

УДК 533.924;57.033

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН БАЗИЛИКА ДУШИСТОГО ПЛАЗМОЙ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА В АТМОСФЕРЕ АРГОНА НА ИХ ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА, МОРФОГЕНЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ

© 2022 г. А. С. Минич^а, *, С. В. Кудряшов^б, И. Б. Минич^а, Н. Л. Чурсина^а, С. Е. Васильев^а,
А. А. Финичёва^а, А. Ю. Рябов^б, А. Н. Очердько^б

^аФГБОУ ВО “Томский государственный педагогический университет”, ул. Киевская, 60, Томск, 634021 Россия

^бФГБУН “Институт химии нефти СО РАН”, пр. Академический, 4, Томск, 634055 Россия

*E-mail: minich@tspu.edu.ru

Поступила в редакцию 21.03.2022 г.

После доработки 20.05.2022 г.

Принята к публикации 20.05.2022 г.

Изучались посевные качества семян *Ocimum basilicum* “Гвоздичный” после их обработки плазмой барьерного разряда в течение 5, 10, 15 и 20 с в атмосфере аргона, морфогенез и продуктивность растений, выращенных из них. Показано, что обработка семян плазмой повышает их энергию прорастания и всхожесть на 32–97%, величина изменений определяется временем их обработки. Растения, выращенные из семян, обработанных в течение 10 с, отличались интенсивным ростом и повышенной продуктивностью относительно контроля. На конец вегетации они имели большее на 40% число листьев, большую на 28% площадь ассимилирующей поверхности, большую на 21% биомассу надземной части, большую в 3 раза биомассу корней.

Ключевые слова: *Ocimum basilicum*, барьерный разряд, аргон, предпосевная обработка, качество семян, морфогенез, продуктивность

DOI: 10.31857/S0023119322050114

ВВЕДЕНИЕ

Предпосевная обработка семян плазмой электрических разрядов находит все более широкое применение для улучшения предпосевных качеств семян, активации ростовых процессов и повышения продуктивности растений [1–4]. Отмечается, что обработка приводит к модификации поверхности семян и проникновению активных частиц плазмы внутрь семени через семенной слой [5, 6]. Происходит дезинфекция поверхности семян от митоксинов и микробов, улучшается смачиваемость поверхности семян и повышается водопоглощение [1–4, 6–10]. Активные частицы плазмы интенсифицируют использование запасов семени, меняют ферментативную активность и уровень фитогормонов [1, 3, 8, 10, 11]. Все эти процессы могут способствовать более раннему прорастанию и повышению всхожести семян, интенсивному росту и развитию, увеличению продуктивности растений, выращенных из них [1–7]. Отмечается, что изменения посевных качеств семян и морфогенеза растений определяется временем обработки семян плазмой, а величина изменений зависит от вида растения и ее параметров [5, 6, 10, 12, 13].

В сельском хозяйстве объемы производства базилика душистого возрастают. На посевные качества семян базилика, как и других культур, влияет их обработка перед посевом, но в настоящее время в литературе отсутствуют данные об использовании для этого плазмы электрических разрядов.

Цель работы – изучение влияния предпосевной обработки семян базилика душистого плазмой барьерного разряда (БР) в атмосфере аргона на их качество, рост, развитие и продуктивность выращенных из них растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Объектом исследований являлся базилик душистый (*Ocimum basilicum* L.) “Гвоздичный” (производитель семян – ООО “Агрофирма “Се-Дек”, 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 высо-

Таблица 1. Всхожесть и энергия прорастания семян *Ocimum basilicum* L. “Гвоздичный”, обработанных плазмой барьерного разряда в атмосфере аргона

Время обработки семян плазмой, с	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
0 (контроль)	38 ± 5	38 ± 4
5	50 ± 6	50 ± 7
10	75 ± 7	75 ± 6
15	75 ± 7	75 ± 7
20	50 ± 6	50 ± 5

ковольтных импульсов напряжения – 9 кВ, частота повторения – 2 кГц. Заземленным электродом реактора служило основание, выполненное из латуни, а высоковольтным электродом – медная фольга, приклеенная к поверхности диэлектрика из стеклотекстолита. БР инициировался высоковольтными импульсами напряжения, управляемыми генератором, осциллограммы импульсов регистрировались с использованием делителя напряжения, емкостных и токовых шунтов на 2-канальном цифровом осциллографе Tektronix TDS 380 (Tektronix, США). Рассчитанная активная мощность плазмы барьерного разряда при данных параметрах реактора соответствовала ~7 Вт. Разрядный промежуток между электродами объемом 9.6 см³ служил для закладки семян. Во всех экспериментах расход аргона на входе в реактор составлял ~200 мл/мин, температура реактора была постоянной и равнялась 25°C. Принципиальная схема экспериментальной установки, продольное сечение реактора, осциллограммы высоковольтных импульсов напряжения и вольт-кулоновская характеристика БР представлены в работе [13].

Семена, равномерно располагаясь в разрядной зоне реактора, занимали около двух третей площади. До и после воздействия электрическим разрядом семена дополнительной обработке не подвергались. Выбор времени обработки семян плазмой (5, 10, 15 и 20 с – опыт) и аргона в качестве среды, сделан на основании анализа литературных данных. Показано, что продолжительность обработки плазмой определяется естественной способностью семян к прорастанию, зависящего от вида растения [4, 6, 9], а использование плазмы в атмосфере аргона способствует активации ростовых процессов [1, 11, 14].

Семена проращивались и растения выращивались в светокультуре при температуре воздуха 24 ± 1°C под лампами ДНАЗ-150 (ООО “Рефлекс”, Россия) с интенсивностью светового потока 120 Вт/м² и фотопериодом 16 ч – свет, 8 ч – темнота. Семена для выращивания растений высевались в почву, состоящую из чернозема, перегноя и торфа. Контролем служили необработанные плазмой семена и растения, выращенные из них.

За результат анализа лабораторной всхожести и энергии прорастания семян принимались среднеарифметические значения данных анализа четырех проб по 100 семян в каждой при допустимом расхождении результатов, указанных в ГОСТ 12038-84. Семена помещались в чашки Петри, высланные тремя слоями увлажненной дистиллированной водой фильтровальной бумаги, и проращивались. Через 7 сут у растений проводились измерения морфометрических параметров и определялось содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов.

Для определения сырой и сухой биомассы растения вынимались из почвы, корни промывались водой, лишняя влага удалялась фильтровальной бумагой. Для измерения массы сухого вещества растения высушивались в сушильном шкафу при 103°C до постоянного веса. Взвешивание проводилось на электронных аналитических весах Acculab ALC-210d4 (Acculab, USA).

Для определения площади поверхности листьев растений использовалась программа “AreaS” (Самарская государственная сельскохозяйственная академия, Россия). Работа программы основана на сканировании исследуемой фигуры и шаблона с известной площадью, их сравнением с последующим расчетом площади исследуемой фигуры (погрешность не превышает 0.001%).

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений определялось на спектрофотометре UV-VIS spectrophotometer Shimadzu UV-2600 (Shimadzu Corporation, Japan) с последующим расчетом по формуле Хольма – Ветшттейна для 100% ацетоновых вытяжек [15].

Оценка достоверности результатов исследований проводилась при уровне надежности 95% (уровень значимости – 0.05). На рисунках и в таблице приведены средние арифметические значения с двухсторонним доверительным интервалом из трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях на 100 растениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка семян базилика БР выбранной продолжительности способствует улучшению их посевных качеств (табл. 1). Более высокая всхожесть у опытных семян может быть связана с гидрофилизацией внешней поверхности семенного слоя за счет увеличения концентрации полярных групп [7], вследствие чего повышается поглощение воды семенами, активируется протекание биохимических процессов и уменьшается период индукции ответных ростовых реакций [7, 9, 16]. Время обработки семян плазмой в течение 10 и 15 с является, вероятно, оптимальным, так как

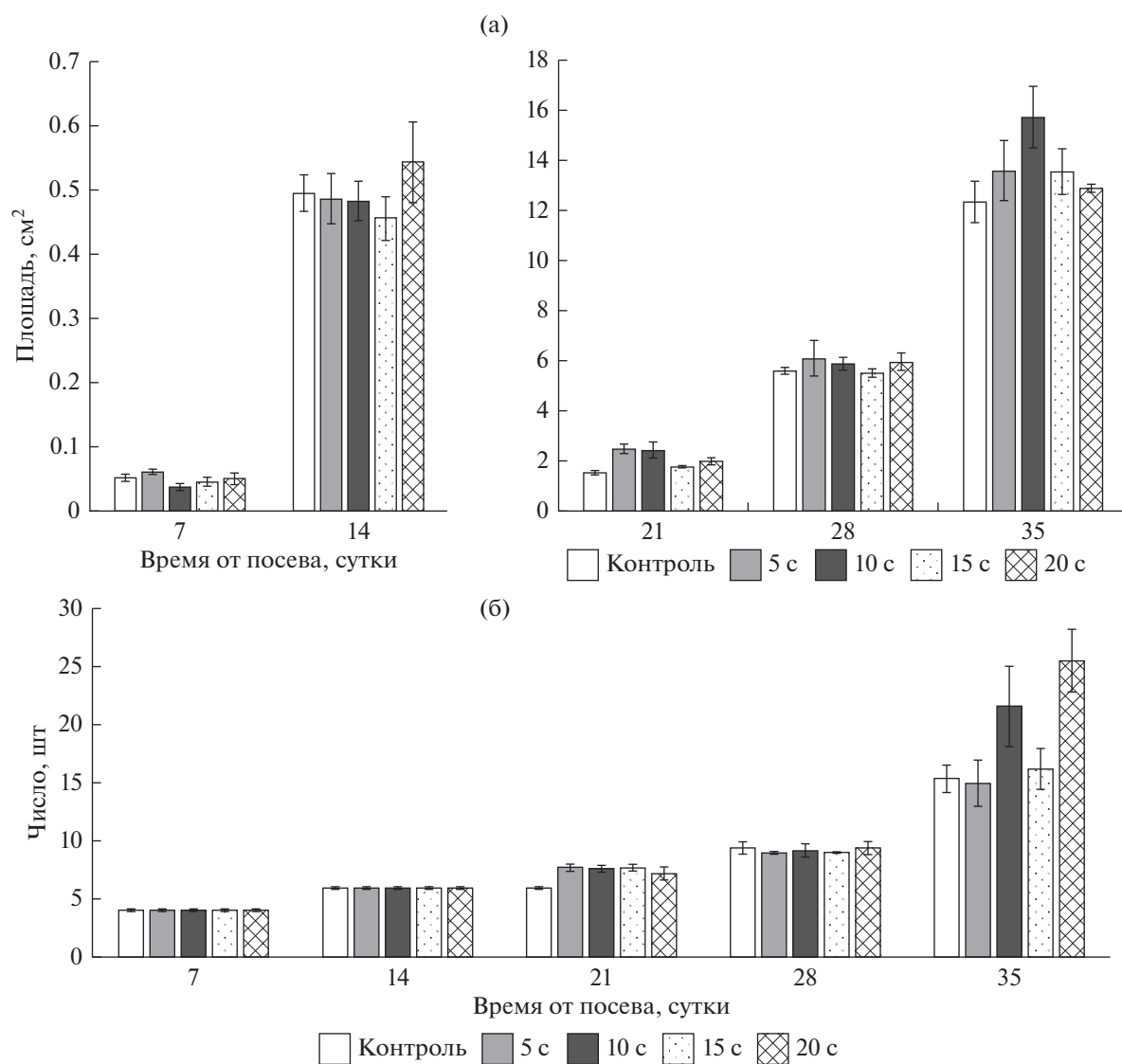


Рис. 1. Динамика площади поверхности листьев (а) и динамика числа листьев (б) растений *Ocimum basilicum* L. “Гвоздичный” при выращивании из семян, необработанных (контроль) и обработанных плазмой барьерного разряда в атмосфере аргона в течение 5, 10, 15 и 20 с.

наблюдается максимальное повышение всхожести и энергии прорастания.

В первые три недели вегетации изменений в морфометрических параметрах надземной части растений не выявили (рис. 1). Исключение составили 7-суточные растения, выращиваемые из семян, обработанных плазмой в течение 10 с. Площадь поверхности листовых пластинок у данных растений составляла 72% относительно контрольных растений, при этом число листьев достоверно не отличалось. Замедление роста у проростков, вероятно, связано с интенсивным расходом запасов семени в начальный период [9, 13]. Показатели сырой и сухой биомассы надземной части растений коррелировали с величинами площади ассимилирующей поверхности (рис. 2).

В дальнейшем наблюдалась скачкообразная динамика изменения морфометрических показателей надземной части растений. На 21 сутки отметили большее число листьев у всех опытных растений относительно контроля, однако увеличение площади ассимилирующей поверхности наблюдалось только у растений, обработанных плазмой в течение 10 и 15 с. В возрасте 35 сут повышение продуктивности установили только у растений, семена которых обрабатывались плазмой в течение 10 с. Они имели достоверно большее число листьев (на 40.3%) и площадь поверхности листьев (на 27.5%). У растений, семена которых обрабатывались плазмой в течение 20 с наблюдалось увеличение на 65.6% числа листьев относительно контроля. Однако листовые пла-

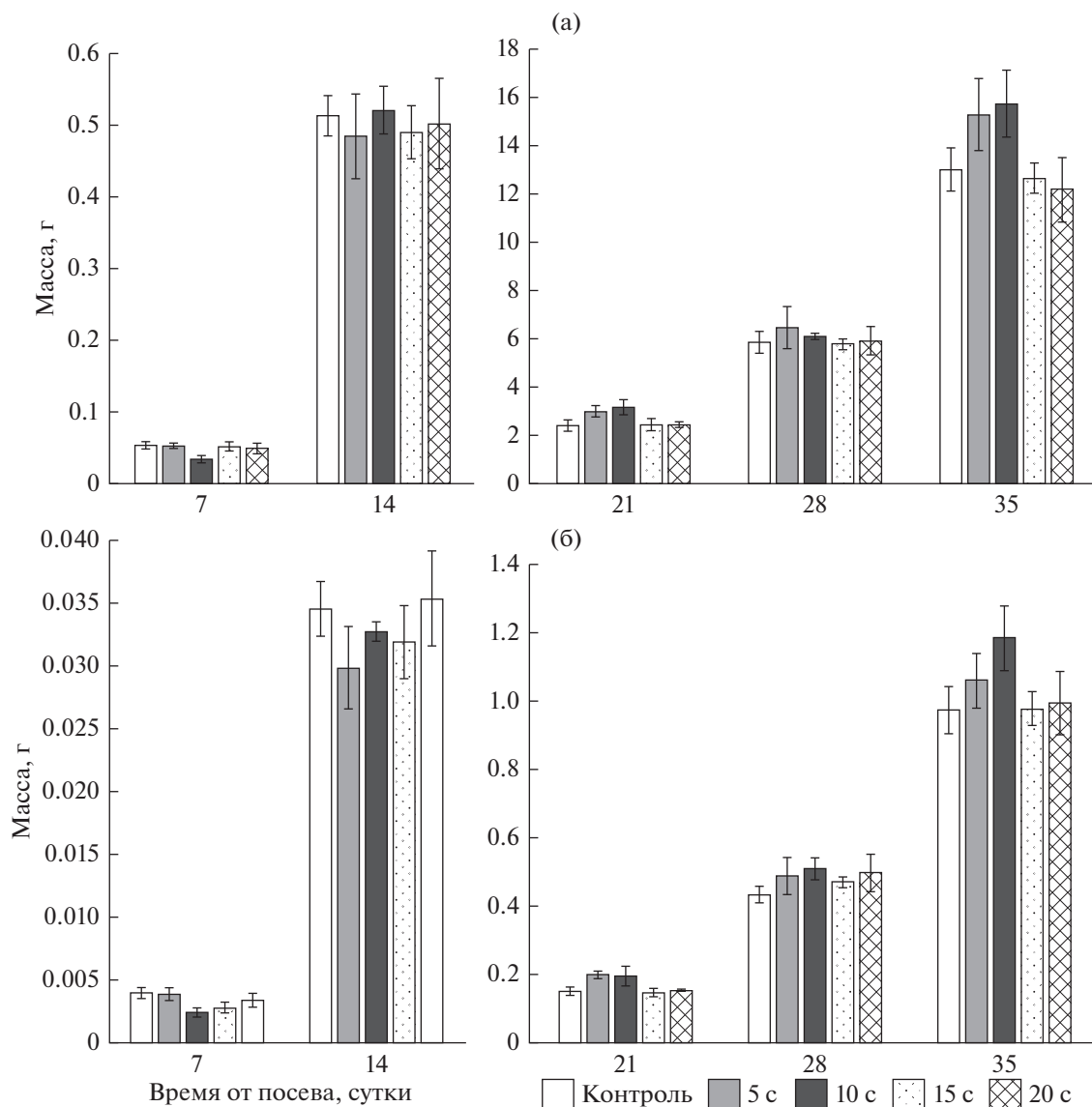


Рис. 2. Динамика сырой (а) и сухой биомассы (б) надземной части растений *Ocimum basilicum* L. “Гвоздичный” при выращивании из семян, необработанных (контроль) и обработанных плазмой барьерного разряда в атмосфере аргона в течение 5, 10, 15 и 20 с.

стинки отличались меньшим размером, вследствие чего площадь ассимилирующей поверхности, сырая и сухая биомасса надземной части достоверно не различались.

Динамика морфометрических показателей надземной части растений определялась развитием корней (рис. 3). Ранее было показано, что применение плазмы для обработки семян кукурузы влияет на рост первичных корней (длину и биомассу). Активирование или ингибирование роста определялось временем обработки, изменяющего активность антиоксидантных ферментов в корнях растений, особенно на начальном этапе (3–6 дней) [10].

Изменения морфометрических показателей опытных растений относительно контроля не связаны с уровнем накопления фотосинтетических пигментов в их листьях. Такой результат отличается от ранее опубликованных данных, полученных при исследовании влияния плазмы на семена арахиса [17] и салата [13], в которых показано, что интенсификация роста и развития растений сопровождалась увеличением содержания хлорофилла.

Таким образом, на конец вегетации у растений, выращенных из семян, обработанных БР в атмосфере аргона в течение 5, 15 и 20 с, изменений в продуктивности относительно контроля не выявили. Растения, выращенные из семян, обра-

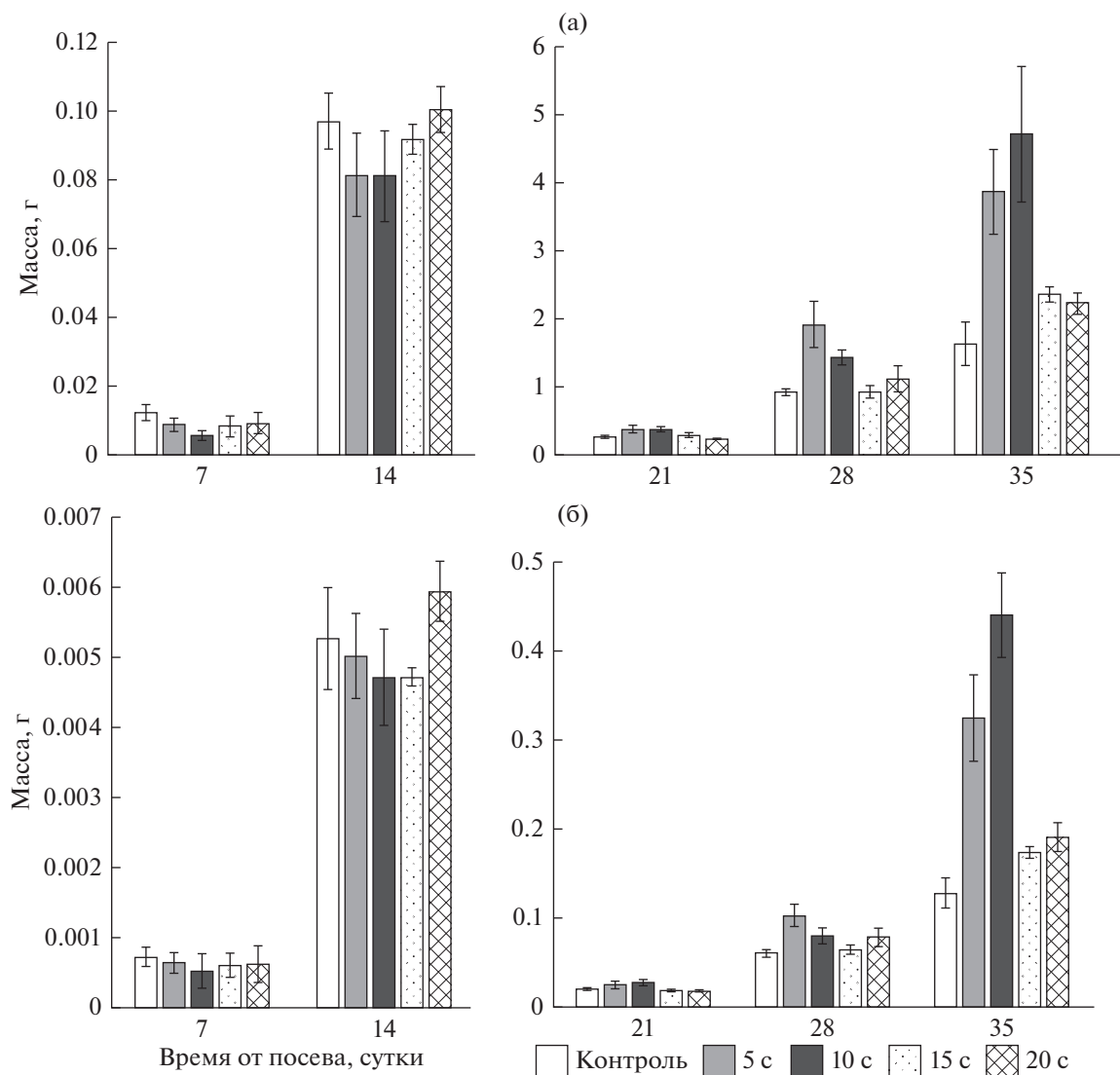


Рис. 3. Динамика сырой (а) и сухой биомассы (б) корней растений *Ocimum basilicum* L. «Гвоздичный» при выращивании из семян, необработанных (контроль) и обработанных плазмой барьерного разряда в атмосфере аргона в течение 5, 10, 15 и 20 с.

ботанных БР в течение 10 с, характеризовались интенсивным ростом и развитием, повышением продуктивности относительно контроля и других опытных растений. Вероятно, при данном времени обработки происходит проникновение в семя оптимального количества активных частиц из плазмы разряда [1–4]. Это приводит к положительному сдвигу сигнальных путей и некоторых метаболических и биосинтетических процессов [3–6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показывают, что 5-, 10-, 15- и 20-секундная обработка семян базилика душистого «Гвоздичный» плазмой БР в атмосфере аргона при активной мощности разряда ~7 Вт

повышает их всхожесть и энергию прорастания на 32–97% по отношению к необработанным семенам. Оптимальным временем обработки семян, позволяющим запустить более активную программу роста и развития растений, является 10 с. У таких растений на конец вегетации увеличивается число листьев на 40.3%, площадь поверхности листьев на 27.5%, соответственно, сырая и сухая биомассы надземной части растений на 21.0 и 21.6%, сырая и сухая биомассы корней в 2.9 и в 3.4 раза. Усиление ростовых процессов и повышение продуктивности растений в опыте не связаны с изменениями уровня накопления фотосинтетических пигментов в их листьях.

Таким образом, БР в атмосфере аргона может использоваться для предпосевной обработки се-

мян базилика “Гвоздичный” с целью улучшения их посевных качеств и повышения продуктивности растений.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2021–2023 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Puač N., Gherardi M., Shiratani M. // *Plasma Process Polym.* 2017. e1700174.
2. Ito M., Oh J.-S., Ohta T., Shiratani M., Hori M. // *Plasma Process Polym.* 2017. e1700073.
3. Stolarik T., Henselová M., Martinka M., Novák O., Zahoranová A., Černák M. // *Plasma Chem. Plasma Process.* 2015. V. 35(4). P. 659.
4. Randeniya L.K., de Groot G.J.J.B. // *Plasma Processes Polym.* 2015. V. 12(7). P. 608.
5. Tong J., He R., Zhang X., Han R., Chen W., Yang S. // *Plasma Sci. Technol.* 2014. V. 16(3). P. 260.
6. Šerá B., Špatenka P., Šerý M., Vrchotová N., Hrušková I. // *IEEE Transactions on Plasma Science.* 2010. V. 38(10). P. 2963.
7. Bormashenko E., Shapira Y., Grynyov R., Whyman G., Bormashenko Y., Drori E. // *Journal of Experimental Botany.* 2015. V. 66(13). P. 4013.
8. Da Silva A.R.M., Farias M.L., Da Silva D.L.S., Vitoriano J.O., De Sousa R.C., Alves-Junior C. // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 2017. V. 157. 280.
9. Zahoranová A., Henselová M., Hudecová D., Kaliňáková B., Kováčik D., Medvecká V., Černák M. // *Plasma Chemistry and Plasma Processing.* 2016. V. 36(2). P. 397.
10. Henselová M., Slováková L., Martinka M., Zahoranová A. // *Biologia.* 2012. V. 67(3). P. 490.
11. Zhang J.J., Jo J.O., Huynh D.L., Mongre R.K., Ghosh M., Singh A.K., Jeong D.K. // *Scientific Reports.* 2017. V. 7. P. 41917.
12. Lazukin A.V., Serdyukov Y.A., Moralev I.A., Selivonin I.V., Krivov S.A. // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2019. 1147(1):012124.
13. Minich A.S., Minich I.B., Chursina N.L., Ivanitskii A.E., Ochered'ko A.N. // *High Energy Chemistry.* 2021. V. 55(3). P. 243.
14. Rehman M.U., Jawaid P., Uchiyama H., Kondo T. // *Archives of Biochemistry and Biophysics.* 2016. V. 65. P. 19.
15. von Wettstein D. // *Experimental Cell Research.* 1957. 12(3). P. 427.
16. Zahoranová A., Hoppanová L., Šimončicová J., Tučeková Z., Medvecká V., Hudecová D., Kaliňáková B., Kováčik D., Černák M. // *Plasma Chemistry and Plasma Processing.* 2018. V. 38. P. 969.
17. Li L., Li J., Shen M., Hou J., Shao H., Dong Y., Jiang J. // *Plasma Science and Technology.* 2016. V. 18. № 10. P. 1027.