4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование
и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-1-202-208

УДК 621.311

Влияние обработанной искровыми разрядами воды на гидропонное выращивание кресс-салата

А. А. Белов✉**,** доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Электро-, теплотехнологий и энергосбережения»

И. В. Князева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов»

О. В. Вершинина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории «Исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов»

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д.5

✉belalexan85@gmail.com

Резюме. Согласно многим исследованиям, обработка искровыми разрядами активирует некоторые питательные вещества в воде, обуславливая полезность такой воды для растений. Вместе с тем, в литературе отсутствуют данные о влиянии обработки гидропонной воды на выращиваемые тепличные культуры, что свидетельствует об актуальности темы. Работа направлена на подтверждение научного предположения о том, что обработанная искровыми разрядами вода будет способствовать ускоренному и улучшенному развитию салата при выращивании гидропонным способом в сравнении с необработанной. Салат выращивали в лабораторных условиях при температуре 20°С (г. Москва) в трех гидропонных установках в трех повторениях: контрольный вариант и два экспериментальных. Перед загрузкой в гидропонные установки воду экспериментальных вариантов обрабатывали при помощи экспериментального образца устройства обработки искровыми разрядами в течение 15 и 20 мин. Средняя длина растений кресс-салата, выращенного на обработанной в течение 15 мин воде, была больше, чем контрольных на 16 %. Общая зеленая масса экспериментальных образцов салата (обработка 15 мин) была больше, чем у контрольных на 14 %, и в среднем зеленая масса салата на экспериментальной (обработка 15 мин) воде была больше контрольной на 30 %. Эксперименты показали несущественные отличия в длине и массе кресс-салата при выращивании на воде, которую обрабатывали с увеличенной продолжительностью до 20 мин. Содержание нитратов в выращенных и контрольных, и экспериментальных вариантах соответствовало норме. Исследование показало практическую применимость обработки искровыми разрядами для гидропонного выращивания тепличных культур.

Ключевые слова: активация, гидропоника, искровые разряды, кресс-салат, устройство обработки воды.

Для цитирования: Белов А. А., Князева И. В., Вершинина О. В. Влияние обработанной искровыми разрядами воды на гидропонное выращивание кресс-салата // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №1 (69). С. 202-208. doi:10.18286/1816-4501-2025-1-202-208

The effect of spark discharge treated water on hydroponic cultivation of lettuce

A.A. Belov, I.V. Knyazeva, O.V. Vershinina

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy drive, 5

belalexan85@gmail.com

Abstract. According to numerous studies, spark discharge treatment activates some nutrients in water, making such water useful for plants. However, there are no data in **References** on the effect of hydroponic water treatment on greenhouse crops, which indicates the relevance of the topic. The work is aimed at confirming the scientific assumption that spark discharge treated water will promote accelerated and improved development of lettuce when cultivated hydroponically in comparison with untreated water. Lettuce was cultivated in laboratory conditions (Moscow) at a temperature of 20°C in three hydroponic installations in three repetitions: a control variant and two experimental ones. Before loading into hydroponic installations, water from the experimental variants was treated using an experimental sample of the spark discharge treatment device for 15

and 20 minutes. The average length of cress plants grown in water treated for 15 min was 16% greater than that of the control. The total green mass of the experimental lettuce samples (treated for 15 min) was 14% greater than that of the control, and on average, the green mass of lettuce in the experimental (treated for 15 min) water was 30% greater than that of the control. The experiments showed insignificant differences in the length and mass of cress when grown in water treated for an increased duration of up to 20 min. The nitrate content in both the control and the experimental variants corresponded to the normal values. The study demonstrated practical applicability of spark discharge treatment for hydroponic cultivation of greenhouse crops.
Key words: activation, hydroponics, spark discharges, cress, water treatment device.
For citation: Belov A.A., Knyazeva I. V., Vershinina O. V. The effect of spark discharge treated water on hydroponic cultivation of lettuce // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;1(69): 202-208 doi:10.18286/1816-4501-2025-1-202-208

Введение

В своей деятельности основополагающие задачи повышения урожайности, снижения себестоимости продукции, обеспечения качества продукции ставятся каждым сельхозпроизводителем [1]. С каждым годом в непрерывном режиме внедряются новые современные технологии и технические средства, электронные и автоматизированные, цифровые и компьютеризированные, и даже в некоторых случаях с применением нейросетей [2, 3, 4]. Тем не менее, актуальность этих задач не ослабевает. Не сложно прогнозируемой видится нарастающая из года в год важность решения вышеперечисленных задач, учитывая нынешнее время, в условиях импортозамещения, обеспечения продовольственной безопасности и самостоятельности этих самых передовых технологий [5]. Не будут в этой связи исключением тепличные хозяйства и комбинаты, которые используют гидропонику в современных условиях для обеспечения экономичности, производительности, всесезонности и качества [6].

Повышение урожайности тепличных культур достигается различными методами обработки как семян перед посадкой, воды перед поливом, так и питательных растворов в гидропонике [7].

Имеются актуальные исследования влияния высоковольтных искровых разрядов на воду с дальнейшим использованием в системах орошения сельскохозяйственных культур [8]. Причем электрогидравлические удары могут применяться для дробления, разбивки солевых примесей в воде в некоторых установках как часть комплексной обработки воды [9]. Последующая за этим магнитная обработка препятствует вторичному солеобразованию раскрепощенных примесных составляющих [10].

Имеются научные данные об интенсификации роста и развития зерновых, бобовых и других культур при использовании обработанного искровыми разрядами питательного раствора [11].

Динамика развития салата, в том числе физико-химические параметры, диаметр и длина ростков, улучшаются при использовании питательной воды, обработанного нетепловой плазмой искровых разрядов [12].

Следует отметить, что в литературе отсутствуют данные о влиянии какой-либо обработки гидропонной воды на выращиваемые тепличные культуры, что свидетельствует об актуальности темы. Выдвинуто научное предположение, для подтверждения или опровержения которого проводится исследование:

– обработанная вода искровыми разрядами будет способствовать ускоренному и улучшенному развитию кресс-салата при выращивании гидропонным способом в сравнении с необработанной.

Цель проводимых исследований – изучить влияние обработанной искровыми разрядами воды при помощи разработанного экспериментального образца устройства на кресс-салат при гидропонном выращивании.

Материалы и методы

Экспериментальный образец устройства обработки воды искровыми разрядами представлен на рисунке 1, прост в обслуживании, ремонте, сборке и разборке. Компоненты установки размещены в камере, состоящей из двух отсеков. Трансформатор с выпрямителем, вентилятор охлаждения, ограничительный резистор, конденсаторы, первый формообразующий разрядник и система управления размещены в одном отсеке. В другом отсеке находится второй формообразующий зазор, рабочий зазор и рабочий орган. Для защиты от шума искровых разрядов стенки камеры толщиной 100 мм выполнены звуконепроницаемыми с диэлектрическим заполнением. Для защиты от действия тока и напряжения металлический корпус камеры и ее электрооборудование подключаются к контуру заземления.

Экспериментальный образец устройства обработки воды искровыми разрядами представлен на рис. 1.

Формирующие зазоры 5 мм выполнены на алюминиевых шарах диаметром 80 мм. Рабочий зазор 1 мм выполнен по схеме «стержень-стержень». Наконечники анода и катода имеют площадь 1 мм². Диаметр электродов составляет 8 мм. Электроды, образующие рабочий зазор, герметично ввернуты в диэлектрический рабочий орган. В стенках рабочего органа шпильки рабочих электродов с наружной и внутренней сторон зафиксированы накидными гайками [13].

Рабочий орган в режиме обработки закрывается диэлектрической крышкой, в которой сформированы технологические отверстия для трубок подвода и отвода воды. Вентилятор УВ-360 предназначен для охлаждения трансформатора. Вентилятор включается при непрерывной работе трансформатора более 1 часа. Ограничительное сопротивление предназначено для снятия остаточного напряжения с конденсаторов после окончания работы. Система

управления состоит из коммутационного устройства включения предельного сопротивления, рукоятки изменения первого образующего промежутка, блока автоматических выключателей, регулировки напряжения автотрансформатором SK2.1LTR0500 и контроля тока амперметром EONE ET201.



Рис. 1. Экспериментальный образец устройства обработки воды искровыми разрядами: *1 – вентиляторы охлаждения; 2 – сопротивление ограничительное; 3 – система контроля и управления; 4 – трансформатор высоковольтный; 5 – конденсаторы накопительные; 6 – рабочий орган; 7 – промежутки формирующие*

Единовременно рабочий орган устройства позволяет обрабатывать 2,5 л воды. В опытах в качестве основы питательного раствора использовалась вода городская проточная, далее вода.

Выбор выращиваемой овощной культуры, а именно кресс-салата, обусловлен его неприхотливостью, простотой разведения и скоростью роста. В экспериментах использовали сорт кресс-салата Крупнолистовой (производитель Аэлита).

Так как после обработки искровыми разрядами вода становится источником питательных веществ, целесообразно доставлять их максимально быстро по наиболее короткой цепочке до растений. При выращивании в грунте или торфе посредником между водой и семенами (корнями, стеблями) выступает почва, в которой оседают активированные в воде питательные вещества. Необходимость в лишнем звене цепочки питания при гидропонном выращивании отпадает. Гидропоника наилучшим образом подходит для настоящего исследования, так как позволяет напрямую доводить активированные питательные вещества растениям кресс-салата [14].

Для выращивания салата использовали установку «Гидропонный умный сад SP-SG18» мощностью 50 Ватт, вместительностью 5 л, далее гидропонная установка. Принцип работы гидропонных установок основывается на закладке семян в конусовидную губку, которая погружается широкой частью в сепаратор, а более узкой – в питательный раствор. Над семенами, а затем по мере их развития над выращиваемыми растениями размещается светодиодный светильник [15].

В качестве контроля использовали воду объемом 5 л без какой-либо обработки. Согласно научному предположению исследования о том, что кресс- салат будет развиваться лучше, и масса его будет больше при обработке искровыми разрядами питающей его семена и корни воды, двумя экспериментальными вариантами будут выступать обработанные искровыми разрядами образцы воды в течение 15 мин и 20 мин.

Таким образом, в исследовании сравнивали 1 контрольный образец воды с 2-мя экспериментальными вариантами.

Эксперименты был проведены в 2024 г. В каждую конусовидную губку было посеяно 15 семян кресс-салата. Каждая гидропонная установка вмещает 13 губок. Общее количество – 195 семян в каждой гидропонной установке. Салат выращивали 7 суток.

Эксперимент был повторен трижды, в апреле, мае и в июне. Внешний вид кресс-салата в повторных экспериментах был похожим, поэтому не приведен в фото -формате. Рост салата выражался в основных параметрах, таких как средняя длина, общая и средняя масса отдельно корней, зеленой массы и их суммы. Помимо этих показателей в выращенном салате измеряли содержание нитратов.

Определение нитратов проводили методом капиллярного электрофореза при длине волны 374 нм с использованием аналитического комплекса на основе системы капиллярного электрофореза "Капель - 205" (Россия).



Рис. 2. Внешний вид кресс-салата: слева направо контроль, обработка 15 мин и обработка 20 мин

Результаты

Внешний вид кресс-салата на 7-е сутки представлен на рис. 2.

Общая всхожесть семян по всем трем установкам была 99 %, поэтому количество растений принято одинаковым. Результаты экспериментов в усредненном виде по трем повторениям выращивания салата в 3-х гидропонных установках приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели салата и содержание нитратов

№ п/п	Показатель	Контроль	Обработка 15 мин	Обработка 20 мин
1	Количество растений, шт.	194	194	194
2	Средняя длина растения, мм	25	29	30
3	Общая масса корней, г	4	6	7
4	Общая зеленая масса, г	7	8	8
5	Средняя масса одного корня, г	0,02*	0,03*	0,04*
6	Средняя зеленая масса растения, г	0,03*	0,04*	0,04*
7	Средняя масса 1 ростка (корень + зеленая масса), г	0,05*	0,07*	0,09*
8	Нитраты в салате, мг/кг (норма 20 мг/кг)	50	52	53

*Прим.: *Средний вес округлен до сотых долей*

Средняя длина растений кресс-салата, выращенных на обработанной в течение 15 мин воде, была больше, чем контрольных на 16 %. Общая зеленая масса экспериментальных образцов салата (обработка 15 мин) была больше, чем у контрольных на 14 %, и средняя зеленая масса салата на экспериментальной (обработка 15 мин) воде была больше контрольной на 30 %. Общая масса имела такую же значимость, как и средняя, так как всхожесть составляла 99 %. Эксперименты показали несущественные отличия в длине и массе салата при выращивании на воде, обработка которой производилась с увеличенной продолжительностью до 20 мин. Так по сравнению с 15-ной обработкой общая зеленая масса изменилась незначительно, не более 5 %.

Количеством не проросших семян (1 % или 1 семя) можно пренебречь, так как они могут влиять на показатель общего веса в пределах погрешности измерений и суммарной возможной ошибки проведения опыта 5 %.

Содержание нитратов было больше на 5…6 % (2…3 мг/кг от нормы в 50 мг/кг) в кресс-салате, выращенном на обработанной в течение 15…20 мин воде, чем в контроле. Процент превышения был не выше порогового уровня возможной ошибки эксперимента. К тому же содержание нитратов в выращенных и контрольных, и экспериментальных вариантах соответствовало норме в 50 мг/кг. Тем самым определена безвредность активации воды предлагаемым методом обработки искровыми разрядами на выращиваемые овощи на примере кресс-салата применительно к содержанию нитратов в них.

Обсуждение

В целом, по результатам экспериментов научное предположение в отношении улучшенного развития кресс-салата на воде, обработанной искровыми разрядами, подтвердилось.

Активация роста кресс-салата на обработанной искровыми разрядами воде объясняется образованием в ней активных форм кислорода и азота, которые выступают дополнительным питанием для кресс-салата при выращивании [16]. Такая трактовка полученных данных сформировалась как на собственных ранее полученных результатах, так и на базе публикаций многих отечественных [17] и зарубежных исследователей [18].

Научная значимость настоящего исследования заключается в обоснованном и достоверном доказательстве положительного влияния обработанной искровыми разрядами воды на гидропонное выращивание кресс-салата. Этих научных результатов пока недостаточно для внедрения в производственные линии тепличных комбинатов, но достаточно для подтверждения существенности и

целесообразности проведения подобных исследований на других растениях. Также полученные результаты вполне отражают данные других авторов не только по влиянию на рост самих растений, но и их семян [19]. Кроме того, изложенные эксперименты не противоречат законам физики, химии, общепринятым нормам растениеводства в условиях гидропоники. Более того, применение разработанной установки не ограничивается растениеводством и может иметь ценность для измельчения угля, выращивания аквакультуры [20] и для многих других целей в самых различных сферах.

Фундаментальные химические и физические основы применяемой в работе технологии известны. Прикладные аспекты показанной технологии обработки искровыми разрядами воды характеризуются научной недоисследованностью и имеют нерешенные практические проблемы. Показанное исследование не идет вразрез с научной информацией, имеющейся в литературе. Однако вносит свой вклад в формирование полноты и глубины механизма использования искровых разрядов для обработки воды.

Заключение

Экспериментальная проверка возможности повышения урожая тепличных культур на примере кресс-салата обработкой искровыми разрядами воды для гидропоники в течение продолжительности от 15-ти до 20-ти минут показала существенное увеличение длины ростков (на 16…20 %) и общей зеленой массы кресс-салата (на 14…19 %) в сравнении с выращиванием на необработанной воде. В экспериментах содержание нитратов в кресс-салате при выращивании на обработанной воде было больше на 5…6 %, чем на необработанной. Полученные в настоящем исследовании данные позволяют утверждать о прикладной научной значимости и практической пользе обработки искровыми разрядами воды для гидропонного выращивания тепличных культур, что показано на конкретном примере кресс-салата.

Литература

1. Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин / Р. Н. Задорожний, И. В. Романов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 4. С. 82-86.

2. Показатели качества работы автоматизированной машины для ухода за растениями картофеля в селекции и семеноводстве / Н. В. Сазонов, М. А. Мосяков, В. С. Тетерин и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18. № 1. С. 60-67.

3. Папихин Р. В., Муратова С. А. Применение ультразвукового излучения для стимуляции прорастания картофеля in vitro // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 11. С. 40-45. doi:10.53859/02352451_2024_38_11_40. EDN CYZJJD.

4. Влияние спектрального состава светодиодного досвечивания на рост и развитие микрорастений рода Rubus L. на этапе адаптации / М. Л. Дубровский, Р. В. Папихин, С. А. Муратова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 9. С. 17-24. doi:10.53859/02352451_2024_38_9_17. EDN KOIBZT.

5 Будников Д. А. Система управления экспериментальной установкой электрофизического воздействия на зерно // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 2 (66). С. 59-67.

6. Разработка энергосберегающих мероприятий для небольшого тепличного хозяйства / Р. Г. Большин, В. Ф. Сторчевой, Н. П. Кондратьева и др. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4 (72). С. 50-57.

7. Effect of Plasma Activated Water Foliar Application on Selected Growth Parameters of Maize (Zea Mays L.) / P. Skarpa, D. Klofac, F. Krcma. et al. // Water. 2020. Vol. 12. No. 12. P. 3545.

8. 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.

9. Rukomoynikov A. A., Abdeev E. R., Mikhailov Yu. V. Study of the Effect of Electrohydraulic Discharge on Rock Waste in Liquid Medium // Petrol. Eng. 2021. Vol. 19. No. 5. P. 149-156.

10. Наумова О. В., Спиридонова Е. В., Катков Д. С. Устройство для водоподготовки и очистки воды // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 89-91.

11. Наумова О. В., Чесноков Б. П. Свойства воды и ее роль в повышении урожайности зерновых культур // Аграрный научный журнал. 2015. № 10. С. 41-43.

12. Non-thermal Plasma Activated Water for Increasing Ger-Mination and Plant Growth of Lactuca Sativa L. / H. A. Q. Than, T. H. Pham, D. K. V. Nguyen, et al. // Plasma Chem. Plasma P. 2022. Vol. 42. P. 1-17.

13. Белов А. А. Обоснование параметров и режима работы лабораторной электрогидравлической установки для обеззараживания воды // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 4 (67). С. 167-173.

14. Вершинина О. В., Князева И. В. Технологические приемы выращивания кориандра на вертикальных стеллажах // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2 (58). С. 100-106.

15. Ракутько С. А., Ракутько Е. Н., Медведев Г. В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 2. С. 40-48. doi:10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48

16. Белов А. А. Влияние полива водой после обработки искровыми разрядами на рост и развитие редиса // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 21-25. doi:10.28983/asj.y2023i10pp21-25

17. Piskarev I. M. Water Activated by Air Spark Plasma Radiation // High Energy Chemistry. 2019. Vol. 53. No. 1. P. 82-86.

18. Plasma-Activated Water: Physicochemical Properties, Microbial Inactivation Mechanisms, Factors Influencing Antimicrobial Effectiveness, and Applications in the Food Industry / Y. M. Zhao, D. W. Sun, A. Patange, et al. // Compr. Rev. Food Sci. F. 2020. Vol. 19. No. 6. P. 3951-3979.

19. 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

20. Юницкий А. Э., Першай Н. С., Арнаут С. А. Варианты применения электрогидроударной установки в условиях проживания людей в космосе // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: Сборник материалов VI международной научно-технической конференции, Марьина Горка, 07–08 октября 2023 года. Минск: ГП "СтройМедиаПроект". 2024. С. 322-335.

References

1. Improvement of irrigation efficiency by selecting the design of sprinkler machines / R. N. Zadorozhny, I. V. Romanov // Agricultural machinery and technology. 2023. Vol. 17. No.4. P. 82-86.

2. Performance parameters of an automated machine for caring for potato plants in breeding and seed production / N. V. Sazonov, M. A. Mosyakov, V. S. Teterin, et al. // Agricultural machinery and technology. 2024. Vol. 18. No.1. P. 60-67.

3. Papikhin R. V., Muratova S. A. Usage of ultrasonic radiation to stimulate potato germination in vitro // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2024. Vol. 38, No.11. P. 40-45. doi:10.53859/02352451_2024_38_11_40. EDN CYZJJD.

4. The influence of the spectral composition of LED supplementary lighting on growth and development of micro plants of Rubus L. genus at the adaptation stage / M. L. Dubrovsky, R. V. Papikhin, S. A. Muratova et al. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2024. Vol. 38, No.9. P. 17-24. doi:10.53859/02352451_2024_38_9_17. EDN KOIBZT.

5 Budnikov D. A. Control system of the experimental device for electrophysical impact on grain // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2022. Vol. 17. No. 2 (66). P. 59-67.

6. Development of energy-saving measures for a small greenhouse / R. G. Bolshin, V. F. Storchevoy, N. P. Kondratieva, et al. // Vestnik of Izhevsk State Agricultural Academy. 2022. No.4 (72). P. 50-57.

7. Effect of Plasma Activated Water Foliar Application on Selected Growth Parameters of Maize (Zea Mays L.) / P. Skarpa, D. Klofac, F. Krcma, et al. // Water. 2020. Vol. 12. No. 12. P. 3545.

8. Effect of electrohydraulic treatment on the content of nitrate nitrogen in irrigation water / A. A. Belov, A. N. Vasiliev, Yu. A. Stepanychev, et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2020. Vol. 15. No. 3 (59). P. 54-57.

9. Rukomoynikov A. A., Abdeev E. R., Mikhailov Yu. V. Study of the Effect of Electrohydraulic Discharge on Rock Waste in Liquid Medium // Petrol. Eng. 2021. Vol. 19. No. 5. P. 149-156.

10. Naumova O. V., Spiridonova E. V., Katkov D. S. Device for water treatment and purification // Agrarian scientific journal. 2022. No. 4. P. 89-91.

11. Naumova O. V., Chesnokov B. P. Properties of water and its role in increasing grain crop yields // Agrarian scientific journal. 2015. No.10. P. 41-43.

12. Non-thermal Plasma Activated Water for Increasing Ger-Mination and Plant Growth of Lactuca Sativa L. / H. A. Q. Than, T. H. Pham, D. K. V. Nguyen, et al. // Plasma Chem. Plasma P. 2022. Vol. 42. P. 1-17.

13. Belov A. A. Justification of the parameters and operating mode of a laboratory electrohydraulic unit for water disinfection // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2020. Vol. 13. No. 4 (67). P. 167-173.

14. Vershinina O. V., Knyazeva I. V. Technological methods for growing coriander on vertical racks // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. No.2 (58). P. 100-106.

15. Rakutko S. A., Rakutko E. N., Medvedev G. V. Development of an experimental phytotron and its application in research on the energy ecology of light culture // Agricultural machinery and technologies. 2023. Vol. 17. No.2. P. 40-48. doi:10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48

16. Belov A. A. Effect of watering with water after spark discharge treatment on the growth and development of radish // Agrarian scientific journal. 2023. No.10. P. 21-25. doi:10.28983/asj.y2023i10pp21-25

17. Piskarev I. M. Water Activated by Air Spark Plasma Radiation // High Energy Chemistry. 2019. Vol. 53. No.1. P. 82-86.

18. Plasma-Activated Water: Physicochemical Properties, Microbial Inactivation Mechanisms, Factors Influencing Antimicrobial Effectiveness, and Applications in the Food Industry / Y. M. Zhao, D. W. Sun, A. Patange, et al. // Compr. Rev. Food Sci. F. 2020. Vol. 19. No.6. P. 3951-3979.

19. Effect of different modes of water plasma treatment on seed germination of Raphanus sativus L / E. V. Morachevskaya, E. S. Mikhalev, A. V. Kamler, et al. // Problems of Agrochemistry and Ecology. 2024. No. 3. P. 13-19.

20. Yunitskiy A. E., Pershai N. S., Arnaut S. A. Options for using an electrohydropercussion unit in conditions of human habitation in space // Rocketless industrialization of near space: problems, ideas, projects: Collection of materials of the VI international scientific and technical conference, Maryina Gorka, October 7-8, 2023. Minsk: State Enterprise "StroyMediaProekt". 2024. P. 322-335.