

УДК 57.043; 631.53.027

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ПЛАЗМОЙ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА И ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ *OCIMUM BASILICUM*

А.С. Минич¹, И.Б. Минич¹, С.В. Кудряшов², А.Ю. Рябов², А.Н. Очередько²

¹ *Томский государственный педагогический университет, г. Томск, Россия*

² *Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия*

Представлены результаты исследования изменения посевных качеств семян *Ocimum basilicum* ‘Гвоздичный’ после их обработки плазмой барьерного разряда в воздушной среде в течение 5, 10, 15 и 20 с, роста, развития и продуктивности растений, выращиваемых из них. Установлено, что обработка плазмой приводит к улучшению посевных качеств семян от 20% до 83%. С увеличением времени обработки семян плазмой положительное влияние на энергию прорастания уменьшается, а на всхожесть увеличивается. Обработка семян плазмой в течение 5, 10 и 15 с не приводит к изменениям продуктивности растений, выращенных из них. При выращивании растений из семян, обработанных плазмой в течение 20 с, наблюдалась активация ростовых процессов, ускоренное развитие и повышение продуктивности. По сравнению с контрольными растениями они имели больше на 25% площадь поверхности листьев, на 54% число листьев, соответственно на 25% и 39% сырой и сухой биомассы растений. Увеличение ассимилирующей поверхности происходило как за счет большего числа листовых пластинок, так и за счет увеличения их размера, что не связано с изменениями содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений. Технология обработки семян плазмой барьерного разряда в воздушной среде может применяться для улучшения посевных качеств семян и повышения продуктивности растений *Ocimum basilicum* ‘Гвоздичный’.

Ключевые слова: *Ocimum basilicum*; плазма барьерного разряда; качество семян; морфогенез; продуктивность

USING THE TECHNOLOGY OF PRE-SOWING SEED TREATMENT WITH BARRIER DISCHARGE PLASMA IN THE AIR TO IMPROVE THEIR QUALITY AND INCREASE THE PRODUCTIVITY OF *OCIMUM BASILICUM*

A.S. Minich¹, I.B. Minich¹, S.V. Kudryashov², A.Yu. Ryabov², A.N. Ocheredko²

¹ *Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia*

² *Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, Tomsk, Russia*

The results of a study of changes in the sowing qualities of *Ocimum basilicum* ‘Gvozdichny’ seeds after their treatment with barrier discharge plasma in air for 5, 10, 15 and 20 s are presented, the growth, development, and productivity of the plants grown from them. Plasma treatment has been established to lead to an improvement in the sowing quality from 20% to 83%. With increasing time for seed treatment with plasma, the positive effect on germination energy decreases and on germination increases. Treatment of seeds with plasma for 5, 10 and 15 s does not lead to changes in the productivity of plants grown from them. When plants from seeds treated with plasma for 20 s, activation of growth processes, accelerated development, and increased productivity was observed. Compared to control plants, they had 25% more leaf surface area, 54% more number of leaves, 19% and 71% more wet and dry biomass from the upper vegetative parts of plants, and 33% and 74% more wet and dry root biomass. The increase in the assimilating surface occurred both as a result of a larger number of leaf blades and as a result of an increase in their size, which is not associated with changes in the content of photosynthetic pigments in the leaves of plants. The technology of seed treatment with barrier discharge

plasma in air can be used to improve the sowing qualities of seeds and increase the productivity of *Ocimum basilicum* ‘Gvozdichny’ plants.

Keywords: *Ocimum basilicum*; barrier discharge plasma; seed quality; morphogenesis; productivity

Введение. Для повышения всхожести семена растений подвергаются предпосевной обработке, в том числе плазмой барьерного разряда плазмой [1-3]. Показано, что при обработке такой плазмой поверхность семян становится гидрофобной, вследствие чего улучшается смачиваемость и повышается поглощение воды [4]. Это способствует проникновению активных частиц плазмы внутрь семени через семенной слой, нарушается состояние покоя и активизируется использование запасов семени за счет изменения гормональной и ферментативной активности [1-6]. При этом семена подвергаются дезинфекции, с их поверхности удаляются микотоксины и микробные слои [5]. Такое комплексное воздействие плазмы на семена может не только улучшать их посевные качества за счет повышения их всхожести и раннего прорастания, но активировать ростовые процессы и повышать продуктивность растений, выращенных из них [1-4].

Наличие эффекта изменения посевных качеств семян при обработке их плазмой и повышения продуктивности выращиваемых из них растений определяется несколькими факторами. Во-первых, параметрами плазмы (источника, мощности, вида и расхода разрядного газа и пр.), которые определяют вид и концентрацию образующихся активных частиц [1]. Во-вторых, продолжительностью обработки семян плазмой и видовой специфики растений (размера семени, толщины семенной кожуры и пр.) [1, 7-8]. В качестве разрядного газа используется воздух, аргон, гелий, кислород, азот, смеси этих газов, а для генерации плазмы – коронный разряд, диэлектрический барьерный разряд, плазменная струя атмосферного давления и др. [1, 7-8]. Вследствие разных параметров внутри плазмы протекают различные физико-химические процессы и образуется множество различных активных частиц [1, 8].

Базилик душистый является распространенной культурой, выращиваемой в светокультуре, в открытом и защищенном грунтах [9-10]. В настоящее время в литературе представлены единичные сведения об изменении продуктивности базилика душистого, выращиваемого из обработанных плазмой семян, показана возможность повышения его продуктивности [1, 10]. В качестве источника плазмы для обработки семян базилика применяется барьерный разряд, а в качестве разрядного газа используется аргон или кислород [1, 10]. Однако отсутствуют какие-либо данные о применении в качестве разрядного газа воздуха, являющегося более дешевым по сравнению с аргоном и кислородом, при обработке семян базилика плазмой барьерного разряда. Показано, что обработка семян *Raphanus sativus* плазмой барьерного разряда в среде воздуха способствует активации роста растений, не наблюдающегося при их обработке с использованием аргона в качестве разрядного газа [8].

Цель работы – изучение влияния на качество семян, изменения ростовых процессов и продуктивности базилика душистого предпосевной обработки его семян плазмой барьерного разряда в воздушной среде.

Материалы и методы. Объектом исследований являлся базилик душистый (*Ocimum basilicum* L.) ‘Гвоздичный’ (производитель семян – ООО «Агрофирма «СеДек», Россия).

Семена обрабатывались в плазмохимическом реакторе с планарным расположением электродов и одним диэлектрическим барьером из стеклотекстолита толщиной 2 мм. Площадь высоковольтного электрода составляла 48 см², величина разрядного промежутка – 2 мм, амплитуда высоковольтных импульсов напряжения – 9 кВ, частота повторения – 2 кГц. Заземленным электродом реактора служило латунное основание, а закрепленная на поверхности диэлектрика из стеклотекстолита медная фольга – высоковольтным электродом. Барьерный разряд инициировался высоковольтными импульсами напряжения, управляемыми генератором. Осциллограммы импульсов регистрировались с использованием делителя

напряжения, емкостных и токовых шунтов на двухканальном цифровом осциллографе Tektronix TDS 380 (Tektronix, США). Рассчитанная активная мощность плазмы БР при данных параметрах реактора соответствовала ~ 7 Вт. Разрядный промежуток между электродами объемом $9,6 \text{ см}^3$ служил для закладки семян. Температура реактора равнялась 25°C . Во всех экспериментах расход воздуха на входе в реактор составлял ~ 200 мл/мин. Принципиальная схема экспериментальной установки, продольное сечение реактора, осциллограммы высоковольтных импульсов напряжения и вольт-кулоновская характеристика БР представлены в работе [7].

Перед обработкой семена калибровались по массе и размеру. Семена одной фракции равномерно располагались в разрядной зоне реактора, занимая около 70% от ее площади. Выбор продолжительности (5, 10, 15 и 20 с) обработки семян плазмой барьерного разряда и воздуха в качестве газовой разрядной среды сделаны исходя из опубликованных результатов исследований. Показано, что обработка семян базилика в среде аргона данной продолжительности способствует улучшению их посевных качеств и может приводить к повышению продуктивности растений, выращиваемых из таких семян [9]. Установлено, что использование плазмы барьерного разряда в воздушной среде для обработки семян различных видов растений способствует уменьшению времени их прорастания и активации ростовых процессов [1, 10].

Оценка посевных качеств семян проводилась в соответствии с межгосударственным стандартом 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур (Agricultural seeds. Methods for determination of germination)». В чашки Петри помещались три слоя фильтровальной бумаги, проводилось ее увлажнение дистиллированной водой, на поверхность бумаги раскладывались семена. Чашки Петри с семенами помещались под лампы ДНАЗ-150 (ООО «Рефлекс», Россия) с интенсивностью светового потока 120 Вт/м^2 . Семена проращивались с фотопериодом 16 ч – свет, 8 ч – темнота. Температура воздуха в течение 6 ч составляла 20°C , 18 ч – 30°C .

Для выращивания растений семена базилика высевались в контейнеры с дренажными отверстиями в почвенный грунт, состоящий из чернозема, перегноя и торфа. Контейнеры помещались на 35 суток под лампы ДНАЗ-150 (ООО «Рефлекс», Россия). Использовались аналогичные фотопериод и интенсивность светового потока, что и при оценке посевных качеств семян. Температура воздуха составляла $24 \pm 1^\circ\text{C}$.

У растений базилика каждые 7 суток проводились измерения морфометрических показателей и определялось содержание фотосинтетических пигментов в их листьях.

Определение сырой массы и массы сухого вещества растений проводилось взвешиванием на электронных аналитических весах Acculab ALC-210d4 (Acculab, USA). Растения выкапывались из грунта, корневая система промывалась водой, лишняя влага удалялась фильтровальной бумагой. Для определения сухой биомассы растения высушивались в сушильном шкафу при температуре 103°C до постоянного веса.

Определение площади ассимилирующей поверхности растений проводилось с использованием программы по вычислению площади сложных фигур «AreaS» (Самарская государственная сельскохозяйственная академия, Россия). Работа программы основана на сканировании фигур (исследуемых фигур и шаблона с известной площадью), и расчетом площади исследуемых фигур при сравнении с площадью шаблона (погрешность определения – не более 0,001%).

Содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в листьях базилика определялось на спектрофотометре UV-VIS spectrophotometer Shimadzu UV-2600 (Shimadzu Corporation, Japan) с последующим расчетом по формуле Хольма – Ветшттейна для 100% ацетоновых вытяжек [7].

В качестве контроля использовались необработанные плазмой барьерного разряда семена и растения, выращенные из них. Оценка достоверности результатов исследований проводилась при 95% уровне надежности (уровень значимости – 0,05). В таблицах приведены средние арифметические значения с двухсторонним доверительным интервалом из трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях на 50

растениях. За результат анализа лабораторной всхожести и энергии прорастания принимались среднеарифметические значения данных анализа четырех проб по 100 семян в каждой при допустимом расхождении результатов, указанных в межгосударственном стандарте 12038-84.

Результаты и обсуждение. Обработка семян базилика плазмой барьерного разряда в воздушной среде в течение 5, 10, 15 и 20 с способствует улучшению их посевных качеств, причем изменение величин энергии прорастания и лабораторной всхожести имеет разнонаправленный характер (табл. 1).

Таблица 1.

Всхожесть и энергия прорастания семян *Ocimum basilicum* ‘Гвоздичный’, необработанных (контроль) и обработанных плазмой барьерного разряда в воздушной среде

Время обработки семян плазмой барьерного разряда, с	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
контроль	37,5 ± 4,0	37,5 ± 4,0
5	57,1 ± 5,9	57,1 ± 4,0
10	52,1 ± 6,0	57,5 ± 4,9
15	50,0 ± 4,8	62,5 ± 5,9
20	45,0 ± 3,1	70,0 ± 3,8

Максимальное увеличение энергии прорастания (на 52%) относительно контроля наблюдалось у семян при их обработке плазмой в течение 5 с, при этом улучшение лабораторной всхожести (на 52%) было минимальным. С увеличением времени обработки положительное влияние на изменение энергии прорастания семян снижалось до 40%, 33% и 20% соответственно, а на изменение лабораторной всхожести – увеличивалось до 53%, 63% и 87% соответственно. Такой эффект, вероятно, связан с гидрофилизацией внешней поверхности семенного слоя из-за образования полярных групп, что способствует более интенсивному поглощению воды семенами и протеканию биохимических процессов [6].

При выращивании растений базилика в течение 35 суток из семян, обработанных 5, 10 и 15 с плазмой барьерного разряда в воздушной среде, т.е. из семян с улучшенными посевными качествами, достоверных изменений в морфометрических параметрах надземной части растений по сравнению с контролем не наблюдалось. Такой результат возможно связан с активным расходом запасов семени на прорастание, что в дальнейшем не способствует активации роста и развития растений [8]. У базилика, выращиваемого из обработанных плазмой барьерного разряда в течение 20 с семян, со второй недели наблюдался более интенсивный ростовой процесс относительно контроля. У таких растений на 35 сутки отметили увеличение числа листьев на 54%, площади поверхности листьев на 25%, сырой и сухой биомассы на 25% и 39% соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Морфометрические показатели 35-суточных растений *Ocimum basilicum* ‘Гвоздичный’, выращенных из семян, необработанных (контроль) и обработанных плазмой барьерного разряда в воздушной среде

Время обработки семян плазмой барьерного разряда, с	Кол-во листьев, шт.	Площадь поверхности листьев, см ²	Сырая биомасса, г	Сухая биомасса, г
контроль	14,81 ± 1,19	12,33 ± 0,83	14,65 ± 1,15	0,99 ± 0,09
5	13,62 ± 1,32	12,04 ± 1,09	15,21 ± 1,22	1,02 ± 0,13
10	14,01 ± 0,59	12,29 ± 0,24	14,83 ± 0,48	1,00 ± 0,03
15	14,33 ± 0,53	11,53 ± 0,95	14,19 ± 0,65	0,99 ± 0,09
20	22,80 ± 1,65	15,40 ± 0,91	18,28 ± 1,36	1,38 ± 0,13

Увеличение ассимилирующей поверхности в основном происходило за счет большего числа новых листовых пластинок.

Изменения морфометрических показателей опытных растений относительно контроля не связаны с уровнем накопления фотосинтетических пигментов в их листьях, содержание и динамика накопления которых достоверно не различались на протяжении всего периода вегетации. Такой результат является сходным с данными, полученными при выращивании базилика из семян, обработанных плазмой барьерного разряда в среде аргона [10]. Однако он отличается от результатов, полученных при исследовании влияния плазмы на семена других культур, в которых установлена корреляция между улучшением ростовых процессов растений и увеличением содержания хлорофилла [7]. Это указывает на видовую специфичность изменения протекания ростовых процессов растений, выращиваемых из семян, обработанных плазмой барьерного разряда.

Заключение. Обработка семян *Ocimum basilicum* ‘Гвоздичный’ плазмой барьерного разряда в воздушной среде во временном диапазоне от 5 до 20 с улучшает их посевные качества. Достоверное повышение продуктивности относительно контроля и других опытных растений наблюдается только у базилика, выращенного из семян, обработанных плазмой барьерного разряда в атмосфере воздуха в течение 20 с. Такой результат может определяться тем, что такая продолжительность обработки семян базилика при данных параметрах плазмы барьерного разряда приводит к образованию в оптимальных количествах и в оптимальном соотношении определенных видов активных частиц, которые проникают в семя и положительно изменяют некоторые метаболические процессы [1]. Результаты показывают, что обработка семян *Ocimum basilicum* ‘Гвоздичный’ плазмой барьерного разряда в воздушной среде может применяться для улучшения их посевных качеств и повышения продуктивности растений.

Библиографический список

1. Attri P., Ishikawa K., Okumura T., Koga K., Shiratani M. Plasma agriculture from laboratory to farm: a review // *Processes*. 2020. Vol. 8. PP. 1002–1021. doi:10.3390/pr8081002
2. Puač N., Gherardi M., Shiratani M. Plasma agriculture: A rapidly emerging field // *Plasma Process Polym.* 2017. e1700174. doi: 10.1002/ppap.201700174.
3. Ito M., Oh J.-S., Ohta T., Shiratani M., Hori M. Current status and future prospects of agricultural applications using atmospheric-pressure plasma technologies // *Plasma Process Polym.* 2017. e1700073. doi: 10.1002/ppap.201700073.
4. Randeniya L.K., de Groot G.J.J.B. Non-thermal plasma treatment of agricultural seeds for stimulation of germination, removal of surface contamination and other benefits: a review // *Plasma Processes Polym.* 2015. Vol. 12(7). PP. 608–623. doi: 10.1002/ppap.201500042.
5. Henselová M., Slovákova L., Martinka M., Zahoranová A. Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma // *Biologia*. 2012. Vol. 67(3). PP. 490–497. doi: 10.2478/s11756-012-0046-5.
6. Park Y., Oh K.S., Oh J., Seok D.C., Kim S.B., Yoo S.J., Lee M.-J. The biological effects of surface dielectric barrier discharge on seed germination and plant growth with barley // *Plasma Process Polym.* 2016. Vol. 15(6). P. 1600056. doi: 10.1002/ppap.201600056.
7. Minich A.S., Minich I.B., Chursina N.L., Ivanitskii A.E., Ochered'ko A.N. Changes in morphogenesis and productivity of *Lactuca sativa* L. lettuce by presowing treatment of seeds with dielectric-barrier discharge plasma // *High Energy Chemistry*. 2021. Vol. 55(3). PP. 243–248. doi: 10.1134/S0018143921030085.
8. Sarinont T., Amano T., Attri P., Koga K., Hayashi N., Shiratani M. Effects of plasma irradiation using various feeding gases on growth of *Raphanus sativus* L. // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2016. Vol. 605. P. 129–140. doi: 10.1016/j.abb.2016.03.024.
9. Полякова Н.М., Мартиросян Ю.Ц., Диловарова Т.А., Кособрюхов А.А. Фотосинтез и продуктивность у растений базилика (*Ocimum basilicum* L.) при облучении различными источниками света // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50. №1. С. 124–130. doi: 10.15389/agrobiology.2015.1.124rus
10. Minich A.S., Kudryashov S.V., Minich I.B., Chursina N.L., Vasil'ev S.E., Finicheva A.A., Ryabov A.Yu., Ochered'ko A.N. Influence of basil seeds treatment with dielectric-barrier discharge plasma in argon atmosphere on their sowing quality and plant morphogenesis and productivity // *High Energy Chemistry*. 2022. Vol. 56(5). PP. 374–379. doi: 10.1134/S0018143922050113.