

УДК 631:533

UDC 631:533

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ ВОДОЙ ОБРАБОТАННОЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМОЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РОСТА И УРОЖАЙНОСТЬ****INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF COLD PLASMA TREATED WATER ON POTATO PLANTING GROWTH INTENSITY AND PRODUCTIVITY**

Тихонов Евгений Андриянович  
к.т.н., доцент  
*Петрозаводский государственный университет,  
Петрозаводск, Россия*

Tikhonov Evgeniy Andriyanovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
*Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia*

В статье рассматривается перспективность применения технологии холодной плазмы в различных отраслях и проведенные исследования по данной тематике. Описываются исследования, проводимые в ПетрГУ на агротехническом факультете по применению воды обработанной плазмой при возделывании картофеля. Описываются параметры разрабатываемой установки для обработки воды. Приводятся результаты экспериментального исследования по определению влияния воды обработанной холодной плазмой на рост и урожайность картофеля

In this article, we have considered the possibility and the availability of cold plasma technologies application in different branches of industry. We have described the investigations of cold plasma treated water in potato growing technology which will conduct in PetrSU at Agricultural faculty. The basic parameters of the device for water treatment with cold plasma are described. The results of the experimental investigations about cold plasma treated water influence on potato growth and productivity are presented

Ключевые слова: ХОЛОДНАЯ ПЛАЗМА, ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ, КАРТОФЕЛЬ, ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Keywords: COLD PLASMA, APPLIED RESEARCHES, APPLICATION PERSPECTIVES, POTATO, EXPERIMENTAL DESIGN

Технология получения холодной плазмы, с температурой видимой части факела 40-42С°, известна достаточно давно. Основное отличие холодной плазмы от других типов, это температура, близкая к температуре биологических объектов. Данное обстоятельство позволяет применять данный тип плазмы к живым системам. Технология получения холодной плазмы различных видов достаточно хорошо проработана и отличается от технологии получения низко- и высокотемпературной плазмы тем, что ионизирующееся вещество проходит не через дуговой электрический разряд, а через тлеющий [10]. Генерация тлеющего разряда требуемых параметров сопряжена с некоторыми трудностями. Например, необходимо применять трансформаторы специфических параметров, которые достаточно дороги и являются самой затратной частью сметы на изготовление установок генерации холодной плазмы.

В Петрозаводском государственном университете с 2001 года работает научно-образовательный центр «Плазма» [7]. Основные научные направления центра:

- нано- и микроструктуры;
- плазменные кристаллы;
- модификация в плазме;
- генераторы плазмы.

Научный коллектив центра давно и успешно исследует холодную плазму во всех ее проявлениях, о чем свидетельствует множество публикаций [11,13,14,16]. Результаты исследований центра прикладываются в различные отрасли.

Применение холодной плазмы имеет огромные перспективы в здравоохранении. Медицинский факультет ПетрГУ и центр «Плазма» ведут совместную работу по внедрению технологий холодной плазмы в практику лечения различных заболеваний. Например, при инфекционных заболеваниях глаз [5,6]. Специально для медицинских приложений специалистами центра был разработан жидкостный микроплазматрон [3]. Так же ведутся исследования возможности применения холодной плазмы для проведения хирургических операций. Одно из направлений применения холодной плазмы в хирургии – гемостаз паренхиматозных органов при хирургическом вмешательстве. Более простыми словами, это остановка кровотечения при операциях, например на печени [2]. Другое направление применения технологий холодной плазмы, это терапия оксидами азота. Метод NO-терапии раневой, воспалительной, сосудистой и другой патологии является новым словом в медицине. Основой в методе является экзогенный оксид азота плазмохимического генеза, который содержится в низкотемпературных газовых потоках (до 20°C), генерируемых из атмосферного воздуха. Лечебная эффективность экзогенного оксида азота (NO) основана на свойствах открытого в конце

XX века эндогенного NO как полифункционального физиологического регулятора. При этом наблюдаются следующие положительные эффекты [4]:

- нормализация микроциркуляции за счет вазодилатации, антиагрегантного и антикоагулянтного действия NO;
- бактерицидное действие как собственным, так и опосредованным пероксинитритом;
- индукция фагоцитоза бактерий нейтрофилами и макрофагами;
- активация антиоксидантной защиты;
- улучшение нервной проводимости (нейротрансмиссии);
- регуляция специфического и неспецифического иммунитета;
- прямая индукция пролиферации фибробластов, роста сосудов, синтеза коллагена, образования и созревания грануляционной ткани, пролиферации эпителия;
- регуляции апоптоза и предотвращении патологического рубцевания.

В целом перспективы применения технологий холодной плазмы в медицине огромны. Научная работа в данном направлении ведется очень активно во всем мире.

Помимо здравоохранения, важным сегментом применения холодной плазмы является экологический сектор. Проблема взаимодействия человека и окружающей среды все более остро стоит перед человечеством. Активное использование невозобновляемых энергоресурсов планеты, развитие химических технологий и в целом огромная антропогенная нагрузка ведут к появлению большого количества отходов деятельности человека в различных их видах. Задача утилизации и приведения в наиболее безопасное состояние этих отходов – крайне актуальная задача на сегодняшний день. Применение холодной плазмы позволяет решать определенные аспекты данной проблемы. Например, очистка жидкостных стоков промышленных предприятий [1,9]. Применение генератора

холодной плазмы мощностью 150 Вт на потоке 12,5 м<sup>3</sup>/ч позволяет в разы улучшить состояние сбрасываемой с предприятия воды. Очистка выхлопных газов – еще одно важное направление применения технологий холодной плазмы. Плазменный нейтрализатор – один из альтернативных методов нейтрализации отработавших газов. Исследования в Японии, США и России привели к созданию экспериментальных образцов оборудования, основанного на плазменных технологиях [12]. По предварительным расчетам плазменная очистка обойдется в 1,5–2 раза дешевле, чем в многокомпонентных устройствах, так как при этом не требуется использовать благородные металлы, значительно увеличивается ресурс систем нейтрализации, сокращается время на их техническое обслуживание. В НПФ «Экология» ведутся разработки установки для комплексного обезвреживания отработавших газов двигателей. Данная установка позволяет восстанавливать до 60% NO до N и обеспечивает степень конверсии CO и CH до 80% [8].

Широкое поле для разработки технология применения холодной плазмы открывает сельское и лесное хозяйство. Так как данные отрасли неотрывно связаны с живыми системами, то применять холодную плазму можно повсеместно. Одной из особенностей применения в данных отраслях является то, что обработка биологических материалов может проводиться не непосредственной плазмой, а обработанной плазмой водой. Так как вода широко применяется в данных отраслях, то не возникает необходимости изменения применяемых технологий. Насколько бы перспективным не казалось применение холодной плазмы в сельском и лесном хозяйстве, полномасштабных полевых исследований до сих пор не проводилось. Дело ограничивается лишь разрозненными лабораторными исследованиями. Например, а Петрозаводском государственном университете проводились исследования по обработке различных биологических объектов водой, обработанной холодной плазмой. В рамках

инициативной разработки Гавриловой О.И. были проведены лабораторные исследования воздействия воды обработанной плазмой на семена сосны. Результаты показали значительное увеличение всхожести семян.

Положительные результаты показало воздействие обработанной холодной плазмой воды на рыбную икру [15]. Результаты исследований показали, что вода обработанная плазмой, а также разбавление ее обычной водой в соотношении от 1:1 до 1:9 оказалась губительной как для сапролегниевых грибов, так и для икры. При исследовании влияния раствора воды обработанной плазмой малых концентраций (свыше 1:19) было выявлено значительное снижение активности сапролегниоза (грибкового заболевания икры), увеличение темпов раннего онтогенеза.

Как видно из вышесказанного, перспективы применения холодной плазмы в различных отраслях огромны. Но, при этом, исследования применения данной технологии в агропромышленном и лесном комплексах ограничиваются разрозненными лабораторными изысканиями. Для полномасштабного внедрения плазменных технологий в эти отрасли необходимо отработка технологии и методики применения холодной плазмы и продуктов ее обработки. А для этого требуется проведение полномасштабных полевых исследований на промышленной базе.

В настоящее время, в Петрозаводском государственном университете на кафедре механизации сельскохозяйственного производства совместно с физическим факультетом ведется работа над созданием установки по обработке воды холодной плазмой. Производительность установки составит 70 л/ч, что является достаточным для проведения полевого эксперимента, запланированного на сезон 2012-2013 года. Все основные параметры генерируемой холодной плазмы будут варьируемыми для определения оптимальных характеристик обработки воды при достижении максимального эффекта. Перечень варьируемых факторов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Варьируемые экспериментальные факторы

| Уровень варьирования | Межэлектродное расстояние, мм | Начальное напряжение пробоя воды, кВ | Средняя мощность обработки воды, кВа | Расход воды, л/мин |
|----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| +1                   | 6                             | 40                                   | 0,4                                  | 0,05               |
| 0                    | 4                             | 26                                   | 800                                  | 0,61               |
| -1                   | 2                             | 12                                   | 1600                                 | 1,14               |

Из приведенных в таблице факторов, видно, что факторы 1 и 2 взаимозависимы. Но эта взаимозависимость односторонняя, то есть при увеличении меж электродного расстояния ограничивается только минимальное напряжения пробоя воды. При этом, мы можем при минимальном межэлектродном расстоянии подать 40 кВ. При этом исследуется влияние объема разряда на эффективность обработки. Средняя мощность обработки воды – это та электрическая мощность, которая будет забираться из сети, и передаваться на ионизацию воды в единицу времени.

Так как процесс обработки воды холодной плазмой весьма сложен и многогранен, то есть еще много факторов, которые могут оказать влияние на результат. Но, это вопрос дальнейших исследований.

Еще один аспект экспериментальных исследований, который мы не можем обойти стороной. Очень интересный параметр – это материал электродов. Например, можно применить медь, которая считается бактерицидной, серебро с его ионами, обычную или нержавеющей сталь, то эффект может быть очень разным.

Сам эффект от применения воды обработанной холодной плазмой ожидается в виде ускоренного роста и развития растений, меньшей подверженности заболеваниям и паразитам. Также, в эксперименте будут

учитываться результаты хранения урожая выращенного по экспериментальной технологии. Данный полнофакторный эксперимент позволит определить степень положительного влияния воды обработанной холодной плазмой на биологические процессы картофеля и на качество собранного и сохраненного урожая. Для оценки качества урожая будут применены стандартные агрономические методики. По результатам эксперимента будет сформулировано техническое задание на проектирование и изготовление промышленного образца оборудования обработки воды холодной плазмой для применения в растениеводстве.

На начальном этапе исследований, было принято решение провести исследование влияния однократной обработки посевного материала водой обработанной холодной плазмой. Для этого, в 2012 году на коллекционном участке кафедры агрономии, землеустройства и кадастров Петрозаводского Государственного Университета проведены исследования по предпосадочному намачиванию клубней картофеля водой обработанной холодной плазмой в течение 24 часов.

Целью данных исследований являлось изучение влияния воды обработанной холодной плазмой в разных концентрациях на ростовые процессы и урожайность картофеля.

В задачи исследований входило проведение фенологических наблюдений, измерение высоты растений, подсчет числа стеблей, числа и массы крупных, средних и мелких клубней с целью выявления наиболее эффективной концентрации обработанной воды для получения высокого урожая картофеля.

Опыт закладывался в четырех повторностях и включал 4 варианта (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Варианты опыта

| Варианты     | Концентрация обработанной воды, % |
|--------------|-----------------------------------|
| 1 (контроль) | 0                                 |
| 2            | 99,9                              |
| 3            | 66,6                              |
| 4            | 33,3                              |

Исследования проводили на раннеспелом сорте картофеля Фреско, среднераннем Астерикс и среднепозднем Рождественский.

Почва опытного участка дерново-слабоподзолистая, высокоокультуренная, супесчаная. Содержание гумуса в пахотном слое высокое, реакция почвенного раствора слабокислая, содержание подвижного фосфора и обменного калия среднее.

Агротехника возделывания картофеля – общепринятая для Северо – Западной зоны. Предшественник – однолетние травы. За время вегетации проведены послеуборочное боронование и два окучивания.

Метеорологические условия полевого сезона 2012 года были благоприятными для роста и развития картофеля.

Проведенные исследования показывают неоднозначное воздействие на сорта с разной продолжительностью вегетационного периода данного приема подготовки клубней к посадке на длину и число стеблей (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Влияние воды обработанной холодной плазмой на биометрические показатели картофеля

|   | Сорт              |                    |                   |                    |                   |                    |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|   | Фреско            |                    | Рождественский    |                    | Астерикс          |                    |
|   | Длина стеблей, см | Число стеблей, шт. | Длина стеблей, см | Число стеблей, шт. | Длина стеблей, см | Число стеблей, шт. |
| 1 | 36,0              | 2,8                | 36,3              | 3,1                | 71,7              | 3,00               |
| 2 | 31,0              | 2,6                | 36,2              | 3,0                | 66,9              | 3,47               |
| 3 | 39,7              | 3,0                | 36,6              | 2,7                | 63,9              | 3,37               |
| 4 | 42,1              | 3,3                | 36,7              | 2,8                | 62,4              | 2,80               |



У сорта Астерикс по мере снижения концентрации активированной воды наблюдается, по сравнению с контролем, подавление высоты растений, а у сорта Рождественский числа стеблей. Большая и средняя концентрации воды способствуют увеличению числа стеблей сорта Астерикс, наибольшее их количество у сорта Фреска наблюдается под влиянием меньшей 33,3% концентрации.

Предпосадочная обработка клубней картофеля активированной водой оказывает влияние на фракционный состав и урожайность картофеля (см. таблицы 4, 5).

Таблица 4 – Фракционный состав урожая

| Вариант             | Фракционный состав        |             |                        |             |                         |             | В кусте       |             |
|---------------------|---------------------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                     | Крупная<br>(более 100 г). |             | Средняя<br>(50-100 г). |             | Мелкая<br>(менее 50 г). |             | Число,<br>шт. | Масса,<br>г |
|                     | Число,<br>шт.             | Масса,<br>г | Число,<br>шт.          | Масса,<br>г | Число,<br>шт.           | Масса,<br>г |               |             |
| Сорт Фреско         |                           |             |                        |             |                         |             |               |             |
| 1                   | 2,5                       | 333         | 2,3                    | 149         | 2,6                     | 64,8        | 7,4           | 547         |
| 2                   | 2,3                       | 290         | 3,3,                   | 165         | 3,0                     | 60,5        | 8,5           | 516         |
| 3                   | 2,9                       | 340         | 2,5                    | 141         | 3,6                     | 75,6        | 9,0           | 557         |
| 4                   | 2,1                       | 316         | 2,7                    | 161         | 2,5                     | 60,9        | 7,3           | 538         |
| Сорт Рождественский |                           |             |                        |             |                         |             |               |             |
| 1                   | 2,2                       | 293         | 2,5                    | 140         | 3,1                     | 78,2        | 7,8           | 511         |
| 2                   | 2,3                       | 299         | 3,1                    | 217         | 3,1                     | 65,9        | 8,5           | 584         |
| 3                   | 3,1                       | 381         | 2,8                    | 140         | 3,1                     | 67,7        | 9,1           | 589         |
| 4                   | 2,6                       | 345         | 3,0                    | 159         | 2,8                     | 63,3        | 8,6           | 570         |
| Сорт Астерикс       |                           |             |                        |             |                         |             |               |             |
| 1                   | 2,0                       | 209         | 3,0                    | 157         | 4,0                     | 98,6        | 8,9           | 465         |
| 2                   | 1,4                       | 172         | 3,4                    | 205         | 4,9                     | 120         | 9,7           | 497         |
| 3                   | 1,4                       | 152         | 3,5                    | 171         | 4,4                     | 122         | 9,3           | 446         |
| 4                   | 1,4                       | 168         | 3,7                    | 186         | 6,7                     | 162         | 11,8          | 516         |

Предпосадочная обработка клубней картофеля самого раннего сорта Фреско оказывает незначительное положительное влияние на формирование урожая картофеля. Обработка водой обработанной холодной плазмой 66,6% концентрации вызывает увеличение числа и

массы крупной и мелкой фракции клубней картофеля. Намачивание клубней любой концентрацией активированной воды среднераннего сорта Астерикс снижает число и массу крупной фракции, тогда как на среднюю и мелкую фракции обработка оказывает положительное влияние. Наибольшее число клубней формируется в варианте с намачиванием 33,3% концентрацией, а наименьшее под влиянием 66,6% концентрации. Обработка клубней сорта Рождественский любой концентрацией стимулирует образование клубней крупной и средней фракции

Таблица 5 - Урожайность картофеля, т/га

| Вариант | с. Фреско |                 | с. Рождественский |                | с. Астерикс |                |
|---------|-----------|-----------------|-------------------|----------------|-------------|----------------|
|         | т/га      | % , к контролю, | т/га              | % , к контролю | т/га        | % , к контролю |
| 1       | 26,2      | -               | 24,5              | -              | 22,3        | -              |
| 2       | 24,7      | -5,8            | 28,0              | 14,2           | 23,9        | 7,1            |
| 3       | 26,7      | 2,0             | 28,3              | 15,5           | 21,4        | -4,1           |
| 4       | 25,8      | -1,6            | 27,4              | 11,8           | 24,8        | 11,2           |

Предпосадочное намачивание клубней оказывает неоднозначное влияние на урожайность сортов картофеля разных групп спелости. Среднепоздний сорт Рождественский более отзывчив на данный прием подготовки клубней к посадке. Прибавка урожая к контролю составляет 11,8 – 15,5%.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что электрохимическая активация воды может найти применение в подготовке посадочного материала картофеля с целью увеличения продуктивности культуры, а данная работа требует дополнительных исследований.

В общем и целом, область применения технологий холодной плазмы в агропромышленном комплексе не ограничивается растениеводством. Большие перспективы сулит исследование возможности применения технологий холодной плазмы в животноводстве и переработке молока.

Дальнейшие исследования позволят выйти на концепцию комплексного применения технологий холодной плазмы в сельском хозяйстве.

#### Список использованных источников

1. Аристова Н.А., Пискарев И.М. Новый подход к задаче очистки и обеззараживания питьевой воды на основе генератора озono-гидроксильной смеси.// С.О.К. (Сантехника. Отопление. Кондиционирование.) № 9. 2005 г. С. 26 - 28.
2. Бушлатов П.С., Санников М.Ю., Денеко О.И. Применение неравновесной (холодной) плазмы для гемостаза при операциях на печени. Материалы 70-й Юбилейной итоговой научной конференции им. Н.И. Пирогова (г. Томск, 16-18 мая 2011 г.), под ред. В. В. Новицкого, Л. М. Огородовой. – Томск: Сибирский государственный медицинский университет, с. 2011. – 430.
3. Галов А.С., Гостев В.А., Куроптев В.А. Жидкостный микроплазмотрон для биомедицинских приложений. // Четырнадцатая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-14, Уфа): Материалы конференции, тезисы докладов. Екатеринбург - Уфа: Изд-во АСФ России, 2008. с.269-270.
4. Козлов Н.П., Пекшев А.В., Камруков А.С. Плазменные аппараты для медицины // НО-терапия: теоретические аспекты, клинический опыт и проблемы применения экзогенного оксида азота в медицине. – М., 2001. – С.57-60.
5. Комкова О. П., Мисюн Ф. А. , Гостев В. А. Экспериментальное изучение бактерицидных свойств холодной плазмы // Материалы конф. «Диагностика и лечение инфекционных заболеваний» -Петрозаводск, Изд-во ПетрГУ. 2000. с. 158-160.
6. Комкова О. П., Мисюн Ф. А. Экспериментальное изучение воздействия холодной плазмы на роговую оболочку // Материалы конф. «Диагностика и лечение инфекционных заболеваний» -Петрозаводск, Изд-во ПетрГУ. 2000. с. 160-162.
7. НОЦ «Плазма» - эл. ресурс. Режим доступа: <http://plasma.karelia.ru/about/>
8. НПФ «Экология» - эл. ресурс. Режим доступа: <http://ecology-npf.narod.ru/ppnog.html>
9. Пискарев И.М. , Аристова Н.А., Лихачев П.П. , Ушканов В.А. Применение генератора холодной плазмы для очистки ливневых стоков (публикация автора на scireople) - Вода: Химия и Экология , 2008. 56 с.
10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М., 1987. 536 с.
11. Тихомиров А.А., Гостев В.А., Сысун В.И. Прианодная область микроплазменного источника с острым анодом //Прикладная физика, 4 2008, с. 49-52
12. Чернецов Д.А., Капустин В.П. Способы нейтрализации отработавших газов в выпускной системе дизельных двигателей. Вопросы современной науки и практики Университет имени В.И.Вернадского - №4-6(29)/2010. 75 с.
13. Fridman, Chirokov, et al., Non-Thermal Atmospheric Pressure Discharges. Journal of Physics DApplied Physics, 2005. 38(2): p. R1-R24.
14. Gans, Characterization of Stationary and Pulsed Inductively Coupled Rf Discharges for Plasma Sterilization Plasma Phys Control Fusion, 2005. 47: p. A353-A360
15. Gostev V., Ignakhin V., Popova E., Ostashkov O. "Cold Plasma In Biological Investigations"// NATO: advanced study institute. Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents. 16-26 September 2007, Çeşme, Turkey. P.54 – 56.
16. Gregory Fridman, Blood Coagulation and Living Tissue Sterilization by Floating-Electrode Dielectric Barrier Discharge in Air. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2006.