

КОМБИНИРОВАННАЯ ПРЕПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН УКРОПА И КОРИАНДРА

Е.А. Городецкая,

доцент каф. электротехнологий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.Д. Сыч,

ассистент каф. электроснабжения БГАТУ

Ю.К. Городецкий,

аспирант РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию»

Е.Т. Титова,

начальник Международного отдела БРФФИ, канд. биол. наук

*Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований комбинированной (диэлектрическая сепарация и ультразвук) предпосевной обработки семян семейства *Apiaceae*, направленной на повышение всхожести и энергии прорастания.*

Ключевые слова: семена пряно-ароматических растений, предпосевная стимуляция, диэлектрическая сепарация, ультразвуковая обработка.

*The article presents the results of analytical and experimental studies of combined (dielectric separation and ultrasound) pre-sowing treatment of seeds of *Apiaceae* family aimed at germination increasing.*

Keywords: savoury herbs seeds, pre-sowing stimulation, dielectric separation, ultrasonic treatment.

Введение

Скороспелость и относительная холодостойкость однолетних зеленных и пряно-вкусовых растений, таких, как укроп и кориандр, обуславливает широкие границы их выращивания и позволяет многократно высевать в открытом и защищенном грунте, создавая непрерывный конвейер поступления свежей продукции. Современный уровень развития мощностей растениеводческой отрасли Республики Беларусь позволяет получать свежую продукцию этих культур круглый год. К сожалению, в настоящее время обеспеченность населения нашей страны зелеными и пряно-вкусовыми овощами составляет всего 30...34 % от рекомендованной нормы (20,4 кг в год на одного человека) и то за счет частного сектора. Произрастающие в диком виде и возделываемые в культуре, они являются дополнительным резервом снабжения населения свежей зеленью в весенний и раннелетний периоды года, а также осенью для консервирования продукции. О введении в меню этих наименований можно говорить, как о круглогодичном ингредиенте.

Абиотические факторы при посеве семян не всегда благоприятны для нормального развития зародыша, особенно в начальный период. Полевая всхожесть семян часто составляет 60-70 %, поэтому перед посевом их необходимо специально готовить для повышения всхожести, энергии прорастания и продуктивности [1].

В нашей стране, в Институте экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, под руководством академика Ламана Н.А. группой уче-

ных (Калацкая Ж.Н. и др.) [2] ведется разработка препаратов на основе элиситоров (индукторов устойчивости растений к болезням и стрессорным факторам окружающей среды). Наиболее известными углеводными элиситорами являются поли- и олигосахаридные фрагменты клеточных стенок грибов, включая олигомеры хитозана, а также пектиновые фрагменты клеточных стенок растений – олигогалактурониды. По-прежнему исследуются салициловая, янтарная и оксикоричная кислоты. На основе смеси последних в Российской Федерации из эхинацеи пурпурной (*Echinaceae purpurea L.*) выпускают препарат «Циркон» иммуномодулирующего действия для предпосевного замачивания в нем семян.

Развитие и применение ультразвуковых (УЗ) технологий открывает перспективы не только в создании новых веществ и материалов в придании известным материалам и средам нужных технологических свойств, но и в экологизации растениеводства [3].

Цель работы заключается в изучении изменения агробиологических особенностей семян пряно-ароматических (мелкосемянных) культур в условиях комбинированного электрофизического воздействия энергией электрического и ультразвукового полей.

Основная часть

Обзор применяемых средств для просеивания и очистки семян выполнен ранее на основании работ, приведенных в источниках [1-4].

На сепарацию семена укропа и кориандра должны поступать в здоровом негреющемся состоянии, а

также иметь желтовато-бурый цвет (возможен зеленоватый оттенок) и пряно-ароматический запах, свойственный им.

К сорной примеси относят: весь проход, который можно получить при просеивании через сито с отверстиями диаметром 1,5 мм, в остатке на сите с отверстиями диаметром 1,5 мм; минеральную примесь (комочки земли, шлак, песок, камешки и т.п.); органическую примесь (частицы стеблей, листьев, плодовые оболочки и т.п.); семена всех дикорастущих и культурных растений, кроме плодов и семян других эфиромасличных растений. К эфиромасличной примеси данного растения относят плоды и полуплодики укропа и кориандра с почерневшим ядром, заплесневевшие, проросшие, раздавленные, лишенные плодовых оболочек, поврежденные вредителями, плоды с трещинами по линии соединения полуплодиков.

Первой операцией предпосевной подготовки была диэлектрическая сепарация семян с получением фракций чистых выравненных по размеру сухих семян при предварительно установленном лучшем напряжении на рабочем органе в диапазоне 0,9 ... 1,5 кВ. При сортировании семян пряно-ароматических культур сепаратор работает с подачей 70...230 и более кг/ч на 1 м длины барабана, потребляемая мощность – 0,7±0,2 кВт, энергоёмкость – 0,14 кВт/кг. При очистке и сортировке семян в электрических сепараторах на семена действуют не только силы поля, но и оказываются электрофизические воздействия: поверхностное обеззараживание [3, 4], возбуждение жизнедеятельности семян за счет поляризации.

Устройство, принципиальная электрическая схема и принцип работы УЗУ-0,25 описаны в источнике [3]. В наших опытах с семенами средой распространения ультразвука выбрана чистая вода. Для размещения семян в ванне использовали капроновую сеточку, начальная температура воды была 22 °С. Время воздействия устанавливали пропорционально размеру семян, учитывая предыдущий удачный опыт [3], в пределах до 300 с шагом 50 с. Объем ванны – 0,21 x 0,17 x 0,20 = 0,00714 м³, объем рабочей среды (воды) – 0,21 x 0,17 x 0,05 = 0,001785 м³, т.е. 1,78 л = 1,78 кг; масса семян – 0,1 кг. После обработки в УЗ ванне семена не просушивали, а раскладывали на увлажненной фильтровальной бумаге в чашках Петри, накрывали крышечной чашкой Петри и выставляли на проращивание.

Эксплуатация и ДСУ и УЗ-установок требует повышенного внимания и осторожности, так как это установки высокого напряжения, имеет место действие слышимых и неслышимых шумов, распространяющихся в воздухе. Все манипуляции с загрузкой и выгрузкой семян производились при отключенном из сети питания и сепаратора и УЗ-генератора.

При прохождении УЗ в жидкостях, а также биологических объектах, частицы среды совершают интенсивные колебательные движения с большими ускорениями. Воздействие УЗ характеризуется разделением молекул и ионов с различной массой, искажением формы волны, появлением переменного электрического поля, капиллярно-акустическим и тепловым эффектами, активацией диффузии. Большим

ограничением ультразвуковой обработки семян являются два факта: стимулирующий эффект выявляется только при обработке семян в водной среде [5, 6] и обработка сопровождается акустическим эффектом. Кроме этого, следует устанавливать персональные дозы обработок для каждой культуры, ведь биологическое проявление ультразвука заключается во влиянии его на скорость протекания физиологических процессов, которые недопустимо необратимо повредить (отмирание тканей) [7].

Тем не менее, ультразвуковая предпосевная обработка семян имеет неоспоримое преимущество, которое повышает ее ценность. После ультразвуковой обработки, пустые, невсхожие семена остаются плавать на поверхности жидкости, а всхожие семена оседают на дно, так осуществляется еще и флотация семян.

Ультразвуковая кавитация – эффективное средство концентрации энергии акустической волны низкой плотности в высокую ее плотность, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. Кавитация интересна тем, что в момент схлопывания пузырьков давление и температура среды достигают значительных величин (по некоторым данным, до 100 МПа и 1000 °С) [6], в результате чего в окружающей жидкости распространяется сферическая ударная волна, быстро затухающая в пространстве, но температура всего объема среды едва ли поднимается на несколько градусов. Кавитационный нагрев проявляется высокой температурой в точках кавитационных полостей и совершенно незначительным нагревом всего объема воды. Интенсивность и характер проявления кавитационных эффектов зависят от частоты и интенсивности колебаний, а также от свойств самих сред. Вода остается непревзойденной средой для предпосевого озвучивания семян.

Энергия УЗ поля, идущая на образование кавитационной области, затрачивается в течение всей фазы расширения кавитационного пузырька и представляет собой своеобразный трансформатор мощности, в котором сравнительно медленно накапливаемая энергия освобождается в течение очень короткого времени, в результате чего мгновенная мощность во много раз превосходит среднюю, вводимую излучателем в кавитационную область. Воздействие кавитации на водные растворы сводится к расщеплению молекул воды в кавитационных пузырьках. Независимо от природы растворенных веществ, воздействие УЗ энергии на воду приводит к изменению ее физико-химических свойств – увеличению рН, электропроводности воды, увеличению числа свободных ионов и активных радикалов, структуризации и активации молекул [5, 6].

В предпосевной УЗ обработке использовались семена укропа (*Anethum graveolens*) и кориандра (*Coriandrum sativum*), как модельных растений пряно-ароматического семейства *Apiaceae*. Пробы по 100 семян, помещенные в сеточки из капроновой нити, обрабатывали в УЗ ванне с водой при разных экспозициях (100, 150, 200, 250, 300 с), с пятикратной повторностью. Для проращивания образцы помещали в чашки Петри с увлажненной фильтровальной бумагой и выдерживали в термостатических условиях при температуре 21 °С в

соответствии с ГОСТ 30556-98. Проросшим считается семя с длиной ростка, равной половине длины семени.

Физические и энергетические параметры технологической УЗ установки рассчитывали по формулам [3]:

$$P_{ак} = \frac{mc(t_2 - t_1)}{\tau\eta}; \eta_{ак} = \frac{P_{ак}}{P_г}; W = \frac{mc(t_2 - t_1)}{V};$$

$$I = vW; \cos\varphi = \frac{P_1}{UI_p}, \quad (1)$$

где $P_{ак}$ – акустическая мощность, Вт (без учета теплопотерь в конструкциях установки);

m, c – соответственно, масса, кг и удельная теплоемкость воды в ванне, Дж/кг⁰С;

t_1, t_2 – начальная и конечная температура, ⁰С;

τ – время обработки, с;

η – коэффициент полезного действия преобразователя;

$\eta_{ак}$ – акустический КПД;

$P_г$ – мощность генератора, Вт;

W – плотность энергии, Дж/м³;

V – объем воды в ванне, м³;

I – интенсивность УЗ, Дж/м²·с;

v – скорость распространения УЗ колебаний в воде, м/с;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности установки;

P_1 – мощность, потребляемая из сети, Вт;

U – питающее напряжение, В;

I_p – рабочий ток, А.

Следующее явление распространения ультразвуковой волны в воде – это акустическое течение – стационарный однонаправленный поток массы, образующийся вблизи препятствий (семян) из-за инерционных потерь. Такие течения носят вихревой характер и хорошо изучены [8]. Следует отметить их важное интенсифицирующее значение во всех процессах с ультразвуком.

Лишь незначительное внимание уделяется постоянно – радиационному давлению, воздействию на отражающую или поглощающую поверхность, которой являются семена. При распространении ультразвука, в межфазной твердожидкостной системе возникает ультразвуковой капиллярный эффект [8]. Это мощное увеличение глубины и скорости проникновения жидкости в капиллярные каналы в момент прохождения через систему ультразвука. Вероятно, такая «пропитка» семенных покровов объясняет интенсифицирующий прорастание эффект ультразвуковой обработки семян.

Все проявляющиеся эффекты ультразвука носят нерезонансный характер (кавитация, нагрев, потоки) и не требуют создания специальных устройств или подбора точнейших доз ультразвука как такового. Поэтому использовалось стандартное устройство с практически одной частотой ультразвука.

Сравнимость геометрических размеров излучающего рабочего элемента и объема технологической

установки с длиной УЗ волны обуславливает ряд интерференционных явлений. Так, УЗ – поле на расстояниях, сравнимых с длиной волны, характеризуется рядом максимумов и минимумов, расположенных на различных удалениях от излучателя.

Количественные характеристики воздействующего фактора – УЗ колебаний на систему «жидкость-семена», рассчитанные по уравнениям (1), приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физические и энергетические параметры технологической установки

Показатели	длительность УЗ обработки, с		
	100	200	300
Акустическая мощность, $P_{ак}$, Вт	16,4	24,7	49,4
Плотность энергии, W , 10 ³ Дж/м ³	2500	6672	8000
Интенсивность УЗ, I , кВт/м ²	4760	8 139	11960
Акустический КПД, $\eta_{ак}$, о.е.	0,1	0,15	0,2
Коэффициент мощности, $\cos\varphi$, о.е.	0,38	0,50	0,68

Обработанные в УЗ поле с различной экспозицией, семена укропа и кориандра были поставлены на проращивание.

Во всех опытных партиях наблюдался положительный эффект стимуляции всхожести семян: первые ростки укропа и кориандра появились на шестые сутки (рис. 1), устойчивое и дружное прорастание – на восьмые сутки. В ходе исследований было проведено сравнение основных показателей семян энергии прорастания и всхожести трех партий семян:

- 1) контрольные и отсепарированные семена;
- 2) контрольные и обработанные в ультразвуке;
- 3) контрольные и семена после комбинированного воздействия – диэлектрической сепарации и ультразвука.

Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Изменение агрономических показателей семян после диэлектрической сепарации и ультразвуковой обработки

Культура	Посевные качества семян, %				Напряжение сепарации, кВ
	энергия прорастания до сепарации	энергия прорастания после сепарации и УЗ	всхожесть до сепарации	всхожесть после сепарации и УЗ	
Укроп	68,8 ± 3,0	74,5 ± 3,0	76,5 ± 2,0	84,5 ± 2,0	0,9... 1,5
Кориандр	71,0 ± 2,0	75,0 ± 2,0	74,2 ± 2,5	77,3 ± 2,5	1,1... 1,5

В результате исследований установлено, что диэлектрическая сепарация определенно способствует повышению основных агрономических показателей семян – всхожести и энергии прорастания в размере 5-7 %, что является хорошим показателем для мелко-семянных труднопрорастаемых пряно-ароматических культур. Наблюдалось ускорение всхожести и энергии прорастания обработанных семян в среднем на

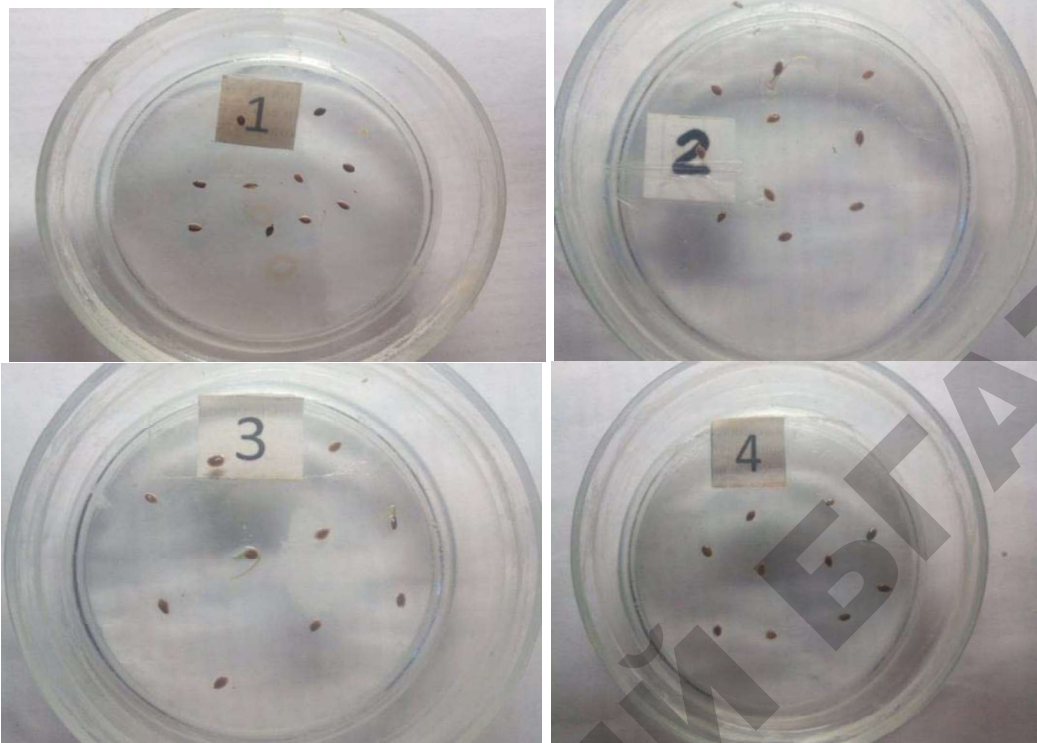


Рисунок 1. Семена укропа на шестые сутки проращивания после комбинированной обработки: 1 – после диэлектрической сепарации при напряжении 1,5 кВ; 2 – после ультразвуковой обработки при экспозиции 300 с; 3 – после интегрированной электрофизической обработки (диэлектрической сепарации и ультразвукового воздействия с указанными параметрами); 4 – контрольные семена

2-3 дня в сравнении с контрольными семенами. Также и ультразвуковое воздействие ожидаемо повысило исследуемые показатели. Из таблицы 2 видно, что комбинированное действие электрического и ультразвукового (высокоэнергетического) полей дает суммирующий эффект, скромный, но недостижимый ранее отдельными перечисленными воздействиями.

В процессе УЗ обработки семена очищаются как от механических загрязнений, так и от бактериальных инфекций. Дополнительный бактерицидный и стерилизующий эффекты оказывают проявления ультразвука – кавитацию, диспергирование, термические и физико-химические действия [9]. Таким образом, УЗ обработка оказывает комплексное биологическое воздействие – активацию жизнедеятельности семян и подавление нежелательной микрофлоры.

Заключение

Диэлектрическое сепарирование семян укропа и кориандра при напряжении на рабочем органе СДЛ-1 0,9...1,5 кВ, однократном пропуске семян и последующем ультразвуковом озвучивании, при соблюдении параметров (акустическая мощность – 16,4...50 Вт; температура воды – 21...24 °С и экспозиция до 300 с) дает ускорение прорастания семян на 2 дня, всхожесть и энергию прорастания повышает на 5...7 % в сравнении с контрольными партиями. Таким образом, при всхожести контрольных семян, равной в среднем 60...70 %, опытные семена показали всхожесть до

74...80 %, что является предпосылкой получения дополнительного урожая.

Наряду с тепловыми эффектами, в ультразвуковом поле в биологических средах наблюдаются механические, электрические и физико-химические эффекты, сочетание которых обеспечивает уникальность ультразвука, как активирующего и дезинфицирующего фактора. При предпосевной УЗ обработке происходит обеззараживание семян, выведение их из состояния покоя, возбуждение жизненных сил зародыша, ведущих к повышению всхожести и энергии прорастания. Нельзя обойти диффузионный эффект ультразвука: он ускоряет процессы диффузии через клеточные оболочки, пористые мембраны и фильтры. Интенсивное перемешивание жидкости под действием кавитации и акустических течений ведет к уменьшению эффективной толщины пограничного слоя на поверхности раздела «жидкость – семена», и скорость диффузии увеличивается.

Определенный режим ультразвукового воздействия на семена пряно-ароматических культур, реализующий ускорение «пробуждения» (всхожести и энергии прорастания) семян укропа и кориандра должен осуществляться после диэлектрического сепарирования.

Анализ результатов проведенных исследований дает основание утверждать, что диэлектрическая сепарация в комбинации с ультразвуковой обработкой оказывает синергетический эффект ускорения прорастания семян укропа и кориандра, выступая, таким

образом, неинвазивным экзогенным экологичным стимулятором начальных ростовых процессов. При этом не нарушается биохимическая картина семян и их нативные и потребительские свойства, как представителей пряно-ароматической коллекции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Корко, В.С. Электрофизические методы стимуляции растительных объектов: монография / В.С. Корко, Е.А. Городецкая. – Минск: БГАТУ, 2013. – 232 с.

2. Влияние плазменно-радиоволновой обработки семян кукурузы и последующего их хранения в неблагоприятных условиях на физиолого-биохимические особенности проростков / Ж.Н. Калацкая [и др.] // Вести НАН Беларуси: серия биологических наук. – 2018. – Т. 63. – № 1. – С. 7-19.

3. Активация жидких сред и предпосевная обработка семян ультразвуковым полем / В.С. Корко [и др.] // Агропанорама. – № 3. – 2017. – С. 21-25.

4. Изучение физиолого-биохимических свойств и агрономических качеств мелкосемянных культур в условиях диэлектрической сепарации: отчет о НИР / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т; рук темы Е.А. Городецкая. – № ГР 20142846.

5. Шилиев, А.С. Физические основы применения ультразвука в медицине и экологии: учеб.-методич. пос. / А.С. Шилиев; под общ. ред. проф. С.П. Кундаса. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – 110 с.

6. Шилиев, А.С. Ультразвук в науке, технике и технологии / А.С. Шилиев. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. – 412 с.

7. Прохоренко, П.П. Ультразвуковой капиллярный эффект / П.П. Прохоренко, Н.В. Дежкунов, Г.Е. Коновалов. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 135 с.

8. Rui Li, Hui Zhong // Ultrasound in Medicine and Biology, V. 35. – 2014. – P. S235-S236.

9. Khokhlova T.O., Canney M.S. [et. al.] // Journ. Acoust. Soc. Am., V. 130. – 2011. – P. 3498.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.01.2020

Система микропроцессорного автоматизированного регулирования положения распределительной штанги относительно обрабатываемой поверхности

Предназначена для повышения равномерности внесения рабочего раствора пестицидов штанговыми опрыскивателями, снижения времени на подготовку агрегата к работе и его регулировки в процессе работы.

Система обеспечивает соблюдение постоянства расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью в процессе работы опрыскивателя, как на склонах, так и на равнинной местности.



Основные технические данные

Тип механизма изменения угла наклона штанги	Гидравлический
Тип системы	Микропроцессорная
Тип датчиков	Ультразвуковые
Диапазон измерения, м	0,4 – 2,0
Погрешность измерения расстояния между штангой и обрабатываемым объектом, м	0,040
Время готовности системы к работе, мин.	до 1
Напряжение питающей сети, В	$\pm 12 \pm 2,5$
Продолжительность постоянного измерительного сигнала, после которого вырабатывается управляющее воздействие на исполнительный привод, с	2
Масса, кг, не более	40