

УДК 632.4:635.21

DOI 10.30679/2587-9847-2024-38-56-58

**ВЛИЯНИЕ НЕТЕРМАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ НА ФИТОПАТОГЕНЫ****Петрухина Д.И., Горбатов С.А., Иванов И.А., Тихонов В.Н,  
Харламов В.А., Тихонов А.В.***НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ  
(Калужская область)*

**Реферат.** В работе определяли анти-фитофторозный эффект нетермальной аргоновой плазменной струи. Эксперименты показали, что споры *Phytophthora spp.* гибнут перед прорастанием в субстрат. Анти-фитофторозный эффект фиксировали через 10 ч после посева. Уже после 1 мин плазменной обработки степень ингибирования была более 90 %.

**Ключевые слова:** холодная плазма, СВЧ-плазматрон, фитопатогены, грибковые заболевания, фитофтороз.

**Summary.** The work determined the anti-late blight effect of a non-thermal argon plasma jet. Experiments have shown that spores of *Phytophthora spp.* die before germination into the substrate. The anti-late blight effect was recorded 10 hours after sowing. After just 1 minute of plasma treatment, the degree of inhibition was more than 90%.

**Key words:** cold plasma, microwave plasmatron, phytopathogens, fungal diseases, late blight.

**Введение.** В последние годы наблюдается значительный научный и практический интерес к разработке и исследованию новых генераторов нетермальной «холодной» неравновесной плазмы атмосферного давления. Это связанный с новыми возможностями ее применения в ряде инновационных приложений [4]. Неравновесная плазма является генератором целого ряда активных агентов, основным из которых являются ускоренные заряженные частицы, фотоны света и нейтральные активные частицы (ионы, радикалы, возбужденные молекулы). Воздействие неравновесной плазмы на поверхность имеет комплексный характер [1]. Свойства нетермальной плазмы позволяют использовать её в том числе для обработки термочувствительных материалов, таких как биологические ткани. Типичными примерами источников плазмы являются: коронный разряд, тлеющий разряд, диэлектрический барьерный разряд и нетермальная плазменная струя, имеющие ограниченную эффективность активации газа. Сверхвысокочастотный (СВЧ) разряд атмосферного давления снимает ограничения по удельной мощности. При атмосферном давлении СВЧ плазматрон «классической» безэлектродной конструкции формирует плазменную струю с температурой от нескольких тысяч градусов и более. Известные электродные СВЧ разрядники формируют аргоновую плазму с температурой в десятки градусов Цельсия [9]. Основной особенностью плазмы СВЧ-разрядов является ее существенная неравновесность даже при высоких давлениях. Использование газовых разрядов при давлении около атмосферного обеспечивает дополнительное преимущество, заключающееся в отсутствии необходимости в каком-либо дорогом и сложном оборудовании для поддержания вакуума [1].

В нашем институте разработан СВЧ-плазматрон, на который получен ряд патентов. Устройство для генерирования плазмы с использованием внешних электромагнитных полей сверхвысокой частоты – СВЧ-плазматрон- состоит из прямоугольного волновода на волне Н10 и диэлектрической разрядной трубки, проходящей через середину его широкой стенки. Устройство может быть подключено к СВЧ генератору как по консольной, так и по проходной схеме [2]. Нами проведен ряд исследований, показывающий биоцидные

свойства генерируемой нетермальной аргоновой плазмы [11]. Интересно расширение практического применения разработанного генератора плазмы для борьбы с сельскохозяйственными болезнями. Особую опасность представляет фитофтороз, вызываемый оомицетом *Phytophthora* spp. [7], который получил широкое распространение [5]. Наиболее тяжелые последствия для сельскохозяйственных культур в период вегетации отмечаются в годы эпифитотийного развития. В годы с влажным и прохладным периодом формирования клубней картофеля вредоносность достигает критических величин, а потери урожая могут превышать 50 % [6, 3].

Для борьбы фитофторозом имеется большой набор препаратов, однако не все из них обладают высокой эффективностью и длительным защитным действием [10]. В тоже время, действие нетермальной аргоновой плазмы на *Phytophthora* spp. – возбудителя фитофтороза сельскохозяйственных культур, недостаточно исследовано и нуждается в дополнительном изучении.

Цель работы состояла в оценке эффективности нетермальной аргоновой плазмы против зооспор возбудителя фитофтороза *Phytophthora* spp.

**Материалы и методы исследования.** Объектом был изолят *Phytophthora* spp. с картофеля, который был выделен и предоставлен из ВНИИ картофельного хозяйства имени А. Г. Лорха. На чашки Петри с картофельно-сахарозным агаром вносили 50 мкл смыва с 7-ми-суточной культурой и растирали шпателем по всей поверхности чашки для посева сплошным газоном. Изучали зависимость действия плазмы от периода инкубации посева зооспор перед экспозицией; а также зависимость действия плазмы от длительности экспозиции. После экспозиции плазмой посева на чашках инкубировали 15 сут при +20...22 °С. Учитывали изменения количества КОЕ на плотной среде. Подсчитывали процент ингибирования роста КОЕ:  $((КОЕ_{\text{контроль}} - КОЕ_{\text{эксперимент}}) / КОЕ_{\text{контроль}}) * 100$  %. В таблицах количественные значения представлены в виде  $M \pm \sigma$  (среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение), медиана, минимальное и максимальное значение.

**Обсуждение результатов.** Результаты показали высокую чувствительность зооспор колоний *Phytophthora* spp. В предварительном эксперименте экспозицию зооспор проводили непосредственно после посева. Значимой корреляции от увеличения времени экспозиции плазмой на снижение количества жизнеспособных зооспор не наблюдалось. Уже после 1 мин экспозиции количество колоний снижалось на 90 %. Увеличение экспозиции приводила к полному ингибированию. В дальнейшем экспозицию плазмой проводили через 1 ч, а также через 10 ч после посева зооспор. В результате наблюдали аналогичную высокую чувствительность зооспор *Phytophthora* spp. к плазменной обработке (табл. 1).

Таблица 1 – Действие нетермальной плазмы на рост числа КОЕ возбудителя фитофтороза в различные сроки после посева зооспор на чашки Петри

Длительность от посева до экспозиции	Экспозиция	Значения КОЕ на 10 сутки					Ингибирование КОЕ
		Ср. зн	Ст. откл	Медиана	Мин	Макс	
Час	Мин						% от контроля
-	Контроль	199	2,52	199	197	202	-
2	1	10	17,3	0	0	30	95
	5	0,5	1	0	0	2	99,8
	10	0	0	0	0	0	100
	20	0	0	0	0	0	100
10	1	0	0	0	0	0	100
	5	0	0	0	0	0	100
	10	0	0	0	0	0	100
	20	0	0	0	0	0	100

Эффективность аргоновой плазмы против *Phytophthora* spp. была выражена даже через 10 ч после посева на чашки Петри. Степень ингибирования КОЕ *Phytophthora* spp. превышала 90 % уже после 1 мин экспозиции. В литературе сообщалось, что прорастание зооспорангиев в зооспоры происходит в течение 1,5...2 ч, что помогает быстрому нарастанию инфекции в поле, а для прорастания в ростовые трубки требуется 5...8 ч [8].

**Выводы.** По результатам опытов можно определить защитную активность нетермальной плазмы: споры гибнут перед заражением, фиксировали ингибирующую активность против прорастания спор. Проведение плазменной обработки нужно обеспечить до прорастания спор. Наблюдали через 2 ч и 10 ч после посева. Степень ингибирования КОЕ *Phytophthora* spp. превышала 90 % уже после 1 мин.

### Литература

1. Антипов С. Н., Гаджиев М. Х., Терешонок Д. В., Горбатов С. А., Иванов И. А., Тихонов В. Н., Тихонов А. В., Абрамов А. Г., Угрюмов А. В. Генерация плазменных струй умеренной температуры на основе поперечного СВЧ-разряда в волноводе. Прикладная физика. 2022. №. 6. С. 5-11.
2. Горбатов С. А., Тихонов В. Н., Иванов И. А., Тихонов А. В., Меджидов И. М. СВЧ плазматрон на основе волноводного моста // Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве. – 2022. – С. 170-171.
3. Деревягина, М. К., Белов, Г. Л., Васильева, С. В., Зейрук, В. Н. Влияние различной пестицидной нагрузки на развитие фитофтороза и альтернариоза картофеля в Центральном регионе России // Аграрный научный журнал. – 2022. – №. 9. – С. 18-23.
4. Диденко А. Н. СВЧ-энергетика: теория и практика. М.: Наука, 2003
5. Зубарев А. А., Каргин В. И., Ерофеев А. А. Защита картофеля от фитофтороза // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – №. 1 (33). – С. 21-24.
6. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Якушева О. И., Филиппов П. А. Отзывчивость картофеля на удобрение и потери урожая от фитофтороза в условиях Северо-Запада России // Картофель и овощи. – 2019. – №. 8. – С. 23-26.
7. Иванюк В. Г. Фитофтороз картофеля и пути снижения его вредоносности // Защита и карантин растений. – 2009. – №. 5. – С. 52-55.
8. Ильяшенко, Д. А. Методические указания по оценке картофеля на устойчивость к клубневым гнилям / Д. А. Ильяшенко, В. Г. Иванюк, В. И. Калач, В. М. Ерчик, М. П. Пляхневич, О. Ф. Софьин; РУП «Науч. -практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». – Самохваловичи, 2010. – 52 с.
9. Тихонов, В. Н., Антипов, С. Н., Гаджиев, М. Х., Горбатов, С. А., Иванов, И. А., & Тихонов, А. В. Экспериментальное исследование свойств микроволнового разряда в диэлектрической барьерной конфигурации // Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects. – 2022. – С. 810-815.
10. Филиппас А. С. Защита картофеля от фитофтороза с помощью инфинито // Защита и карантин растений. – 2009. – №. 5. – С. 28.
11. Харламов В. А., Полякова И. В., Петрухина Д. И. Бицидное действие нетермальной аргоновой плазмы на микробиоту семян ячменя // Техника и оборудование для села. – 2021. – №. 4. – С. 20-23.