

**ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОПОННЫХ РАСТВОРОВ
ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИСКРОВЫМИ РАЗРЯДАМИ****А. А. Белов, И. В. Князева**

Реферат. Проблема гидропонных систем закрытого типа с рециркуляцией питательных веществ – отсутствие метода обработки, обеспечивающего как удаление вредных компонентов, так и активацию полезных для растений веществ. Цель исследования – оценка влияния на салат повторно используемых гидропонных растворов, обработанных искровыми разрядами. Экспериментальную работу выполняли в 2024 году в лабораторных условиях. Было проведено два опыта с кресс-салатом в «Smart экофермах». В первом эксперименте культуру выращивали на первичном гидропонном растворе без удобрений (контроль) и вторичном после однократного выращивания и обработки искровыми разрядами с добавлением удобрений (опытный вариант). Во втором эксперименте кресс-салат выращивали на вторичном гидропонном растворе с удобрениями без какой-либо предварительной обработки (контроль) и после обработки искровыми разрядами (опытный вариант). В первом эксперименте в опытном варианте масса кресс-салата увеличилась, по сравнению с контролем, в 2 раза, что объясняется отсутствием удобрений в последнем. Во втором эксперименте преимущество опытного варианта составило 8...12 %, что обусловлено положительным влиянием искровых разрядов на питательные вещества и их негативным воздействием на микрофлору гидропонного раствора. Это свидетельствует о потенциальной возможности применения искровых разрядов для обеззараживания повторно используемых гидропонных растворов вместо ультрафиолета, применяемого в последние годы при выращивании различного вида зеленных культур в тепличных хозяйствах. Преимуществом предлагаемого метода обработки служит стимулирование роста растений благодаря образованию активных форм кислорода и азота в дополнение к инактивации бактерий и грибов.

Ключевые слова: вода, искровые разряды, питательные растворы, повторное использование, салат (*Lepidium sativum*).

Введение. В последние годы современные тепличные хозяйства в основном используют гидропонные технологии выращивания салата [1]. Преимуществами, по сравнению с традиционными почвенными системами, выступают круглогодичное производство [2], отсутствие потребности в почве, ее подготовке, обработке, поливе, сниженный расход воды, энергосбережение [3] более четкая управляемость, контроль и обеспечение условий питания при выращивании салата [4].

Для оптимального использования воды и удобрений применяются повторные или возвратные технологии [5]. При этом обеззараживание питательных растворов либо отсутствует, либо осуществляется путем воздействия ультрафиолетом. В целом, это надежный, проверенный метод, однако он не оказывает влияние на минеральные элементы необходимо для питания растений [6]. Один из современных методов, которые находят все более широкое применение, в том числе в сельском хозяйстве – обработка воды плазмой [7, 8].

Обеззараживание питательных растворов с дополнительной активацией полезных веществ для минимизации вносимых удобрений при обработке искровыми разрядами для повторного использования в гидропонном выращивании салата, представляется актуальной темой исследования. Кроме того, отсутствуют российские и зарубежные исследования выращивания салата на повторно используемых питательных растворах в гидропонике.

Цель исследования – оценка влияния на салат повторно используемых гидропонных растворов, обработанных искровыми

разрядами.

Условия, материалы и методы. Экспериментальную работу выполняли в 2024 г. в лаборатории Электро-теплотехнологий и энергосбережения ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва).

В роли тест-культуры, вида салата был выбран кресс-салат крупнолистовой, причинами выбора которого послужили раннеспелость и холодостойкость. Кресс-салат выступает неприхотливым видом зелени с высоким содержанием полезных веществ. Готовый к употреблению урожай формируется спустя 2 недели после посева.

Для гидропонного выращивания использовали три «Smart экофермы» производства Xiaomi. Рабочая загрузка «Smart экофермы» составляет 5 л, габариты – 230 мм × 398 мм × 597 мм, количество светодиодов – 134, количество корзин с губками для посева семян – 14. Для обеспечения доступа кислорода к корням кресс-салата установлена насосная система, обеспечивающая циркуляцию воды, периодически включаемая и выключаемая посредством автоматики.

В роли исходной среды выращивания в исследованиях использовали водопроводную воду. Для питания использовали удобрения GroBro.

Первый эксперимент был выполнен по следующей схеме (рис. 1). На схеме показаны основные технологические операции, последовательность их выполнения, а также используемые материалы. Контрольный и два опытных урожая кресс-салата с одинаковой обработкой воды и идентичной дозой удобрений получили буквенно-цифровые коды соответственно

К, 5CO1 и 5CO2 (К – контрольный, 5 – доза удобрений, С – сточный, О – опытный, 1 или 2 – порядковый номер образца). Опытные образцы урожая сравнивали с контрольным.



Рис. 1 – Схема первого эксперимента

Опытные образцы повторно используемой воды получали следующим образом. Чистую водопроводную воду без какой-либо дополнительной подготовки и обработки заливали в емкости двух черных «Smart экоферм» объемом по 5 л в каждую. Производили посев 15-ти семян кресс-салата в каждую из 26-ти губок, которые помещали в индивидуальные корзины. Каждая «Smart экоферма» содержала по 13 укомплектованных корзин с губками, размещенными в воде под светодиодами. В течение двух недель выращивали кресс-салат, что соответствует одному или первичному циклу выращивания. Далее воду фильтровали от посторонних примесей, в том числе от остатков корней кресс-салата. Объем полученной воды после первичного выращивания кресс-салата и фильтрации составлял около 4,5 л. До рабочего объема «Smart экофермы» доливали около 0,5 л водопроводной воды. Кроме того, добавляли 5 мл удобрений на 5 л

воды в каждую из двух емкостей. Далее использованную воду с удобрениями, которую можно характеризовать как питательный раствор, обрабатывали искровыми разрядами. Затем проводили второй или вторичный цикл выращивания двух опытных образцов кресс-салата на повторно используемом питательном растворе в двух «Smart экофермах». Одновременно с этим проводили выращивание контрольного образца кресс-салата в третьей «Smart экоферме».

Для выращивания кресс-салата контрольного образца не использовали повторные питательные растворы. Была выбрана чистая водопроводная вода объемом 5 л без какой-либо электрофизической, химической или иной активации. Операции загрузки в емкость воды, посев семян и запуск оборудования были аналогичными.

Второй эксперимент был проведен по следующей схеме (рис.2).

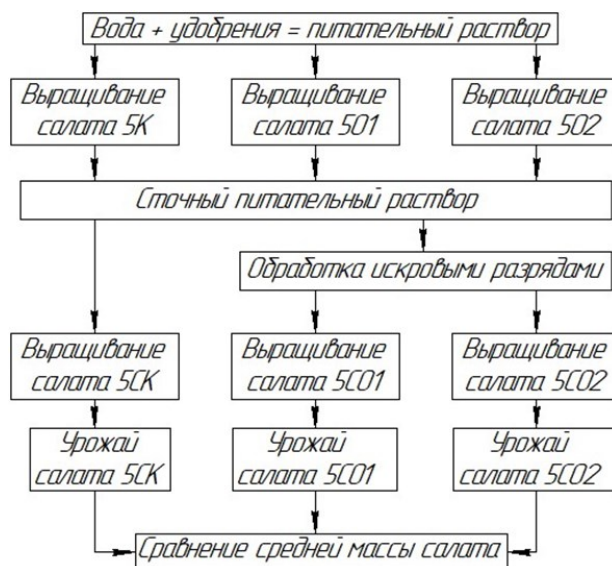


Рис.2 – Схема второго эксперимента

Опытные и контрольный образцы формировали по схожему принципу, как и в первом эксперименте, но с некоторыми отличиями. Удобрения вносили в воду на первом этапе, перед первичным циклом выращивания кресс-салата, получая при этом первичный питательный раствор. К тому же, особенности второго эксперимента заключались в контрольном образце. В роли контрольного образца был выбран повторный питательный раствор без обработки с добавлением удобрений (5СК). Посев семян кресс-салата осуществлялся

одновременно в три емкости как в первичном (5К, 5О1, 5О2), так и во вторичном (5СК, 5СО1, 5СО2) циклах выращивания.

Результаты и обсуждение. Всего на первичный и вторичный циклы выращивания первого эксперимента было затрачено 4 недели (апрель 2024 г.).

Общая масса кресс-салата контрольного образца К составляла 12 г (рис. 3), опытного образца 5СО1 – 23 г, 5СО2 – 24 г. Средняя масса кресс-салата опытных образцов была в 2 раза больше контрольного.



Рис.3 – Урожаи кресс-салата в «Smart экофермах»: слева направо К, 5СО1, 5СО2

Эффект повышения средней массы кресс-салата, в сравнении с контролем, был значительным. Причиной служит недостаточное питание растений контрольного варианта из-за отсутствия удобрений. Предположение о том, что кресс-салат при повторном выращивании на питательном растворе будет развиваться так же медленно, как и без удобрений в первичном цикле, вследствие нехватки питательных веществ, выдвинутое перед первым экспериментом, не подтвердилось.

Учитывая особенности результатов первого эксперимента, был проведен второй эксперимент. На выращивание кресс-салата в целом было затрачено 4 недели (май 2024 г.). Общая масса собранного урожая кресс-салата контрольного образца 5СК составляла 24 г, опытного образца 5СО1 – 27 г, 5СО2 – 26 г (рис. 4). Средняя масса одного растения всех трех образцов была около 0,13 г.

Был достигнут эффект повышения

средней массы кресс-салата на 8,3...12,5 %, в среднем по двум опытным экофермам – на 10,4 %.

Оба эксперимента были повторены еще по 2 раза. Общая повторность экспериментов была равна трехкратной. Результаты повторных экспериментов не отличались значимо от результатов ранее проведенных. Отклонения составляли не более 5 %.

Механизм роста массы салата можно обосновать синергетическим эффектом трех основных факторов [9]. Первый – это образование соединений нитратов в обработанных искровыми разрядами питательных растворах [10]. Второй – это формирование различных активных соединений кислорода, включая перекись водорода [11]. И третьим фактором можно считать дезинфицирующий эффект искровых разрядов, обработка которыми питательных растворов снижает концентрации бактерий и грибов [12].



Рис. 4 – Урожаи кресс-салата в «Smart экофермах»:слева направо 5СО1, 5СК, 5СО2

Относительно небольшой, но в пределах хорошей значимости, прирост урожая кресс-салата объясняется малым временем отстаивания повторного питательного раствора. В гидропонный повторный раствор вторичный посев семян кресс-салата был проведен в тот же день после окончания первичного цикла выращивания и уборки первого урожая. Бактерии и грибы не успевают появляться и размножаться в повторном гидропонном растворе. Поэтому контрольный образец необработанной воды обеспечивал хотя и не самые лучшие, как опытные образцы обработанной воды, но приемлемые условия для выращивания

кресс-салата.

Выводы. Тепличные зеленные культуры вполне можно выращивать на гидропонных питательных растворах, используемых повторно. Их обработка искровыми разрядами перед посевом кресс-салата повышает зеленую массу растений, в сравнении с необработанными, на 8...12 %. Улучшенный рост растений обусловлен синергетическим эффектом факторов активации питательных растворов, связанной с образованием полезных соединений нитратов и кислорода, и их дезинфекции при обработке искровыми разрядами.

Литература

- 1.Ценч Ю. С., Сидоров И. В. Этапы развития технологий и технических средств для внесения удобрений и защиты растений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18 (3). С. 14–22. doi:10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
- 2.Сравнительный анализ выращивания растения репы сорта Луна на гидропонике со светодиодным облучением и в открытом грунте / Д. А. Бурый, С. А. Качан, А. А. Смирнов и др. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 3 (52). С. 12–20.
- 3.Разработка энергосберегающих мероприятий для небольшого тепличного хозяйства / Р. Г. Большин, В. Ф. Стречевой, Н. П. Кондратьева и др. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4 (72). С. 50–57. doi:10.48012/1817-5457-2022-4-50-57.
- 4.Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods / G. L. Barbosa, F. D. A. Gadelha, N. Kublik, et al. // International journal of environmental research and public health. 2015. Vol. 12. No. 6. P. 6879–6891. doi:10.3390/ijerph120606879.
- 5.Некоторые вопросы о теплообеспеченности в системе «почва – растение – воздух» / И. И. Максимов, А. Р. Валиев, Е. П. Алексеев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4 (76). С. 81–87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87.
- 6.Lee S., Lee J. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods // Scientia horticulturae. 2015. 195. P. 206–215. doi:10.1016/j.scienta.2015.09.011.
- 7.Investigation of the yield of biologically active substances during the ultrasound and electro-discharge extraction of medicinal herbs of the foothills of the North Caucasus / A. Neftullayeva, S. Azimova, Yu. Maskurova, et al. // Potravinarstvo. 2023. Vol. 17. P. 217–230. doi: 10.5219/1843.
- 8.Влияние различных режимов обработки воды плазмой на прорастание семян *Raphanus sativus* L / Е. В. Морачевская, Е. С. Михалев, А. В. Камлер и др. // Проблемы агрохимии и экологии. 2024. № 3. С. 13–19. doi: 10.26178/AE.2024.86.44.002.
- 9.Plasma-activated water production and its application in agriculture / D. Guo, H. Liu, L. Zhou, et al. // Journal of the science of food and agriculture. 2021. Vol. 101. P. 4891–4899. doi: 10.1002/jsfa.11258.
- 10.Влияние электрогидравлической обработки на содержание нитратного азота в поливной воде/ А. А. Белов, А. Н. Васильев, Ю. А. Степанычев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 3 (59). С. 54–57.
- 11.Белов А. А. Применение технологии холодной атмосферной плазмы для обработки атмосферных сточных вод с целью повторного использования в сельском хозяйстве // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2 (81). С. 107–116. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_107.
- 12.Белов А. А. Влияние обработки искровыми разрядами на обеззараживание атмосферных сточных вод // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3 (67). С. 64–67. doi: 10.12737/2073-0462-2022-64-67.

Сведения об авторах:

Белов Александр Анатольевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории электро-теплотехнологий и энергосбережения, e-mail: belalexan85@gmail.com
Князева Инна Валерьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов, e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

REUSE OF HYDROPONIC SOLUTIONS AFTER SPARK DISCHARGE TREATMENT

A. A. Belov, I. V. Knyazeva

Abstract. The problem of closed-type hydroponic systems with nutrient recirculation is the lack of a processing method that ensures both the removal of harmful components and the activation of substances useful for plants. The aim of the study is to assess the effect of reused hydroponic solutions treated with spark discharges on lettuce. The experimental work was carried out in 2024 under laboratory conditions. Two experiments with watercress were conducted in “Smart eco-farms”. In the first experiment, the crop was grown on a primary hydroponic solution without fertilizers (control) and a secondary one after a single cultivation and treatment with spark discharges with the addition of fertilizers (experimental version). In the second experiment, watercress was grown in a secondary hydroponic solution with fertilizers without any preliminary treatment (control) and after spark discharge treatment (test variant). In the first experiment, the weight of watercress in the test variant increased by 2 times compared to the control, which is explained by the absence of fertilizers in the latter. In the second experiment, the advantage of the test variant was 8...12%, which is due to the positive effect of

spark discharges on nutrients and their negative effect on the microflora of the hydroponic solution. This indicates the potential for using spark discharges to disinfect reusable hydroponic solutions instead of ultraviolet light, which has been used in recent years to grow various types of green crops in greenhouses. The advantage of the proposed treatment method is the stimulation of plant growth due to the formation of active forms of oxygen and nitrogen in addition to the inactivation of bacteria and fungi.

Key words: water, spark discharges, nutrient solutions, reuse, lettuce (*Lepidium sativum*).

References

1. Tsench YuS, Sidorov IV. [Development stages of technologies and technical means for applying fertilizers and protecting plants]. *Selskokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2024; Vol.18 (3). 14-22 p. doi:10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
2. Burynin DA, Kachan SA, Smirnov AA. [Comparative analysis of turnip plants growing of Luna variety on hydroponics with LED irradiation and in open ground]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2023; Vol.70. 3 (52). 12-20 p.
3. Bolshin RG, Storchevoy VF, Kondrateva NP. [Development of energy-saving measures for a small greenhouse farm]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 4 (72). 50-57 p. doi:10.48012/1817-5457-2022-4-50-57.
4. Barbosa GL, Gadelha FDA, Kublik N, Proctor A, Reichelm L, Weissinger E, Wohlleb GM, Halden RU. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International journal of environmental research and public health*. 2015; 12 (6). 6879-6891 p. doi: 10.3390/ijerph120606879
5. Maksimov II, Valiev AR, Alekseev EP. [Some issues on heat supply in the "soil-plant-air" system]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 4 (76). 81-87 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87.
6. Lee S, Lee J. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia horticultrae*. 2015; 195. 206-215 p. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.011.
7. Neftullayeva A, Azimova S, Maskurova Yu. Investigation of the yield of biologically active substances during the ultrasound and electro-discharge extraction of medicinal herbs of the foothills of the North Caucasus. *Potravinarstvo*. 2023; Vol.17. 217-230 p. doi: 10.5219/1843.
8. Morachevskaya EV, Mikhalev ES, Kamler AV. [The effect of different modes of water plasma treatment on the germination of *Raphanus sativus* L seeds]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2024; 3. 13-19 p. doi: 10.26178/AE.2024.86.44.002.
9. Guo D, Liu H, Zhou L. Plasma-activated water production and its application in agriculture. *Journal of the science of food and agriculture*. 2021; Vol.101. 4891-4899 p. doi: 10.1002/jsfa.11258.
10. Belov AA, Vasilev AN, Stepanychev YuA. [Effect of electrohydraulic treatment on the content of nitrate nitrogen in irrigation water]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; Vol.15. 3 (59). 54-57 p.
11. Belov AA. [Application of cold atmospheric plasma technology for the treatment of atmospheric wastewater for the purpose of reuse in agriculture]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.17. 2 (81). 107-116 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_107.
12. Belov AA. [Effect of spark discharge treatment on disinfection of atmospheric wastewater]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 3 (67). 64-67 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-64-67.

Authors:

Belov Aleksandr Anatolevich – Doctor of Technical Sciences, chief researcher of Laboratory of Electrical and Thermal Technologies and Energy Saving, e-mail: belalexan85@gmail.com
 Knyazeva Inna Valerevna – Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher of Laboratory of Research of Technological Properties of Agricultural Materials, e-mail: knyazewa.inna@yandex.ru
 Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia.