							

Таблица 2. Гидрохимические параметры воды установок замкнутого водоснабжения с аквапонным модулем

Table 2. Hydrochemical parameters of water of closed water supply installations with aquaponic module

Показатель	Среднее значение			
	Редис		Горох	
	Вток	Выток	Вток	Выток
NO ₂ ⁻	0,022 ± 0,006	0,009 ± 0,001	0,011 ± 0,001	0,005 ± 0,001
PO ₄ ³⁻	0,27 ± 0,04	0,11 ± 0,03	0,35 ± 0,03	0,32 ± 0,05
NH ₄ ⁺	0,24 ± 0,04	0,23 ± 0,05	0,24 ± 0,03	0,19 ± 0,03
NH ₃	0,010 ± 0,002	0,009 ± 0,001	0,071 ± 0,025	0,068 ± 0,037
NO ₃ ⁻	32,89 ± 2,57	28,11 ± 1,42	29,59 ± 2,69	27,9 ± 0,31

Таблица 3. Некоторые показатели проращивания семян и выращивания микрозелени редиса и гороха на гидропонике и аквапонике

Table 3. Some indicators of seed germination and microgreen production of radish and pea on hydroponics and aquaponics

Параметр	Редис		Горох	
	Гидропоника	Аквапоника	Гидропоника	Аквапоника
Энергия прорастания семян, %	79,14±4,35		48,33±4,39	
Всхожесть семян, %	84,14±3,49		55,18±4,14	
Густота стояния, г/см ²	3,29±0,15	3,57±0,20	67,90±5,59	70,80±5,25
Высота растения в конце цикла выращивания, см	11,20±1,17	11,64±0,91	15,72±0,28	17,97±0,14
Время прорастания, сут	3		3	
Продолжительность выращивания, сут	8		12	
Сырая фитомасса растений, г	124,64±8,82	132,25±8,01	33,95±4,31	27,16±6,63
Урожайность, г/м ²	6375,45	6764,71	1736,57	1389,26

При сравнении средних значений содержания нитритов на входе и выходе из гидропонного модуля при выращивании редиса отмечено снижение концентрации с 0,022 до 0,009 мг/л, при этом в течение всего периода выращивания среднее содержание нитритов в воде установок постепенно снижалось. При сравнении средних значений содержания нитритов в воде установок до и после подключения гидропонного модуля к системе концентрация нитритов снизилась с 0,05 до 0,022 мг/л (при $p < 0,01$). Отметим, что все значения не выходили за пределы предельно допустимой концентрации (ПДК), составляющей для нитритов 0,08 мг/л [1].

При выращивании гороха зафиксированы сходные закономерности. Средняя концентрация нитритов на входе в гидропонный модуль составляла 0,011 мг/л, на выходе ($p < 0,01$) – 0,005 мг/л. Средняя концентрация нитритов в воде установок до подключения гидропонного модуля составляла 0,05 мг/л, после – 0,011 мг/л (достоверно ниже при $p < 0,001$). В случае с горохом также отмечается определенное снижение содержания нитритов с 0,01 до 0,006 мг/л к завершению цикла выращивания.

При выращивании редиса также прослеживается снижение средней концентрации фосфатов – 0,11 мг/л на входе из гидропонного модуля против 0,27 мг/л на выходе (при $p < 0,05$). Средняя концентрация фосфатов в воде с подключением гидропонного модуля также значительно снизилась (0,55 мг/л до подключения модуля и 0,27 мг/л после, при $p < 0,001$). ПДК фосфатов в воде составила 2,25 мг/л, все значения, полученные в период исследования, не выходили за пределы ПДК и были значительно ниже.

В случае с горохом различий в концентрации фосфатов на входе и выходе из гидропонного модуля не отмечалось.

По остальным оцениваемым параметрам различий при сравнении концентраций на входе и выходе, а также до подключения гидропонного модуля и после не обнаружено.

В табл. 3 представлены некоторые показатели выращивания микрозелени редиса и гороха в аквапонной и гидропонной установках.

Из данных, приведенных в таблице, видно, что сырая фитомасса растений, полученная с 5 стандартных лотков в условиях аквапоники и гидропоники, была достаточно близкой. Отметим здесь невысокую всхожесть взятых нами семян гороха, что говорит об их изначально низком качестве. Достоверные различия среди приведенных показателей имеются только по высоте растений гороха – за 12 дней выращивания горох на аквапонике достиг большей высоты ($p < 0,01$) – 17,97 против 15,72 см на гидропонике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и микрозелени редиса и гороха в аквапонной установке является перспективным направлением в сельском хозяйстве, которое сочетает в себе производство белковой и растительной продукции. Метод аквапоники для выращивания микрозелени способствует обеспечению продуктивности, близкой к классической гидропонике, а также может быть эффективен с экономической точки зрения. Учитывая преимущества и потенциал такой системы, совместное выращивание раков и микрозелени в аквапонике заслуживает внимания сельскохозяйственных предприятий и фермеров.

Подводя итог, совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и семян редиса и гороха в аквапонной установке представляет собой инновационное решение, объединяющее в себе высокую производительность, экологическую устойчивость и разнообразие продукции, что делает его привлекательным вариантом для сельскохозяйственных предприятий.

Список источников

1. Ромашова Ю. А. Совместное выращивание гидробионтов и растений как перспективное направление развития индустриальной аквакультуры // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся «Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК» (г. Санкт-Петербург, 24–26 марта 2021 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2021. Ч. 1. С. 260–262.
2. Abbassi R., Martinez P., Ahmad R. An ontology model to support the automated design of aquaponic grow beds // China Agricultural University. 2021. V. 100. P. 55–60.
3. Баричева Н. И., Мозгова Е. К., Сорокина М. В. Сельское хозяйство будущего (обзорная статья) // Научный журнал молодых ученых. 2023. №5 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/selskoe-hozyaystvo-buduschego-obzornaya-statya> (дата обращения: 07.10.2024).

4. Аквапоника как способ получения гидропонного корма / Н. А. Юрина, А. А. Данилова, Е. А. Максим, А. Н. Гнеуш, Д. В. Горобец, Н. Н. Трохимчук // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2020. № 1. С. 121–124.
5. Agricultural sustainability and intensive production practices / D. Tillman, K.G. Cassman, P.A. Matson, R. Naylor, S. Polasky // Nature. London. 2002. P. 55–60.
6. Щеглов Е. В., Никитенко С. В., Рабенко И. А. Революция тепличных комплексов: от пленки до аквапоники и led-освещения // АгроФорум. 2023. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/revolyutsiya-teplichnyh-kompleksov-ot-plyonki-do-akvaponiki-i-led-osvescheniya> (дата обращения: 07.10.2024).
7. Юрина Н. А. Использование аквапонного метода // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №10 (112). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-akvaponnogo-metoda> (дата обращения: 07.10.2024).
8. Юшко Л. В., Курапова Т. М. Создание и эксплуатация аквапонной установки // Материалы Межвузовской научно-практической конференции студентов и курсантов «Дни науки» (г. Калининград, 12–25 апреля 2021 г.). Калининград: Обособленное структурное подразделение «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2021. С. 135–139.
9. Купинский С. Б. Продукционные возможности объектов аквакультуры. Астрахань: Дмитровский филиал Астраханского государственного технического университета, 2007. 142 с.
10. Первый этап разработки уравнений роста рыб на вегетативных стадиях развития / В. Ф. Резников, С. А. Баранов, Е. А. Стариков, Г. И. Толчинский // Труды Всероссийского научно-исследовательского института прудового рыбного хозяйства, 1978. С. 220–236.
11. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. Москва: ВНИРО, 2006. 360 с.
12. Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. К морфометрическим показателям австралийских раков (*Cherax quadricarinatus*) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2010. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-morfometricheskim-pokazatelyam-avstraliyskih-rakov-cherax-quadricarinatus> (дата обращения: 08.08.2024).
13. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. 2016-01-01. Москва, 2019. 19 с.
14. ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. 2016-01-01. Москва, 2019. 22 с.
15. ГОСТ 58797-2020 Вода питьевая, расфасованная в емкости. Определение массовой концентрации растворенного кислорода. 2020-06-01. Москва, 2020. 11 с.

References

1. Romashova Yu. A. Sovmestnoe vyrashchivanie gidrobiontov i rasteniy kak perspektivnoe napravlenie razvitiya industrial'noy akvakul'tury [Co-cultivation of hy-

drobionts and plants as a promising area of industrial aquaculture development]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i obuchayushchikhsya "Intellectual'nyy potentsial molodykh uchenykh kak drayver razvitiya APK"* (g. Saint-Petersburg, 24–26 marta 2021 g.) [Proc. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Intellectual Potential of young scientists as a driver of agro-industrial development" (Saint-Petersburg, March 24–26, 2021)]. Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021, p. 1, pp. 260–262.

2. Abbassi R., Martinez P., Ahmad R. An ontology model to support the automated design of aquaponic grow beds. China Agricultural University. 2021. V. 100. P. 55–60.

3. Baricheva N. I., Mozgova E. K., Sorokina M. V. Cel'skoe khozyaystvo budushchego (obzornaya stat'ya) [Agriculture of the future (review article)]. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*, 2023, no. 5 (35), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/selskoe-hozyaystvo-buduschego-obzornaya-statya> (accessed 07 October 2024).

4. Yurina N. A., Danilova A. A., Maksim E. A., Gneush A. N., Gorobets D. V., Trokhimchuk N. N. Akvapionika kak sposob polucheniya gidroponnogo korma [Aquaponics as a method of hydroponic feed production]. *Sbornik nauchnykh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva*, 2020, no. 1, pp. 121–124.

5. Tillman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R., Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 2002. P. 55–60.

6. Shcheglov E. V., Nikitenko S. V., Rabenko I. A. Revolyutsiya teplichnykh kompleksov: ot plenki do akvapioniki i led-osveshcheniya [The greenhouse revolution: from film to aquaponics and led lighting]. *AgroForum*, 2023, no. 2, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/revolyutsiya-teplichnyh-kompleksov-ot-plyonki-do-akvapioniki-i-led-osveshcheniya> (accessed 07 October 2024).

7. Yurina N. A. Ispol'zovanie akvapionnogo metoda [Using the aquaponic method]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, no. 10 (112), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-akvapionnogo-metoda> (accessed 07 October 2024).

8. Yushko L. V., Kurapova T. M. Sozдание i ekspluatatsiya akvapionnoy ustanovki [Setting up and operating an aquaponic system]. *Materialy Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i kursantov "Dni nauki"* (g. Kaliningrad, 12–25 aprelya 2021 g.) [Proc. Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students and Cadets "Science days" (Kaliningrad, April 12–25, 2021)]. Kaliningrad, Obosoblennoe strukturnoe podrazdelenie "Baltiyskaya gosudarstvennaya akademiya rybopromyslovogo flota" FGBOU VPO "Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet", 2021, pp. 135–139.

9. Kupinskiy S. B. *Produktsionnye vozmozhnosti ob"ektov akvakul'tury* [Productive capacity of aquaculture facilities]. Astrakhan', Dmitrovskiy filial Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2007, 142 p.

10. Reznikov V. F., Baranov S. A., Starikov E. A., Tolchinskiy G. I. Pervyy etap razrabotki uravneniy rosta ryb na vegetativnykh stadiyakh razvitiya [First stage in the development of fish growth equations at vegetative stages of development]. *Trudy*

Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta prudovogo rybnogo khozyaystva, Moscow, 1978, pp. 220-236.

11. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormlenie ryb v presnovodnoy akvakul'ture* [Feeding fish in freshwater aquaculture]. Moscow, VNIRO Publ., 2006. 360 p.

12. Lagutkina L. Yu., Ponomaryov S. V. K morfometricheskim pokazatelyam avstraliyskikh rakov (*Cherax quadricarinatus*) [On morphometric indices of Australian crayfish (*Cherax quadricarinatus*)]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2010, no. 2, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-morfometricheskim-pokazatelyam-avstraliyskikh-rakov-cherax-quadricarinatus> (accessed 08 October 2024).

13. State Standard 33045-2014 Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 19 p. (In Russian).

14. State Standard 18309-2014 Water. Methods for determination of phosphorus-containing matters. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 22 p. (In Russian).

15. State Standard 58797-2020 Drinking bottled water. Determination of mass concentration of dissolved oxygen. Measurement procedure. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 11 p. (In Russian).

Информация об авторах

Ю. А. Ромашова – магистрант направления «Водные биоресурсы и аквакультура», ведущий инженер кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

А. Б. Дельмухаметов – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой животноводства

Information about the author

Y. A. Romashova – master degree student of Aquatic bioresources and aquaculture, lead engineer of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

A. B. Del'muhametov – PhD in Biology, Head of Animal husbandry department

Статья поступила в редакцию 18.10.2024; одобрена после рецензирования 28.10.2024; принята к публикации 13.12.2024.

The article was submitted 18.10.2024; approved after reviewing 28.10.2024; accepted for publication 13.12.2024.