

Влияние воды, обработанной плазмой, на всхожесть семян сельскохозяйственных культур

Анатолий Васильевич Грязькин¹, Ольга Ивановна Гаврилова², Кирилл Валерьевич Гостев²

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: lesovod@bk.ru

²Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия, e-mail: kgostev@petrsu.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы ускоренного прорастания семян семи видов сельскохозяйственных культур, подготовленных намачиванием в активированной плазмой воде. Наиболее перспективным способом предпосевной обработки семян считается воздействие на них плазмой. При этом используется плазма с разной температурой нагрева, наиболее безопасной для семян считается «холодная» плазма. Вода, обработанная плазмой, получается с помощью специально разработанного аппарата для воздействия на воду током высокой частоты и мощности. Время обработки воды составляет 2 и 4 мин. Вода, активированная плазмой, имеет отличные от обычной воды показатели кислотности. Восстановление уровня кислотности воды составило от 2 до 4 суток. Установлено, что реакция крупных и мелких семян была различной на намачивание и сроки прорастания. Наибольший эффект получен при обработке мелких семян, имеющих низкую всхожесть. Для семян сельскохозяйственных культур длиной менее 5 мм предлагается для предпосевной обработки вода, обработанная в течение 2 мин. Вода, обработанная плазмой, предварительно была разбавлена водопроводной водой до 50%-й концентрации. Кроме того, у обработанной воды выявлен фунгицидный эффект. Максимальный эффект дает вода, обработанная плазмой в течение 4 мин. Из сельскохозяйственных культур наилучшим образом реагируют на обработку семена гречихи, маша и пшеницы, всхожесть которых на 7-й день опыта составила 98–100 %.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян; сельскохозяйственные культуры; вода, обработанная плазмой; всхожесть и прорастание семян.

Для цитирования: Грязькин А. В., Гаврилова О. И., Гостев К. В. Влияние воды, обработанной плазмой, на всхожесть семян сельскохозяйственных культур // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 11–16. [http: 10.28983/asj.y2023i7pp11-16](http://10.28983/asj.y2023i7pp11-16).

AGRONOMY

Original article

The influence of plasma-treated water on the germination of agricultural seeds

Anatoly V. Gryazkin¹, Olga I. Gavrilova², Kirill V. Gostev²

¹St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia, e-mail: lesovod@bk.ru

²Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia, e-mail: kgostev@petrsu.ru

Abstract. The article deals with the issues of accelerated seed germination by using the method of seed preparation by soaking in plasma-activated water. With different methods of stimulating the germination of the seed embryo, the effect of "cold" plasma on it is considered the most promising. Plasma-treated water (OPV) was obtained using a specially designed apparatus for influencing water with a high frequency and power current. The water treatment time was 2 and 4 minutes. First, the plasma-activated water had different acidity indicators from ordinary water. The recovery of the OPV acidity level was from 2 to 4 days. Seeds large and small (less than 5 mm) reacted differently to soaking in water treated in low-temperature plasma. For crops with seeds less than 5 mm long, water treated for 2 minutes in a 50 % concentration can be offered for soaking. Some fungicidal effect of water treated with plasma was revealed. The seeds soaked in water treated for 4 minutes were least damaged by mold fungi. The most severe damage by fungi was caused by wheat and quinoa seeds.

Keywords: pre-sowing treatment of seeds; agricultural crops; plasma-treated water; germination and germination of seeds.

For citation: Gryazkin A. V., Gavrilova O. I., Gostev K. V. The influence of plasma-treated water on the germination of agricultural seeds. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(7):11–16. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i7pp11-16](http://10.28983/asj.y2023i7pp11-16).





Введение. При хранении семян сельскохозяйственных культур в различных условиях с течением времени нарушается процесс естественной подготовки к прорастанию. Предпосевная обработка семян вызвана необходимостью стимулирования процесса их прорастания. Известно, что всхожесть семян зависит от условий прорастания [8]. На ранних этапах на появление проростков и рост всходов оказывает влияние ряд факторов. К числу основных относят температурный режим и влажность среды. Ускорение сроков проращивания и дезинфекция семян имеют большое значение. Для дезинфекции семян широко используют протравители. Это пестициды, химические вещества, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие не только на всхожесть семян. Наиболее эффективны многокомпонентные протравители [5, 6].

Применение в пищевой промышленности проростков ряда культур в последние годы стало распространенной практикой, что требует внимательного отношения к экологически безопасным способам предпосевной обработки семян [2, 4, 11]. Предлагаются различные способы подготовки семян к посеву [8, 9]. Некоторые исследователи акцентируют внимание на обработке семян фунгицидами. В отдельных публикациях предлагается метод плазменной обработки семян. Поиск новых методов обработки семян связан не только с целью повышения всхожести, но и снижения влияния патогенов [7].

Ранее исследовалось влияние низкотемпературной плазмы на прорастание семян древесных пород [10]. Было выявлено, что обработка в плазменном разряде влияет на жизнеспособность спор паразитных и сапрофитных грибов, находящихся на поверхности семян. Наиболее эффективно такое воздействие проявилось на грибах из родов *Fusarium*, *Alternarium*, вызывающих полегание всходов и загнивание семян. Из публикаций известно, что кроме фунгицидного эффекта обработка низкотемпературной плазмой может повышать устойчивость семян к засухе и морозам [7, 10]. Согласно полученным результатам, стерилизаторы, основанные на использовании плазмы, экологичны, малоэнергоёмки и не представляют радиационной опасности [1, 3, 7].

Цель работы – оценка эффективности инновационных методов предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур.

Методика исследований. С помощью специального генератора исследовано влияние воды, обработанной в разряде низкотемпературной плазмы, на прорастание семян разных видов сельскохозяйственных культур.

На проращивание были заложены семена 7 разных сельскохозяйственных культур. Для опыта использовали от 50 (крупные семена) до 100 (мелкие) семян в трех вариантах и трех повторностях. Первый вариант – фильтровальную бумагу (ложе) в чашках Петри намачивали дистиллированной водой (контроль). Второй вариант – ложе намачивали водой, обработанной в разряде низкотемпературной плазмы в течение 2 мин. Третий вариант – ложе намачивали водой, обработанной в разряде низкотемпературной плазмы в течение 2 мин, но разбавленной дистиллированной водой до концентрации 50 %. Опыт проводили в два этапа. На первом обработку воды плазмой проводили в течение 2 мин, на втором – 4 мин.

Для обработки семян сельскохозяйственных культур использовали специальное устройство, предназначенное для обработки воды в разряде низкотемпературной плазмы. Объем обрабатываемой воды 0,75 л, температура обработки +40...50 °С, напряжение горения разряда 5кВ, импульсный ток ~40А, энергия одного импульса ~1Дж, скважность 0,1–0,01, частота импульсов 1–10 Гц, потребляемая мощность 50 Вт. При работе импульсного генератора образуется область плазмы, на границе которой происходит воздействие плазмы на воду. Спектр излучения разряда плазмы показывает наличие линий ОН, Н, О, О₂, О₃, Н₂, что говорит о высокой степени разложения воды. Большое количество заряженных частиц приводит к переходу воды в метастабильное энергетическое состояние (активация воды).

Уровень кислотности воды, измеряемый рН-метром, показал, что обработка воды плазмой в течение 2 мин приводит к изменению кислотности с 6,5 до 8,34 единиц. В течение 24 ч происходило постепенное восстановление уровня рН до начального, однако при обработке воды плазмой в течение 4 мин наблюдали колебания рН и восстановление исходной кислотности в течение длительного времени – более 4 суток [5].

Семена после намачивания в дистиллированной воде, а также в воде, обработанной плазмой в течение 2 и 4 мин, проращивали по стандартной методике в лабораторных условиях. В ходе опыта фиксировали появление проростков на 3, 5, 7, 10 и 15-й день. При этом поддерживалась температура воздуха +20...22 °С, а температура на ложе несколько выше – от +22 до +24 °С [2].

Результаты исследований. Семена чечевицы (*Lens culinaris* Medik.) зеленого сорта проросли в течение одного дня. Наилучшие результаты дал вариант с контролем (72 % в первый день).



Во всех случаях минимальную всхожесть наблюдали в варианте с неразбавленной водой, обработанной плазмой. Максимальная всхожесть (98 %) была зафиксирована на 7-й день опыта. При этом всхожесть семян, обработанных неразбавленной водой (третий вариант), оказалась минимальной (90 %) на 7-й день проращивания.

Семена нута бараньего (*Cicer arietinum* L.) во всех исследованных вариантах опыта заплесневели. На 3-й день основная часть оказалась пораженной плесневым грибом (рис. 1). В большей степени семена нута повреждались плесенью в первом варианте (контроль). Семена этой культуры из дальнейшего опыта были исключены.



Рис. 1. Семена льна и нута после обработки воды плазмой в течение 2 мин, пораженные грибом на 3-й день проращивания

На всхожесть семян риса посевного сорта красного (*Oryza sativa* L.) наибольшее влияние оказала неразбавленная вода, обработанная плазмой (см. таблицу). На 3–7-й день проращивания всхожесть составила 64–74 %, что по сравнению с контролем и разбавленной до 50 % водой, обработанной плазмой, оказалось на 10–20 % выше.

Семена льна (*Linum usitatissimum* L.) оказались зараженными сапрофитными грибами на 25–30 %, что по сравнению с семенами нута в несколько раз меньше. Следовательно, семена

Всхожесть семян различных культур при использовании обработанной плазмой воды в течение 4 мин, %

Вид растения	Обработанная вода		
	контроль	50 %	100 %
1-й день проращивания			
Рис красный (бутанский)	0	3	0
Чечевица пищевая (зеленая)	72	20	0
Лен обыкновенный	4	26	12
Пшеница твердая	0	50	14
Киноа, рисовая лебеда	0	0	0
Маш (бобы мунг)	8	20	32
Гречиха посевная	82	92	88
2-й день проращивания			
Рис красный (бутанский)	50	62	64
Чечевица пищевая (зеленая)	94	48	26
Лен обыкновенный	38	58	32
Пшеница твердая	74	62	74
Киноа, рисовая лебеда	0	14	2
Маш (бобы мунг)	98	100	92
Гречиха посевная	80	84	92
3-й день проращивания			
Рис красный (бутанский)	56	64	72
Чечевица пищевая (зеленая)	92	94	80
Лен обыкновенный	74	80	78
Пшеница твердая	86	64	72
Киноа, рисовая лебеда	0	16	4
Маш (бобы мунг)	98	100	98
Гречиха посевная	82	98	98

Вид растения	Обработанная вода		
	контроль	50 %	100 %
4-й день проращивания			
Рис красный (бутанский)	56	64	74
Чечевица пищевая (зеленая)	96	94	80
Лен обыкновенный	74	82	84
Пшеница твердая	88	88	78
Киноа, рисовая лебеда	3	14	4
Маш (бобы мунг)	98	98	98
Гречиха посевная	98	100	100
7-й день проращивания			
Рис красный (бутанский)	64	64	74
Чечевица пищевая (зеленая)	98	98	90
Лен обыкновенный	70	92	84
Пшеница твердая	98	88	98
Киноа, рисовая лебеда	3	14	4
Маш (бобы мунг)	98	98	98
Гречиха посевная	98	100	100

льна оказались более устойчивыми к патогенам. И в том, и в другом случае семена, используемые в опыте, в большей степени были поражены грибом в контрольном варианте.

После анализа результатов первого этапа (2-минутная обработка воды плазмой) повторили опыты по всем вариантам с обработкой воды в течение 4 мин. На первый день после обработки и намачивания ложка проросли семена гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) Максимальный процент проросших семян был в варианте с намачиванием ложка разбавленной водой до 50%-й концентрации.

На первый день также проросли семена льна (*Linum usitatissimum* L.) и пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Маш (бобы мунг, *Vigna radiata* (L.) R.Wilczek) лучше прорастал при намачивании ложка водой 100%-й концентрации, обработанной плазмой в течение 4 мин.

При обработке воды в течение 4 мин семена разных культур по-разному реагировали на концентрацию обработанной плазмой воды. Семена всех культур за исключением киноа (рисовая лебеда) на 7-й день опыта проросли во всех вариантах на 74–100 % при 100%-й концентрации и на 64–100 % при 50%-й концентрации. Для крупных семян обработка воды плазмой дает эффект лишь в течение первых дней после начала прорастания.

Для мелких семян (киноа – *Chenopodium quinoa* Willd., лен – *Linum usitatissimum* L.) лучшие результаты по проращиванию получены при намачивании ложка водой 50%-й концентрации, обработанной плазмой в течение 4 мин.

Увеличенное время обработки семян позволяет снизить их зараженность плесневыми грибами. В целом, зараженность семян грибами, намоченными в дистиллированной воде, оказалась на 26 % выше, чем при использовании активированной воды.

Было установлено, что семена риса, которые проращивали на ложе, обработанном дистиллированной водой, прорастали в течение более длительного времени относительно варианта с водой, обработанной плазмой. Общий процент всхожести у таких семян также был выше. Наилучшая всхожесть семян риса была зафиксирована в варианте со 100%-й концентрацией воды, обработанной плазмой (рис. 2). Максимальный процент всхожести имели семена, намоченные в воде, обработанной плазмой в течение 4 мин, при 100%-й концентрации.

При проращивании семян чечевицы зеленой и льна было установлено, что максимальную всхожесть имели семена, намоченные в обработанной плазмой воде при 50%-й концентрации. Однако в первый день у семян чечевицы наблюдалось торможение роста. На второй-третий день такие семена начинали активно прорастать. Уже на 7-й день количество проростков в опыте превышало количество проростков в контроле (рис. 3). Следует отметить слабую повреждаемость плесневыми грибами семян чечевицы во всех вариантах опыта. Семена льна также не поражались грибковыми инфекциями.

Максимальное количество проростков пшеницы образовалось в варианте с 50 %-й концентрацией обработанной плазмой воды через 24 ч. Семена контрольного варианта за первые 24 ч не





Рис. 2. Проросшие семена риса (вверху) и маша (внизу), намоченные в дистиллированной воде (слева) и в обработанной плазмой воде 100%-й концентрации на 7-й день после начала проращивания

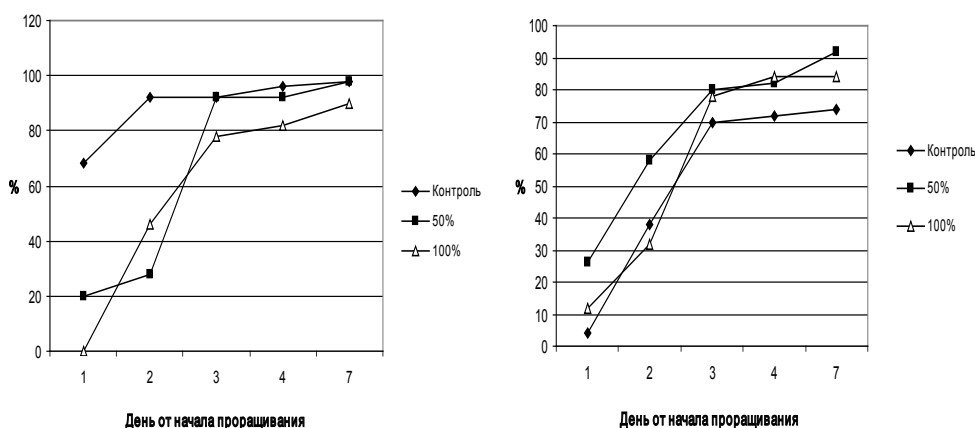


Рис. 3. Всхожесть семян чечевицы зеленой (слева) и льна (справа), %

проросли. Семена, намоченные в воде со 100%-й концентрацией, проросли лишь на 12 %. Во всех вариантах опыта семена пшеницы были в разной степени повреждены грибка.

Самую низкую всхожесть во всех вариантах опыта наблюдали у семян канона. В контрольном варианте проросли 3 % семян, в варианте со 100%-й концентрацией – 4 % семян, а при 50%-й концентрации – 14 %.

Заключение. Исследования показали, что вода, обработанная плазмой, повышает всхожесть семян на 10–20 % в зависимости от культуры. Вариант с использованием обработанной воды 100%-й концентрации дает в целом наилучший эффект.

Во всех случаях культуры с мелкими семенами имели самую низкую всхожесть, не более 14 %. Тем не менее, использование воды, активированной плазмой, повышает всхожесть и таких семян.

Семена других культур во всех случаях отзывались на смачивание водой, обработанной плазмой. Продолжительность обработки, как и концентрация воды, обработанной плазмой, имеет существенное значение.

Использование воды 100%-й концентрации эффективнее, чем 50%-й. Вода, обработанная плазмой в течение 4 мин, имеет более выраженный фунгицидный эффект по сравнению с водой, активированной плазмой в течение 2 мин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России в рамках реализации проекта «Исследование и разработка сквозной технологии производства функциональных





пищевых продуктов для обеспечения пищевой безопасности северных территорий РФ»; проект выполнен ПетрГУ совместно с Торговым домом «Ярмарка» (идентификатор проекта – RFMEFI57717X0264, соглашение № 14.577.21.0264 от 26.09.2017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольцова П. А., Чудинова Ю. В., Викторова И. А., Соснин Э. А. Предпосевная обработка семян низкотемпературной плазмой: состояние вопроса и перспективы исследований // Научная жизнь. 2017. № 3. С. 21–31.
2. Импульсный генератор переохлажденной плазмы: Пат. 131931 РФ / Гостев К. В., Тихомиров А. А., Тихонов Е. А.; № 2013110894/07; заявл. 13.03.2013; опубл. 27.08.2013. Бюл. № 24. 10 с.
3. Касьянов Г. И. Перспективы стерилизации сырья холодной аргонной плазмой // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2017. № 1. С. 185–194.
4. Колпаков В. А., Колпаков А. И., Кричевский С. В., Лихачев П. П. Применение генератора широко-температурного потока газоразрядной плазмы // Приборы и техника эксперимента. 2014. № 2. С. 60–67.
5. Микроэлементы в сельском хозяйстве / С. Ю. Булыгин [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. Днепропетровск, 2007. 100 с.
6. Тришкин Д. С. Справочник агронома по вопросам протравливания семян зерновых культур. Рекомендации для качественного протравливания (адаптированы для России). М., 2006. 43 с.
7. Фунгицидная активность продуктов распада плазмы импульсно-периодического разряда в воздухе, проявляющаяся в отношении грибов, контаминирующих семена зерновых культур / О. С. Жданова [и др.] // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 11. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/11/74282>.
8. Lilja Arja, Himanen Katri Other seed and cone diseases // The American Phytopathology Society, 2018.
9. Gavrilova O. I., Shegelman I. R., Shchukin P. O., Vasilev A. S. Analysis of territories – sources of food raw materials for the implementation of cross-cutting technologies for the production of functional foods in Russia // Eur. Asian Journal of BioSciences. Eurasia J Biosci. 2019. No. 13. P. 1–83.
10. Influence of cold plasma spray on germinating ability of seeds and growth of sowtwood seedlings / O. I. Gavrilova et al. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Bulgaria. 2016. T. 2. No. 3. С. 547–554.
11. High current low-pressure plasma cathode electron gun / Goebel DLaiho R. et al. // Plant and Soil. 2014. Vol. 385. P. 311–327.

REFERENCE

1. Goltsova P. A., Chudinova Yu. V., Viktorova I. A., Sosnin E. A. Pre-sowing seed treatment with low-temperature plasma: the state of the issue and prospects for research. *Scientific life*. 2017;(3):21–31. (In Russ.).
2. Pulse generator of supercooled plasma: US Pat. 131931 Ros. Federation / Gostev K. V., Tikhomirov A. A., Tikhonov E. A.; No. 2013110894/07; declared 03/13/2013; publ. 27.08. 2013. Bul. No. 24. 10 p. (In Russ.).
3. Kasyanov G. I. Prospects of sterilization of raw materials with cold argon plasma. *Nauka. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin)*. 2017;(1):185–194. (In Russ.).
4. Kolpakov V. A., Kolpakov A. I., Krichevsky S. V., Likhachev P. P. Application of a generator of a wide-temperature flow of gas-discharge plasma. *Instruments and experimental techniques*. 2014;(2):60–67. (In Russ.).
5. Trace elements in agriculture. Third edition, revised and enlarged / S.Yu. Bulygin et al. Dnepropetrovsk; 2007. 100 p. (In Russ.).
6. Trishkin D. S. An agronomist's guide to seed treatment of grain crops. Recommendations for high-quality etching (adapted for Russia). Moscow; 2006. 43 p. (In Russ.).
7. Fungicidal activity of plasma decay products of pulse-periodic discharge in the air, manifested in relation to fungi contaminating seeds of grain crops / O. S. Zhdanova et al. *Modern scientific research and innovation*. 2016;(11). URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/11/74282>. (In Russ.).
8. Lilja Arja, Himanen Katri Other seed and cone diseases. *The American Phytopathology Society*, 2018.
9. Gavrilova O. I., Shegelman I. R., Shchukin P. O., Vasilev A. S. Analysis of territories – sources of food raw materials for the implementation of cross-cutting technologies for the production of functional foods in Russia *EurAsian. Journal of BioSciences. Eurasia J Biosci*. 2019;(13):1–83.
10. Influence of cold plasma spray on germinating ability of seeds and growth of sowtwood seedlings / O. I. Gavrilova et al. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Bulgaria. 2016;2(3):547–554.
11. High current low-pressure plasma cathode electron gun / R. Goebel DLaiho et al. *Plant and Soil*. 2014;3:311–327.

Статья поступила в редакцию 08.02.2023; одобрена после рецензирования 02.03.2022; принята к публикации 14.03.2023.

The article was 08.02.2023; approved after reviewing 02.03.2022; accepted for publication 14.03.2023.