

УДК 52.77

EDN: WHYMXH

PACS: j, 52.80.Hc.



Влияние воздействия коронных разрядов на общую зараженность семян озимого ячменя и озимой пшеницы

В. Л. Бычков, П. А. Горячкин, Д. Н. Ваулин, А. П. Шваров, А. М. Изотов,
Б. А. Тарасенко, Д. П. Дударев

Проведены исследования воздействия положительного и отрицательного коронного разряда на зараженность семян озимой пшеницы и озимого ячменя болезнетворными грибами. Обработка семян этих культур холодной плазмой коронного разряда способствует снижению их обсемененности спорами грибов, вызывающих заболевания растений. По мере увеличения продолжительности воздействия эффективность применения холодной плазмы повышается. При экспозиции 60 минут отрицательная корона снизила количество спор грибов на одно зерно ячменя на 45 %. Положительная корона не оказала значимого влияния на зараженность семян озимого ячменя. На обсемененность семян озимой пшеницы спорами болезнетворных грибов отрицательная и положительная короны оказали практически одинаковое воздействие.

Ключевые слова: коронный разряд, семена, зараженность, всхожесть, обеззараживание, грибные болезни, озимый ячмень, озимая пшеница.

DOI: 10.51368/1996-0948-2024-1-13-18

Введение

Для борьбы с грибными болезнями ячменя и пшеницы (такими как твердой головней, альтернариозом, гельминоспориозом) обычно применяется протравливание семян химическими препаратами. Как известно [1], широкое применение пестицидов в сельском хозяйстве привело к экологическим проблемам – загрязнению окружающей среды и ухудшению здоровья людей. Растёт тенденция перехода к производству органической продукции, безопасной для здоровья. Это требует

экологизации и биологизации агротехнологий. В [2, 3] показано, что плазма оказывает воздействие на грибы, бактерии, вирусы. Ее применение не наносит вреда природной среде, человеку и животным, экономически выгоднее использования химических или натуральных фунгицидов и является перспективным направлением экологизации и биологизации сельскохозяйственного производства.

Обработка холодной плазмой была оценена в различных исследованиях как успешная технология для поверхностной контаминации

Бычков Владимир Львович¹, в.н.с., д.ф.-м.н.
E-mail: bychvl@gmail.com

Горячкин Павел Алексеевич¹, аспирант.
E-mail: mystereo@mail.ru

Ваулин Дмитрий Николаевич¹, н.с., к.ф.-м.н.

Шваров Александр Петрович¹, к.б.н., доцент.

Изотов Анатолий Михайлович², и.о. зав. кафедрой,
д.б.н.

E-mail: a.m.izotov@mail.ru

Тарасенко Борис Алексеевич², с.н.с.

Дударев Дмитрий Петрович², с.н.с.

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет.

Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 2.

²Институт «Агротехнологическая академия»
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
им. В. И. Вернадского».

Республика Крым, 295492, г. Симферополь, 119991,
пгт. Аграрное.

Статья поступила в редакцию 7.11.2023

После доработки 30.11.2023

Принята к публикации 7.12.2023

Шифр научной специальности: 1.3.9.

© Бычков В. Л., Горячкин П. А., Ваулин Д. Н.,
Шваров А. П., Изотов А. М., Тарасенко Б. А.,
Дударев Д. П., 2024

нации и стимуляции прорастания семян [3, 4]. Нашими предварительными исследованиями было установлено, что низкотемпературная плазма обладает деконтаминирующей способностью, вследствие чего необходимо более глубоко исследовать это ее свойство с целью установления оптимальных параметров применения для экологизации подготовки семян полевых культур к посеву [5–8]. Вопросы воздействия коронных разрядов на поверхность семян озимой пшеницы и ячменя рассматривались нами в работах [6–8]. Было показано в ряде случаев при воздействии положительной и отрицательной корон происходит снижение зараженности болезнетворными грибами, что указывало на перспективность использования коронных разрядов для обеззараживания зерна. В работах [7, 8] зараженность семян была показана в процентах с указанием видов грибов. Цель настоящей работы – анализ исследований воздействия положительного и отрицательного коронного разряда на общую зараженность семян озимой пшеницы и озимого ячменя болезнетворными грибами (для одного семени), данные для определения зараженности семян получены методом обмывки семян (суспензии спор) и центрифугирования.

Обработка семян

В данной работе использовалась та же установка, что и в работах [7, 8]. Напряжение в эксперименте изменялось в пределах $U = 5–25$ кВ, ток изменялся в пределах $I = 20–200$ мкА, обрабатываемая площадь составляла 50 см². Данные по зараженности семян получены методом обмывки семян (суспензии спор) и центрифугирования. Каждую рабочую пробу помещали в пробирку, заливали 10 см³ воды и взбалтывали. Семена с гладкой поверхностью (пшеница) взбалтывали в течение 5 мин, семена с шероховатой поверхностью (ячмень) – 10 мин. Полученные суспензии использовались для выделения споры путем центрифугирования. Промывную воду от каждой пробы семян сливали в отдельные пробирки центрифуги и центрифугировали в течение $10–15$ мин при скорости $2000–2500$ об/мин. По окончании центрифугирова-

ния из пробирок отбирали 9 см³ надосадочной жидкости. Оставшийся осадок взмучивали пипеткой и из каждой пробирки готовили по пять препаратов. Для установления вида гриба препараты просматривали под микроскопом. Количественный учет спор проводили в камере Горяева. Зараженность спорами одного семени (X) в штуках вычисляли по формуле: $X = Nc/100$, где Nc – количество спор в 1 см³ суспензии, шт.; 100 – количество семян, взятых для анализа, шт. За результат анализа принимали среднеарифметическое результатов двух проб.

Результаты наших исследований (рисунки 1 и 2; таблицы 1 и 2) свидетельствуют о силе и характере влияния полярности и экспозиции коронного разряда на суммарную зараженность семян озимой пшеницы и озимого ячменя спорами болезнетворных для этих растений грибов. Фактор А (полярность разряда) оказал очень незначительное ($0,1\%$) влияние на зараженность семян озимой пшеницы фитопатогенными грибами (рис. 1) воздействия на семена коронным разрядом). Доля взаимодействия факторов (АВ) – полярности разряда и экспозиции воздействия на зерно коронного разряда во влиянии на зараженность зерна пшеницы составила $18,3\%$. Влияние неучтенных факторов (Z – ошибка) не выявлено.

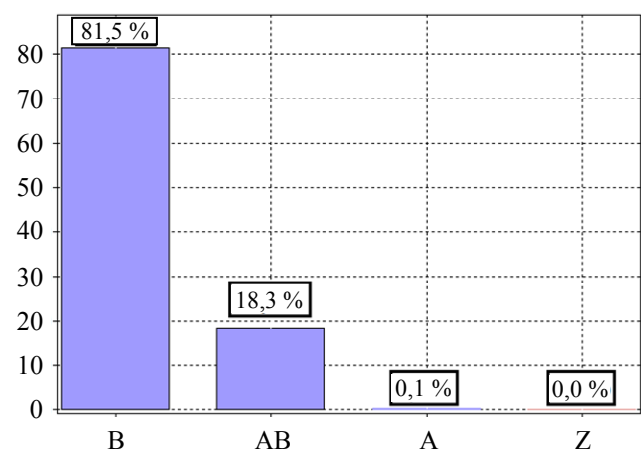


Рис. 1. Доля действия факторов на зараженность семян озимой пшеницы спорами грибов

Результаты исследований показали, что различия в воздействии как полярности разряда, так и его экспозиции, а также их взаимодействия на количество спор фитопатогенных грибов на одно зерно существенны (табл. 1).

Таблица 1

Общая зараженность семян озимой пшеницы спорами фитопатогенных грибов на одно зерно (шт.) в зависимости от полярности коронного разряда и продолжительности их обработки

Полярность разряда. (Фактор А)	Экспозиция, мин. (Фактор В)					Средние по А НСР ₀₅ = 16,88
	0	20	30	40	60	
Отрицательная корона	2387	1076	865	1553	839	1344
Положительная корона	2387	2098	898	860	709	1390
Средние по В НСР ₀₅ = 26,68	2387	1587	882	1207	774	1367

НСР₀₅ АВ = 37,73

На общую зараженность семян озимого ячменя наибольшее влияние (59,1 %) оказала полярность разряда (фактор А). Доля влияния экспозиции (фактор В) была почти в три раза меньше – 20,0 %. Взаимное влияние факторов было на уровне 17,6 %. Доля ошибки (Z) – неучтенных факторов – низкая (рис. 2).

В проведенном эксперименте доказано существенное различие в количестве спор фитопатогенных грибов на зерно озимого ячменя между вариантами с отрицательной и положительной короной, между вариантами с различной экспозицией их воздействия. Выявлены также существенные различия в зараженности семян культуры при взаимодействии градаций изучаемых факторов (табл. 2). Проведенная после обработки плазмой семян озимой пшеницы и озимого ячменя фитоэкспертиза методом центрифугирования позволила установить

степень и характер воздействия положительной и отрицательной короны на их общую зараженность грибными болезнями.

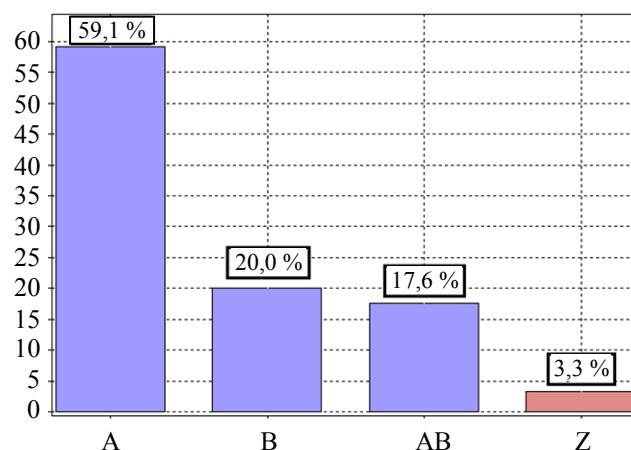


Рис. 2. Доля действия факторов на зараженность семян озимого ячменя спорами грибов

Таблица 2

Общая зараженность семян озимого ячменя спорами фитопатогенных грибов на одно зерно (шт.) в зависимости от полярности разряда и продолжительности их обработки

Полярность разряда. (Фактор А)	Экспозиция, мин (Фактор В)					Средние по А НСР ₀₅ = 17,13
	0	20	30	40	60	
Отрицательная корона	332	221	188	232	183	231
Положительная корона	332	324	324	324	332	327
Средние по В НСР ₀₅ = 27,08	332	273	256	278	258	279

НСР₀₅ АВ=38,30

Регрессионный анализ полученных данных показал, что эффекты обработки семян озимого ячменя положительной и отрицательной короной значительно различаются. Выявленная нами зависимость характера общей зараженности семян озимого ячменя на 1 зерно при различной экспозиции обработки их холодной плазмой описывается с вероятностью

не менее 95 % следующим уравнением регрессии:

$$H = 325,382738 - 66,76196 \cdot V^{0,5} + 47,343385 \cdot (t \cdot K_1)^{0,5} \tag{1}$$

где H – количество спор на 1 зерно озимого ячменя, шт.; t – экспозиция, мин; K₁ – поляр-

ность разряда. Приведенное уравнение детерминирует порядка 92 % вариабельности общего количества спор грибов на одно зерно озимого ячменя при различной продолжительности обработки отрицательной и положительной короной.

Обработка семян озимого ячменя отрицательной короной способствует снижению их общей зараженности спорами грибов по мере увеличения продолжительности экспозиции (рис. 3).

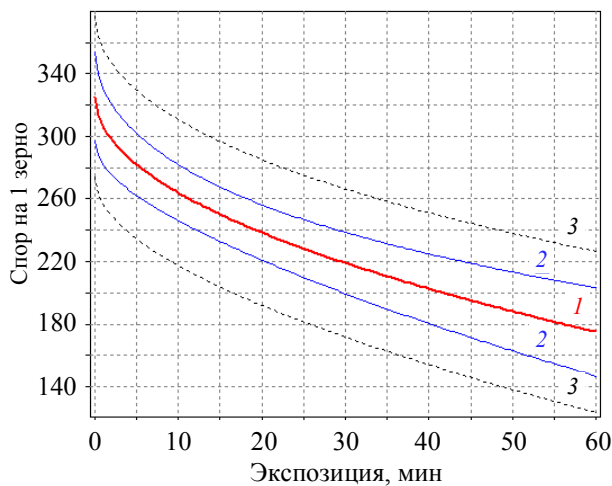


Рис. 3. Зараженность семян озимого ячменя при обработке отрицательной короной. Отклики с 95%-ми доверительными пределами прогнозов. 1 (красная линия) — регрессия H ; 2 (синие линии) — 95 % пределы для средних; 3 (пунктирные линии) — 95 % пределы для наблюдений

В целом, при экспозиции 60 минут применение отрицательной короны снизило количество спор на одно зерно ячменя на 45 %. Наиболее интенсивным было снижение зараженности зерна озимого ячменя при воздействии в течение первых 20 минут и составило 25,7 %. В последующий период интенсивность воздействия отрицательной короны сглаживалась. Количество спор грибов на одно зерно снижалось уже в значительно меньшей степени — за последующие 20 минут удлинения экспозиции (40 минутная экспозиция) на 16,7 %. Наименьшим эффект от воздействия отрицательной короной был за период экспозиции от 40 до 60 минут. За 20 минут этого периода количество спор грибов на одно зерно уменьшилось на 11 %.

Обработка семян озимого ячменя положительной короной различной продолжительности не оказала существенного влияния на их общую зараженность (рис. 4) до экспози-

ции 60 минут. Возможно, отсутствие эффекта от воздействия положительной короной связано с тем, что семена озимого ячменя покрыты цветковой пленкой, сросшейся с семенем.

Результаты наших исследований показали, что отрицательная и положительная корона оказали практически одинаковое воздействие на зараженность семян озимой пшеницы грибными болезнями. Существенных различий в характере влияния их экспозиции на зараженность семян озимой пшеницы не выявлено. Регрессионный анализ полученных данных показал, что характер общей зараженности семян пшеницы при различной экспозиции обработки их холодной плазмой описывается с вероятностью 95 % следующим уравнением регрессии:

$$T = 2378,9054 - 210,597482 \cdot t^{0,5} \quad (2)$$

где T — количество спор на 1 зерно озимой пшеницы, шт.; t — экспозиция, мин. Данное уравнение детерминирует порядка 70 % вариабельности общего количества спор грибов на одно зерно озимой пшеницы при различной продолжительности обработки как отрицательной, так и положительной короной. Обработка семян озимой пшеницы плазмой независимо от полярности разряда снижает их общую зараженность спорами грибов по мере увеличения продолжительности экспозиции (рис. 5).

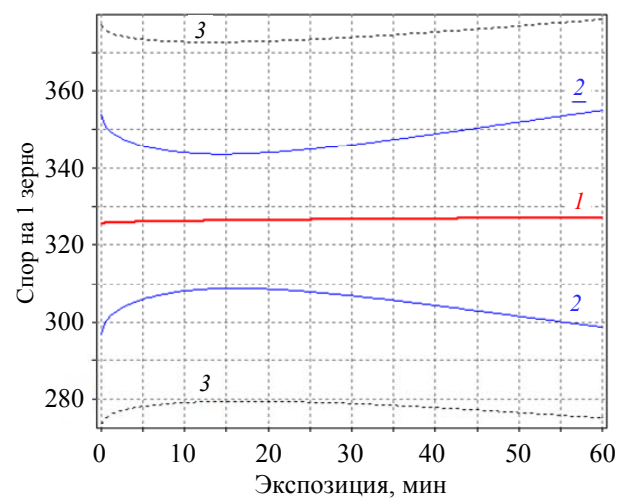


Рис. 4. Зараженность семян озимого ячменя при обработке положительной короной. Отклики с 95%-ми доверительными пределами прогнозов. 1 (красная линия) — регрессия H ; 2 (синие линии) — 95 % пределы для средних; 3 (пунктирные линии) — 95 % пределы для наблюдений

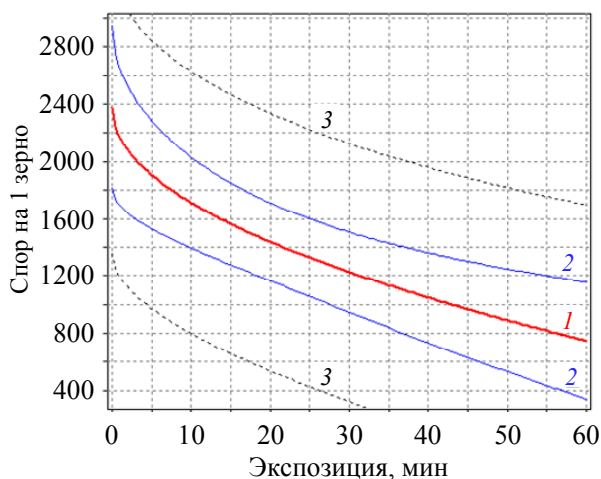


Рис. 5. Зараженность семян озимой пшеницы при обработке холодной плазмой (обобщено по двум коронам). Отклики с 95%-ми доверительными пределами прогнозов. 1 (красная линия) – регрессия T; 2 (синие линии) – 95 % пределы для средних; 3 (пунктирные линии) – 95 % пределы для наблюдений

Итак, за 60 минут воздействия плазма снижала общую зараженность зерна озимой пшеницы на 69 %. Больше, чем на озимом ячмене на 24 %. При экспозиции 20 минут количество спор на одно зерно уменьшалось интенсивнее (на 40,6 %) в сравнении с последующим более продолжительным ее периодом. Дальнейшее увеличение экспозиции до 40 и 60 минут, снижало в сравнении с предыдущей количество спор грибов на одно зерно пшеницы соответственно на 26 и 28,6 %. В последнем интервале интенсивность воздействия холодной плазмы на зараженность зерна пшеницы несколько повышалась, на 2,6 %.

Выводы

Обработка семян озимой пшеницы и озимого ячменя холодной плазмой коронного разряда способствует снижению на них коли-

чества спор фитопатогенных грибов, вызывающих заболевания растений. По мере увеличения продолжительности воздействия эффективность применения холодной плазмы повышается. При экспозиции 60 минут отрицательная корона снизила количество спор грибов на одно зерно ячменя на 45 %. Положительная корона не оказала значимого влияния на зараженность семян озимого ячменя. На количество спор фитопатогенных на семенах озимой пшеницы отрицательная и положительная корона оказали практически одинаковое воздействие. При экспозиции 60 минут общая зараженность семян озимой пшеницы при обработке холодной плазмой снижалась на 69 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балаян В. М. Аптека для растений. – М.: Просвещение, 1985.
2. 1st International Workshop on Plasma Agriculture [Электронный ресурс]: www.iwopa.org
3. 2nd International Workshop on Plasma Agriculture [Электронный ресурс]: www.iwopa2.org
4. Los A., Ziuzina D., Bourke P. / J. Food Sci. 2018. Vol. 83. P. 1–10. doi:10.1111/1750-3841.14181
5. Гордеев Ю. А. Стимулирование биологических процессов в семенах растений излучениями низкотемпературной плазмы. – Смоленск: Смоленская ГСХА, 2008.
6. Bychkov V. L., Chernikov V. A., Deshko K. I., Izotov A. M., Tarasenko B. A., Dudarev D. P. / IEEE Trans. Plasma Sci. 2021. Vol. 49. № 3. P.1034–1040.
7. Bychkov V. L., Goriachkin P. A., Chernikov V. A. et al. / Impact of corona discharge on germination and infestation of winter wheat seeds. Atmosphere, Ionosphere, Safety. Proc. Intern Conf. Kaliningrad. 2023. Eds. Borchevkina O. P., Golubkov M. G., Karpov I. V. – Kaliningrad, 2023. P. 307–310.
8. Бычков В. Л., Горячкин П. А., Черников В. А., Шваров А. П., Изотов А. М., Тарасенко Б. А., Дударев Д. П. / Прикладная физика. 2023. № 2. С. 15–21.

The influencing of corona discharges on the overall contamination of winter barley and wheat seeds

V. L. Bychkov¹, P. A. Goryachkin¹, D. N. Vaulin¹, A. P. Shvarov¹, A. M. Izotov²,
B. A. Tarasenko² and D. P. Dudarev²

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Department of Physical Electronics
Bd. 2, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russia
E-mail: bychvl@gmail.com

² Institute "Agrotechnological Academy" of the Crimean Federal University
named after V. I. Vernadsky
Agrarnoe, Simferopol, 295492, Republic of Crimea

Received 7.11.2023; revised 30.11.2023; accepted 7.12.2023

Studies have been conducted on effects of positive and negative corona discharge on the infection of winter wheat and winter barley seeds with fungal diseases. Treatment of seeds of these crops with cold plasma of the corona discharge helps to reduce their contamination with fungal spores that cause plant diseases. As the duration of exposure increases, the effectiveness of the use of cold plasma increases. With an exposure of 60 minutes, the negative corona reduced the number of fungal spores per barley grain by 45 %. The positive crown did not have a significant effect on the contamination of winter barley seeds. The negative and positive corona had almost the same effect on the contamination of winter wheat seeds with spores of pathogenic fungi. During an exposure of 60 minutes, the total contamination of winter wheat seeds during cold plasma treatment decreased by 69 %.

Keywords: corona discharge, seeds, infestation, germination, disinfection, fungal diseases, winter wheat and winter barley.

REFERENCES

1. Balayan V. M., Pharmacy for plants, Moscow, Prosveshenie, 1985 [in Russian].
2. 1st International Workshop on Plasma Agriculture [Electronic resource]: www.iwopa.org
3. 2nd International Workshop on Plasma Agriculture [Electronic resource]: www.iwopa2.org
4. Los A., Ziuzina D. and Bourke P., J. Food Sci. **83**, 1–10 (2018). doi: 10.1111/1750-3841.14181
5. Gordeev Yu. A., Stimulation of biological processes in plant seeds by low-temperature plasma radiation, Smolensk, Smolensk State Agricultural Academy Publ., 2008 [in Russian].
6. Bychkov V. L., Chernikov V. A., Doshko K. I., Izotov A. M., Tarasenko B. A. and Dudarev D. P., IEEE Trans. Plasma Sci. **49** (3), 1034–1040 (2021).
7. Bychkov V. L., Goriachkin P. A., Chernikov V. A. et al. Impact of corona discharge on germination and infestation of winter wheat seeds. Atmosphere, Ionosphere, Safety. Proc. Intern Conf. Kaliningrad, 2023. Eds. Borchevkin O. P., Golubkov M. G., Karpov I. V. Kaliningrad, 2023, pp. 307–310.
8. Bychkov V. L., Goriachkin P. A., Chernikov V. A., Shvarov A. P., Vaulin D. N., Sorokovykh D. E., Izotov A. M. et al., Applied Physics, № 2, 5–21 (2023) [in Russian].