

УДК 621.317

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПРЕДПОСЕВНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

Н. В. Пушкина,

сотрудник лаборатории НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ

Н. В. Любецкий,

вед. науч. сотрудник НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ

В. А. Карпович,

зав. лабораторией НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ

В. Н. Родионова,

вед. науч. сотрудник НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ

Цель работы — модифицировать оборудование для предпосевной микроволновой обработки семян.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования модифицированного микроволнового модуля установки для предпосевной обработки семян. В результате исследований впервые был создан преобразователь плоскополяризованной волны в кругополяризованную.

Эффективность установки определяется возможностью использовать вместо двух микроволновых модулей одного.

The work purpose — to modify the equipment for preseeding microwave treatment of seeds. In the course of work pilot studies of the modified microwave module of installation for preseeding treatment of seeds were carried out.

This article devoted to the features of growth and development of plants of *Leonurus cardiaca*, subjected to various modes of preseeding microwave processing.

Efficiency of installation is defined by possibility to use instead of two microwave modules of one.

Воздействие электромагнитных полей на различные биологические объекты (от бактерий до тканей и органов человека) интенсивно изучается на протяжении последних 25 лет.

Применений микроволновых технологий представляет большой научный и практический интерес и может обрести экономическую значимость при их широком внедрении в сельское хозяйство. Достоинства применения микроволновой энергии в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, медицине, фармакологии в настоящее время определены достаточно ясно. Обосновываются они избирательностью преобразования электромагнитной энергии в тепловую, большой глубиной проникновения поля, эффективностью и экономичностью. Установлены эффективные режимы дезинфекции и стимуляции роста семян, подавление

жизнедеятельности насекомых-вредителей и т. д. [1, 2]. Экспериментально доказано, что биологические объекты реагируют на воздействие внешних электромагнитных полей (ЭМП). Эта реакция может происходить на различных структурных уровнях живого организма — от молекулярного и клеточного до живого организма в целом. В результате воздействия ЭМП сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона в клетках биологических объектов могут дополнительно синтезироваться вещества, влияющие на иммунный статус биологического объекта. Воздействие ЭМП СВЧ-диапазона на семена различных сельскохозяйственных культур приводит к активации процессов биосинтеза и ускоренному делению клеток, а также к восстановлению связей и функций, нарушенных из-за болезней [3].

Говоря о ЭМП СВЧ-диапазона, мы говорим о частотах, расположенных в диапазоне от 1 до 100 ГГц, в котором в настоящее время создана элементная база, достаточная для проведения широкомасштабных исследований по воздействию на живые биологические и животные клетки. Сегодня ясно, что ЭМП СВЧ-диапазона способны воздействовать дистанционно на живые организмы как в целом, так и на уровне клетки или отдельных органов [4].

В современном растениеводстве широко используются различные методы предпосевной обработки, способствующие повышению агрономических качеств семян. Наиболее распространены сейчас такие химические методы предпосевого воздействия, как ростостимулирующие вещества, азотистые соединения, пестициды, фунгициды, применяемые для протравливания от семенной инфекции и против вредителей семян и др. В большинстве случаев это сложные химические соединения устойчивые к внешним воздействиям и не разлагающиеся в природе в течение многих лет.

На сегодняшний день наиболее экологически безопасными и перспективными методами предпосевной обработки являются биофизические методы, а среди них — обработка семян воздействием ЭМП СВЧ-диапазона. В основе этого метода лежит резонансное воздействие электромагнитным полем на каждое семя. Известно, что клетка любого семени состоит из ядра, ядерной оболочки, митохондрий, лизосом, эндоплазматической сети, аппарата Гольджи, центросом. Все это заполнено цитоплазмой и окружено клеточной мембраной. При воздействии внешним электромагнитным полем с частотой близкой (равной) резонансной частоте обрабатываемых семян происходит преобразование внешнего излучения в собственные колебания белковых молекул, поскольку клеточная мембрана представляет собой кольцевой диэлектрический резонатор, которому присущи определенные для семян каждой культуры линейные размеры и резонансная частота [4, 6, 7]. Это позволяет ускорять биохимические реакции, влияя на ферментативную активность семян. Благодаря этому в семени активизируются биохимические реакции и повышаются качественные характеристики семян. Повышение качества семян происходит только в полях, характеризующихся определенными пространственными характеристиками электромагнитной

волны СВЧ, а также такими параметрами электромагнитной волны, как частота, мощность и длительность воздействия излучения на семена. Значения указанных параметров рассчитываются для семян каждой культуры, при этом расчетная частота электромагнитной волны СВЧ равна резонансной частоте семени определенной культуры [7], которая в дальнейшем уточняется экспериментальным путем. Поскольку семена одной и той же культуры, убранные в разные сроки, высушенные при различных режимах и хранящиеся при различных температурно-влажностных условиях, имеют некоторую разбежку в размерах, то на практике, расчетную резонансную частоту внешнего электромагнитного поля СВЧ перестраивают в полосу частот, используя для этого генераторы качающей частоты.

Для реализации разработанного способа предпосевной обработки семян с использованием воздействия внешнего электромагнитного поля СВЧ была создана установка [7]. Она состоит из СВЧ-генератора качающей частоты, развязывающего волноводного ферритового СВЧ-вентилля, пирамидальной рупорной антенны, емкости для размещения обрабатываемых семян, а также блока управления и источника питания. С помощью блока управления устанавливается требуемая мощность излучения, частота и полоса перестройки генератора. Излучаемая рупорной антенной линейно-поляризованная волна с изменяющейся частотой облучает семена, находящиеся в емкости. Для осуществления равномерного воздействия электромагнитной волны СВЧ на семена в установке предусмотрена возможность вращения емкости с семенами вокруг своей оси с помощью электропривода. ЭМИ поле в прямоугольном волноводе на входе антенны и ее выходе сосредоточено в центре излучаемой рупорной пирамидальной антенны, и для равномерного облучения всех семян необходимо дополнительно вращать загрузочную емкость вокруг своей оси.

В работе [8] рассмотрено микроволновое устройство для предпосевной обработки семян, содержащее два СВЧ-модуля, работающих в различных частотных диапазонах и состоящих из микроволнового генератора с перестраиваемой частотой и регулируемой мощностью, вентилля и рупорной пирамидальной антенны. Для автоматизации процесса обработки и повышения ее производительности устройство дополнительно

снабжено загрузочным бункером с лотком выгрузки для семян, подлежащих обработке, вращающимся столом и приемным бункером с лотком загрузки. Вращающийся стол используется для перемещения семян во время их обработки от загрузочного бункера до приемного. Хотя в устройстве применяются два СВЧ-модуля для обработки семян, их антенны излучают линейно поляризованные волны, распределение энергии в которых неравномерно. В связи с этим некоторое количество семян находится на вращающемся столе в областях слабых значений уровней электромагнитных полей, и требуется дополнительное время для обеспечения заданных режимов их обработки.

В работе [9] для микроволновой обработки семян используются загрузочный и приемный бункеры, расположенные на разных уровнях высоты, между которыми установлен ступенчатый желоб, по которому самотеком перемещаются семена. Над желобом по всей длине расположены микроволновые модули, каждый из которых содержит генератор СВЧ с перестраиваемой частотой и регулируемой выходной мощностью и рупорную пирамидальную антенну, причем в каждой зоне облучения установлены по два микроволновых модуля так, что широкая стенка пирамидальной рупорной антенны одного модуля расположена параллельно продольной оси желоба, а второго модуля — перпендикулярно. Таким образом, в данном устройстве для равномерного распределения энергии используются два микроволновых модуля с линейно-поляризованной волной:

$$E(z,t) = E_0 \cos(\omega t - kz + \gamma), \quad (1)$$

где E_0 — амплитуда колебаний, $\omega = 2\pi f$ — частота колебаний, $k = \omega/v$ — волновое число, v — фазовая скорость, γ — фазовый сдвиг.

Для обеспечения высокой производительности требуется использование большого количества микроволновых модулей.

Для исключения недостатков, присущих устройствам для предпосевной обработки семян, в которых используется линейно-поляризованная волна [7–9], было предложено в микроволновой модуль [9] ввести дополнительно преобразователь волны СВЧ с линейной поляризацией в волну СВЧ с круговой поляризацией, а рупорную пирамидальную антенну заменить

на коническую. На рис. 1 показан микроволновый модуль (1) с преобразователем поляризации (2) и рупорной конической антенной (3).



Рис. 1. Внешний вид модифицированного устройства для предпосевной микроволновой обработки семян

Преобразователь поляризации разработан на основе отрезка волноводного перехода, в котором прямоугольный волновод переходит в волновод с круглым сечением. В этом переходе установлены две диэлектрические пластинки, одна из которых делит падающую волну на две равные составляющие, а вторая — осуществляет сдвиг на $\pi/2$ между этими составляющими электромагнитной волны. Антенна изготовлена в виде рупорного конуса, причем ее входной фланец имеет круглое отверстие, диаметр которого равен диаметру круглого волновода преобразователя линейной поляризации волны в круговую 2. Антенна излучает кругополяризованную волну и обеспечивает создание равномерного электромагнитного СВЧ-поля:

$$E(z,t) = E_0 [\cos(\omega t - kz + \gamma) + \sin(\omega t - kz + \gamma)], \quad (2)$$

где E_0 — амплитуда колебаний, $\omega = 2\pi f$ — частота колебаний, $k = \omega/v$ — волновое число, γ — фазовый сдвиг.

Таким образом, один модуль разработанного устройства с кругополяризованной волной выполняет такие же функции, как два модуля в устройстве с линейно-поляризованной волной [9].

Для испытания созданного устройства были проведены лабораторные и полевые опыты по определению всхожести и энергии прорастания на *Leonurus cardiaca* (L.). Полученные результаты

показали, что воздействие на обрабатываемые семена внешним ЭМП СВЧ с круговой поляризацией позволило в 2 раза уменьшить количество микроволновых модулей по сравнению с воздействием ЭМП СВЧ с линейной поляризацией, и тем самым сократить энергопотребление.

Биохимические исследования проводились в условиях лабораторных опытов на базе ЦБС НАН Беларуси. Контролем для них служили необработанные семена. Контрольные и опытные растения проращивали в чашках Петри по 100 шт. на увлажненной фильтровальной бумаге при температуре 20–21 °С и интенсивном освещении. На 7-е сутки учитывалась энергия прорастания, оценка всхожести проводилась на 3-е, 7-е и 14-е дни онтогенеза. Повторность опыта трехкратная. На 14-й день индивидуального развития оценивались такие морфометрические параметры, как длина корня, длина проростка, масса корня и масса проростка. Полученные результаты были обработаны с помощью статистического пакета программ М. Excel.

В результате исследований выявлено, что предпосевное воздействие электромагнитным полем сверхвысокочастотного диапазона значительно стимулирует энергию прорастания по отношению к контрольным образцам. ЭМП СВЧ с круговой поляризацией лучше стимулирует ростовые процессы на ранних этапах онтогенеза исследуемой культуры (рис. 2).

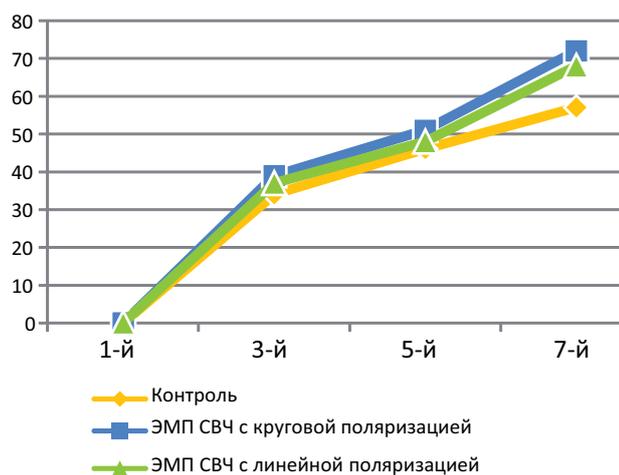


Рис. 2. Влияние предпосевого воздействия ЭМП СВЧ с круговой и с линейной поляризацией на энергию прорастания *Leonurus cardiaca* (L.)

Всхожесть определялась на 14-й день индивидуального развития *Leonurus cardiaca* (L.). В контроле она была минимальной и составля-

ла 60 %, тогда как при воздействии ЭМП СВЧ с круговой поляризацией она была уже 74 %, а при воздействии ЭМП СВЧ с линейной поляризацией 72 % (рис.3).

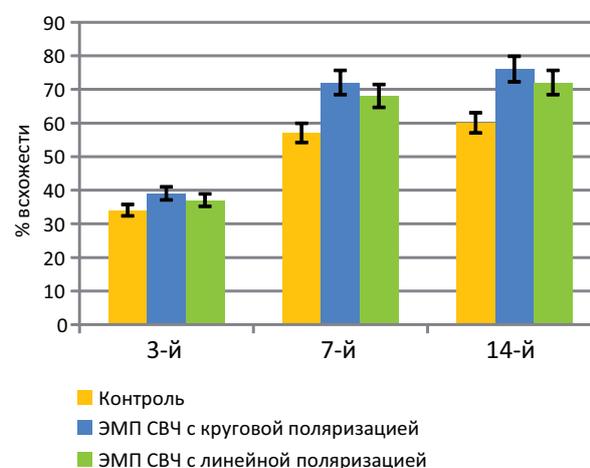


Рис. 3. Влияние предпосевого воздействия ЭМП СВЧ с круговой и с линейной поляризацией на всхожесть *Leonurus cardiaca* (L.)

Под воздействием ЭМП СВЧ значительно увеличивались такие морфометрические параметры, как длина корня, длина проростка, масса корня, масса проростка по сравнению с контролем (рис. 4). При воздействии ЭМП СВЧ с круговой поляризацией длина корня увеличилась на 24 %, длина проростка на 22 %, масса корня и проростка соответственно увеличились на 8 и 32 % по отношению к контролю, тогда как при воздействии ЭМП СВЧ с линейной поляризацией длина корня возросла на 31%, длина проростка — на 28 %, масса корня — на 6 % и масса проростка на 35 %.

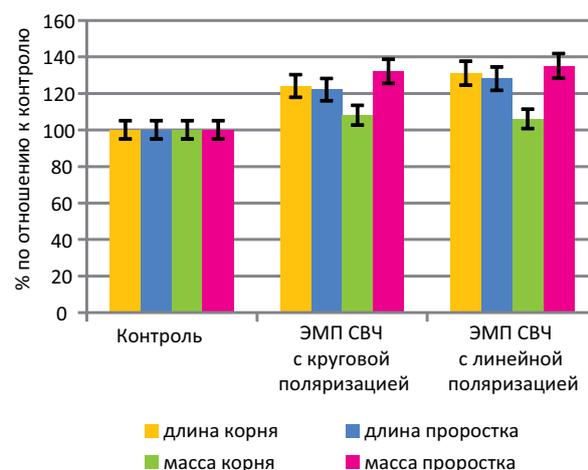


Рис. 4. Влияние предпосевого воздействия ЭМП СВЧ с круговой и с линейной поляризацией на морфометрические параметры *Leonurus cardiaca* (L.)

Эффективное использование адаптивного потенциала культивируемых растений в обеспечении устойчивого роста продуктивности, энергоэкономичности и природоохранности растениеводства имеет решающее значение. Применение удобрений, пестицидов, орошения и других факторов оптимизации абиотической и биотической среды рассматривается в качестве важного, но только вспомогательного средства. Современное растениеводство базируется на наиболее рациональном использовании адаптивного потенциала культивируемых растений, что обеспечивает перевод этой отрасли на принципиально новый уровень, открывая реальную возможность широкого практического использования знаний из других наук для повышения величины и качества урожая.

В результате выполненных исследований показано, что низкоинтенсивное электромагнитное поле сверхвысокочастотного диапазона может быть использовано в качестве стимулятора рецепторов клеток семян, запускающих внутриклеточные механизмы и активизирующие экспрессию генома, что приводит к улучшению их свойств, в частности, к повышению скорости энергии прорастания, интенсификации роста побегов. Выяснение природы этих механизмов требует дальнейших экспериментальных и теоретических исследований.

Данные исследования проведены при частичной финансовой поддержки ГПНИ «Конвергенция» (проект № 15.3, В.4.6).

Литература

1. Бабенко, А. А. СВЧ-импульсная предпосевная обработка семян: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.20.02 / А. А. Бабенко. — М., 1993. — 180 с.

2. Вербицкая, С. В. Предпосевная обработка семян фасоли озоном и магнитным полем: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.02.02 / С. В. Вербицкая. — зерноград, 2001. — 181 с.

3. Tambiev, A. Stimulation of growth of cyanobacteria by millimeter electromagnetic radiation of low intensity / A. Tambiev and str. Trade Exhibition Microbe-86. XIX Intern. Congr. Microbiol., September 7–13: Abstr. Manchester, England, 1986.

4. Бинги, В. Н., Савин, А. В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // Успехи физических наук. — 2003. — Т. 173. — № 3. — С. 265–300.

5. Геннис, Р. Биомембраны. Молекулярная структура и функции / Р. Геннис. — М.: Мир, 1997.

6. Колмэн, Р. Мембраны и их функции в клетке / Р. Колмэн, Р. Миччел. — М.: Мир, 1997.

7. Способ предпосевной обработки семян овощных и зерновых культур: патент РБ № 5580, МПК А 01С 1/00 / В. А. Карпович, В. Н. Родионова; заявители Карпович В. А., Родионова В. Н., заявл. 20.12.1999; опубл. 30.12.2003 // Афіцыйн бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці.

8. Способ предпосевной обработки семян: патент РФ № 2083071. МПК А 01С 1/00 / О. Ф. Роман, Л. И. Пономарев и др.; заявители Романов О. А., Пономарев Л. И., Дергачев В. Ф., Закрытое акционерное общество «НИПО»; заявл. 11.09.1995.; опубл. 10.07.1997. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

9. Устройство для предпосевной микроволновой обработки семян рапса: патент на полезную модель РБ № 6118, МПК А 01С 1/00 / В. А. Карпович, Г. М. Воинов, А. А. Савук; заявители РНП «Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси»; НИУ «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета; заявл. 27.07.2009; опубл. 28.12.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці.