

УДК 632.08
EDN: WPBFVQ

PACS: 52.77.-j, 52.80.Hc



Воздействие коронных разрядов на всхожесть и зараженность семян озимой пшеницы

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

Проведены исследования воздействия положительного и отрицательного коронного разряда на семена мягкой озимой пшеницы, зараженные твердой головней, альтернариозом и гельминтоспориозом, при времени воздействия разрядом от 20 до 120 минут. Было показано, что обработка семян озимой пшеницы положительной короной оказывала более сильное обеззараживающее воздействие в сравнении с отрицательной короной. При выявленном подавлении альтернариоза и гельминтоспориоза плазмой отсутствует необходимость в применении химических протравителей семян. При увеличении времени обработки зерна коронным разрядом зараженность зерен уменьшается.

Ключевые слова: коронный разряд, семена, зараженность, всхожесть, обеззараживание, грибные болезни.

DOI: 10.51368/1996-0948-2023-2-15-21

Введение

Для борьбы с грибными болезнями пшеницы обычно применяется протравливание семян химическими препаратами. Широкое применение их и других пестицидов в сельском хозяйстве привело к экологическим проблемам – загрязнению окружающей среды и ухудшению здоровья людей. Растущая тенденция перехода к производству органической продукции, безопасной для здоровья продукции, требует экологизации и биологизации

агротехнологий. Холодная плазма оказывает воздействие на грибы, бактерии, вирусы. Ее применение в растениеводстве для контроля возбудителей микофитозов (фитопатогенных грибов), деконтаминации и детоксикации семян, продовольственного и фуражного зерна, обработки растений отличается экологической чистотой т. к. не наносит вреда природной среде, человеку, животным, насекомым и экономически выгоднее использования химических или натуральных фунгицидов. Поэтому оно считается одним из самых пер-

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

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

Черников Владимир Антонович¹, доцент, к.ф.-м.н.

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

Изотов Анатолий Михайлович², и.о. заведующего кафедрой.

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,
пгт. Аграрное.

Статья поступила в редакцию 19.12.2022

После доработки 9.01.2023

Принята к публикации 18.01.2023

© Бычков В. Л., Горячкин П. А., Черников В. А.,
Шваров А. П., Изотов А. М., Тарасенко Б. А.,
Дударев Д. П., 2023

спективных направлений экологизации и биологизации сельскохозяйственного производства. В последние годы во многих странах активно расширяется изучение эффективности и характера воздействия холодной плазмы на вредные биологические объекты в сельском хозяйстве. На этой основе разрабатываются методы, приемы и способы её применения в растениеводстве для повышения урожайности, качества и безопасности продукции зерновых и других культур, устойчивости растений к неблагоприятным факторам.

В настоящее время интенсивно развиваются новые технологии, связанные с применением низкотемпературной плазмы атмосферного давления, в которой температура ионов не превышает нескольких десятков градусов Цельсия. Это создает возможность использования такой «холодной» плазмы для обработки термочувствительных материалов, включая биологические ткани, семена растений и сами растения. В области сельского хозяйства исследования с плазмой начали проводиться недавно (в последние десять, пятнадцать лет) по следующим основным направлениям: безопасность пищевых продуктов прорастание, всхожесть, устойчивость к патогенам и урожайность растений, хранение и транспортировка продуктов питания, обеззараживание семян при хранении; фиксация атмосферного азота в воде для использования в качестве удобрения; уменьшение инвазии патогенов в почвах и в жидкостях [1, 2]. Применение химических инсектицидов и фунгицидов при выращивании и хранении семян зерновых культур может привести к накоплению остатков распада химических веществ в обработанном зерне, а также к развитию резистентности к используемым агрохимикатам. Растет интерес к разработке новых технологий обеззараживания зерна злаков для выращивания и консервации, приемлемых с экологической и социальной точек зрения. Обработка холодной плазмой была оценена в различных исследованиях как успешная технология для поверхностной контаминации и стимуляции прорастания семян [3, 4].

Плазменные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности базируются на использовании низкотемпературной плазмы атмосферного давления, для которой характерна низкая степень ионизации

(до 1 %). Осуществляют ионизацию посредством воздействия электронов, которые в свою очередь ионизируют атомы и молекулы в электрических полях типичных источников плазмы, таких как коронный барьерный, тлеющий, диэлектрический барьерный разряд и нетепловая плазменная струя [5]. Низкотемпературная плазма содержит наряду с электронами, ионами, нейтральными атомами и молекулами, активные продукты плазмохимических реакций, и при этом создает ультрафиолетовое и рентгеновское излучение [6]. В результате такого комбинированного воздействия поражаются микроорганизмы, разрушаются оболочки бактерий и ДНК, в том числе и вирусные. Поэтому низкотемпературную плазму представляется возможным использовать для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур [7]. Положительные результаты применения «холодной» плазмы в сельском хозяйстве получены при обработке ею воды [8], которую затем используют в рыбоводстве для снижения активности сапролегниоза (грибкового заболевания икры). Известны исследования по применению низкотемпературной плазмы против организмов, паразитирующих на различных поверхностях органического происхождения [9]. Нашими предварительными исследованиями было установлено, что низкотемпературная плазма обладает деконтаминирующей способностью, вследствие чего необходимо более глубоко исследовать это ее свойство и другие с целью установления оптимальных параметров применения для экологизации подготовки семян полевых культур к посеву [10–13]. В последнее время в мире низкотемпературная неравновесная плазма находит все более широкое и эффективное применение в сельском хозяйстве как альтернатива традиционной предпосевной обработке семян, включающей термо- и химическую обработку. Использование плазменных технологий обладает целым рядом преимуществ перед традиционными технологиями: однородность обработки, сохранение целостности семян, отсутствие химических реагентов и, как следствие, применение плазменных технологий в сельском хозяйстве представляют собой экологически чистые и безопасные технологии [14–16].

Вопросы воздействия коронных разрядов на поверхность семян озимой пшеницы и ячменя рассматривались в работах [10–13].

Было показано в ряде случаев при воздействии положительной и отрицательной короны происходит снижение зараженности грибковыми заболеваниями, что указывало на перспективность использования коронных разрядов для применения при обеззараживании зерна. Данная работа является продолжением этих работ [10–13]. В ней исследуется воздействие коронных разрядов на зараженность семян мягкой озимой пшеницы сорта «Шеф» грибными болезнями. Особое внимание уделено состоянию всхожести семян после воздействия разряда.

Экспериментальная установка

На рис. 1 представлена принципиальная схема и фотографии экспериментальной установки, используемой для исследования воздействия коронного разряда на грибные заболевания зерен пшеницы. Она состоит из

кюветы, заполненной изучаемым веществом, и электрической цепи. Верхний набор электродов из 19 игл (с радиусом кончика 0,4 мм) располагался на высоте 8 мм над поверхностью зерна. Расстояние между электродами в многоэлектродной композиции (4) составляло 11 мм. Электроды находились под положительным или отрицательным напряжением. Кювета (3) была диэлектрической с металлическим электродом на её дне, цилиндрической, диаметром 90 мм, высотой 18 мм. Для более равномерной обработки вещества в кювете (3) использовался электрический двигатель (2).

Использовался источник постоянного тока (6), напряжение в эксперименте изменялось в пределах $U = 5–25$ кВ, ток изменялся в пределах $I = 20–200$ мкА. Ток в цепи измерялся с помощью миллиамперметра А, напряжение измерялось с помощью внутреннего вольтметра источника В.

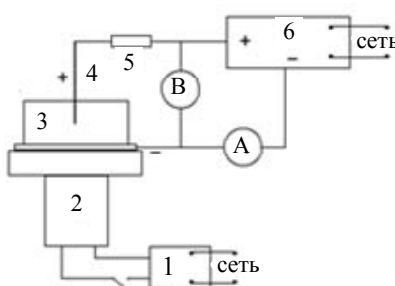
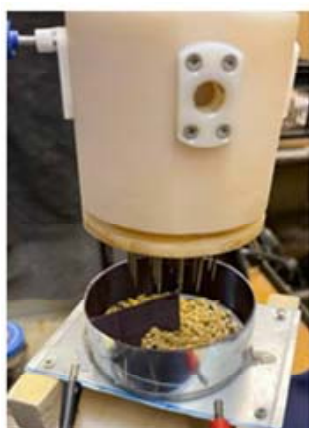


Рис. 1. Фотографии и схема установки, для обработки зерна. Обозначения схемы: 1 – источник питания; 2 – электрический моторчик, создающий вибрации; 3 – кювета; 4 – многоэлектродная композиция; 5 – балластное сопротивление; 6 – источник высоковольтного напряжения

Обработка семян озимой пшеницы при помощи коронного разряда. Результаты и обсуждение

Эффект применения положительной короны более выражен в сравнении с отрицательной короной (табл. 1, 2).

Данные фитоанализа свидетельствуют, что обработка семян озимой пшеницы положительной короной приводит к некоторому снижению их всхожести.

В связи с тем, что уровень всхожести оригинальных, элитных и репродукционных семян пшеницы по требованиям стандарта должен составлять не менее 92 %, обработанные положительной короной семена на всех вариантах опыта перестали соответствовать нормативным требованиям.

Из грибных болезней, обнаруженных на семенах пшеницы, наиболее чувствительным к воздействию положительной короной оказался гельминтоспориоз. Обработка семян в

течение 20 минут привела к полному их обеззараживанию от возбудителей этого заболевания. На вариантах с более продолжительным воздействием положительной короной гельминтоспориоз не обнаруживался.

Зараженность семян пшеницы альтернариозом после их обработки положительной короной значительно снизилась. По мере увеличения продолжительности обработки зараженность альтернариозом снижалась – на 76,9 % при 20 минутах, на 84,6 % при 40 минутах, на 88,5; 92,5 и 96,2 % соответственно при 60, 90 и 120 минутах.

Слабое воздействие положительная корона оказала на зараженность семян озимой

пшеницы твердой головней. Минимальная продолжительность обработки, равная 20 минутам, не снизила зараженность твердой головней. При воздействии в 40; 60; 90 и 120 минут зараженность зерна твердой головней снизилась всего на 3,4; 9,1; 13,6 и 17,0 %.

Общая зараженность семян озимой пшеницы закономерно снижалась с увеличением продолжительности воздействия (рис. 2).

Общая зараженность семян озимой пшеницы при 20-минутной обработке положительной короной закономерно снижалась на 32,4 %, при 40-минутной – на 36,0 %, при 60-минутной – на 40,3 %, при 90- и 120-минутной – на 43,9 и 46,8 % соответственно.

Таблица 1

Всхожесть и зараженность семян озимой пшеницы в зависимости от продолжительности их обработки холодной плазмой (положительная корона), %

Показатели фитоанализа	Продолжительность обработки, мин					
	0	20	40	60	90	120
Всхожесть	92,2	90,0	86,5	84,8	86,8	90,8
Твердая головня	8,8	8,8	8,5	8,0	7,6	7,3
Альтернариоз	2,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
Гельминтоспориоз	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Общая зараженность	13,9	9,4	8,9	8,3	7,8	7,4

Таблица 2

Всхожесть и зараженность семян озимой пшеницы в зависимости от продолжительности их обработки плазмой (отрицательная корона), %

Показатели фитоанализа	Продолжительность обработки, мин					
	0	20	40	60	90	120
Всхожесть	92,2	90,5	89,2	92,0	90,5	90,0
Твердая головня	8,8	8,7	8,5	8,3	8,0	7,7
Альтернариоз	2,6	2,0	1,6	1,3	1,1	0,9
Гельминтоспориоз	2,5	1,9	1,7	1,4	1,2	1,0
Общая зараженность	13,9	12,6	11,8	11,0	10,3	9,6

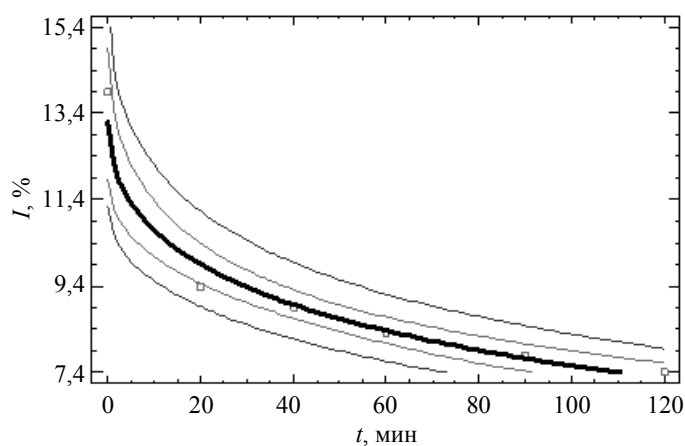


Рис. 2. Зависимость общей зараженности семян озимой пшеницы от продолжительности их обработки положительной короной. I – общая зараженность семян (%); t – продолжительность обработки семян озимой пшеницы положительной короной

При использовании для обработки семян озимой пшеницы отрицательной короны их всхожесть снижалась в значительно меньшей степени (см. табл. 2). Величина потери всхожести семенами практически не зависела от времени воздействия на них.

В большей степени отрицательная корона снизила зараженность семян альтернариозом и гельминтоспориозом. С увеличением продолжительности экспозиции зараженность семян закономерно снижалась на 24,0–23,1 % при 20 минутах. Снижение зараженности происходило на 65,4–60,0 % при 120 минутах. В наименьшей степени отрицательная корона снизила зараженность семян твердой головней. Наиболее заметно воздействие проявилось, начиная с 60-минутной до 120-минутной экспозиции.

Общая зараженность семян озимой пшеницы указанными болезнями закономерно снижалась с увеличением продолжительности воздействия отрицательной короной (рис. 3).

После обработки семян озимой пшеницы отрицательной короной их общая зараженность при 20-минутной экспозиции снижалась на 9,4 %, при 40-минутной – на 15,1 %, при 60-минутной – на 20,9 %, при 90-минутной – на 25,9 % и при 120 минутах воздействия – на 30,9 %. В большей степени снижало всхожесть семян воздействие положительной короны, которое уже при 20-минутной экспози-

ции вело к тому, что этот показатель качества семян опускался ниже требований стандарта.

В таблице 3 представлены параметры разрядов: ток, напряжение, мощность, энергия воздействия за время обработки и удельная энергия на один грамм зерна. Масса зерна во всех случаях 50 г.

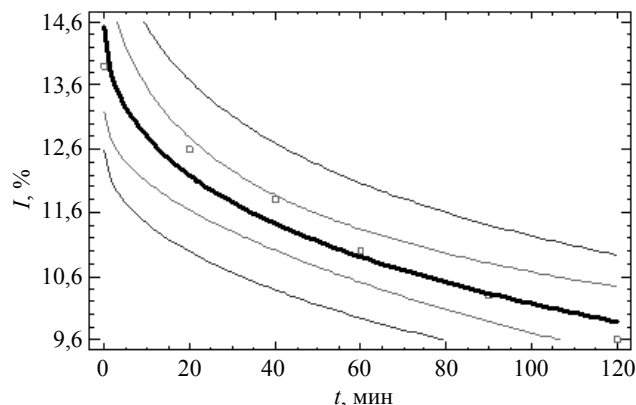


Рис. 3. Зависимость общей зараженности семян озимой пшеницы от продолжительности их обработки отрицательной короной. *I* – общая зараженность семян (%); *t* – продолжительность обработки семян озимой пшеницы отрицательной короной

Следует отметить что выбор устройства для перемешивания зерна носит инженерный характер и его мощность должна рассматриваться отдельно от мощности вложенной в обработку зерна разрядом.

Таблица 3

Параметры воздействия коронного разряда

Знак короны	Время обработки, мин	$\langle U \rangle$, кВ	$\langle I \rangle$, мкА	$\langle UI \rangle$, Вт	E , Дж	W , Дж/г
+	20	19,2	40	0,77	920	18,4
+	60	19,2	40	0,77	2760	55
+	90	18,9	35	0,66	3570	71
+	120	18	50	0,9	6480	130
–	20	22	40	0,88	1060	21,2
–	60	22	40	0,88	3170	63,4
–	90	21,7	40	0,87	4690	93,8
–	120	21,5	45	0,86	6190	124

Выводы

Проведены исследования воздействия положительного и отрицательного коронного разряда на семена пшеницы мягкой озимой, зараженные твердой головней, альтернариозом и гельминтоспориозом.

Результаты показали, что обработка семян озимой пшеницы положительной короной оказывала более сильное обеззараживающее воздействие в сравнении с отрицательной короной. При этом оптимальным временем воздействия (по всхожести) для отрицательной короны являлся диапазон 60–90 минут. Поло-

жительная корона привела к депрессии всхожести семян пшеницы до 5–7 %, снизив её уровень ниже требований стандарта. При выявленном подавлении альтернариоза и гельминтоспориоза плазмой отсутствует необходимость в применении химических протравителей семян. В наименьшей степени воздействие коронных разрядов оказывало на зараженность семян твердой головней.

Полученные в исследовании данные свидетельствуют, что существует необходимость в продолжении исследований в этом направлении с целью определения оптимальной продолжительности воздействия на зараженное зерно и соответствующих мощностей разряда.

ЛИТЕРАТУРА

- 1st International Workshop on Plasma Agriculture [Электронный ресурс]: www.iwopa.org
- 2nd International Workshop on Plasma Agriculture [Электронный ресурс]: www.iwopa2.org
- Los A., Ziuzina D., Bourke P. Current and future Technologies for Microbiological Decontamination of cereal grains / *J. Food Sci.* 2018. Vol. 83. P. 1484–1493. DOI: 10.1111/1750-3841.14181
- Scholtz V., Šerá B., Khun J., Šerý M., Julák J. Effects of Nonthermal Plasma on Wheat Grains and Products / *Journal of Food Quality.* 2019. Vol. 2019. Article ID 7917825. 1–10 p. 2019. DOI: 10.1155/2019/7917825
- Misra N. N., Schlüter O., Cullen P. J. Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications. – London, United Kingdom: Academic Press, 2016.
- Князев Б. А. Низкотемпературная плазма и газовый разряд. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2003.
- Гордеев Ю. А. Стимулирование биологических процессов в семенах растений излучениями низкотемпературной плазмы. – Смоленск: Смоленская ГСХА, 2008.
- 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.
- Pervin Basaran, Nese Basaran-Akgul, Lutfi Oksuz / *Food Microbiology.* 2008. Vol. 25. Is. 4. P. 626–632.
- Bychkov V. L., Chernikov V. A., Deshko K. I., Izotov A. M., Tarasenko B. A., Dudarev D. P. / *IEEE Transactions on Plasma Science.* 2021. Vol. 49. Is. 3. P. 1034–1040.
- Bychkov V. L., Chernikov V. A., Deshko K. I., Zaitsev F. S., Esakov I. I., Vysikaylo P. I. / *IEEE Transactions on Plasma Science.* 2021. Vol. 49. Is. 3. P. 1028–1033. DOI: 10.1109/TPS.2021.3049303
- Bychkov V. L., Bikmukhametova A. R., Chernikov V. A., Deshko K. I., Mikhailovskaya T. O., Shvarov A. P. / *IEEE Transactions on Plasma Science.* 2020. Vol. 48. Is. 2. P. 350–354. DOI: 10.1109/TPS.2019.2960230
- Горячкин П. А., Сороковых Д. Е. / Ученые записки физического факультета московского университета. 2022. № 4. С. 2241205.
- Dhayal M., Lee S. Y., Park S. U. / *Vacuum.* 2006. Vol. 80. P. 499.
- Selcuk M., Oksuz L., Basaran P. / *Bioresource Technology.* 2008. Vol. 99. P. 5104.
- Volin J. C., Denes F. D., Young R. A., Park S. M. T. / *Crop Science.* 2000. Vol. 40. P. 1706.

PACS: 52.77.–j, 52.80.Hc.

Impact of corona discharges on germination and infection of winter wheat seeds

V. L. Bychkov¹, P. A. Goriachkin¹, V. A. Chernikov¹, A. P. Shvarov¹, A. M. Izotov²,
B. A. Tarasenko² and D. P. Dudarev²

¹ Lomonosov Moscow State University
Bd. 2, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russia
E-mail: bychvl@gmail.com

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

Received 19.12.2022; revised 9.01.2023; accepted 18.01.2023

The effects of positive and negative corona discharge on seeds of soft winter wheat infected with common smut, Alternariosis and Helminthosporiasis were studied, with a discharge expo-

sure time of 20 minutes to 120 minutes. It was shown that the treatment of winter wheat seeds with a positive crown had a stronger disinfecting effect compared to a negative crown. With the identified suppression of alternariosis and helminthosporiasis by plasma, there is no need to use chemical seed disinfectants. At the same time, when treated with a positive corona discharge, the germination of seeds after treatment deteriorated by 5–7 %. It was also found that with an increase in the time of processing the grain with a corona discharge, the contamination of the grains decreases.

Keywords: corona discharge, seeds, infestation, germination, disinfection, fungal diseases.

DOI: 10.51368/1996-0948-2023-2-15-21

REFERENCES

1. 1st International Workshop on Plasma Agriculture [Electronic resource]: www.iwopa.org
2. 2nd International Workshop on Plasma Agriculture [Electronic resource]: www.iwopa2.org
3. Los A., D. Ziuzina and Bourke P., *J. Food Sci.* **83**, 1484–1493 (2018). DOI: 10.1111/1750-3841.14181
4. Scholtz V., Šerá B., Khun J., Šerý M. and Julák J., *Journal of Food Quality* **2019**, Article ID 7917825, 1–10 p. (2019). DOI: 10.1155/2019/7917825
5. Misra N. N., Schlüter O. and Cullen P. J., *Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications*, London, United Kingdom, Academic Press, 2016.
6. Knyazev B. A., *Low-temperature plasma and gas discharge*, Novosibirsk, Novosibirsk State University, 2003.
7. Gordeev Yu. A., *Stimulation of biological processes in plant seeds by low-temperature plasma radiation*, Smolensk, Smolensk State Agricultural Academy, 2008.
8. Gostev V., Ignakhin V., Popova E. and Ostashkov O. “Cold Plasma In Biological Investigations”, NATO: advanced study institute. *Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents*. 16–26 September 2007, Çesme, Turkey, p. 54–56.
9. Pervin Basaran, Nese Basaran-Akgul and Lutfi Oksuz, *Food Microbiology* **25** (4), 626–632 (2008).
10. Bychkov V. L., Chernikov V. A., Deshko K. I., Izotov A. M., Tarasenko B. A. and Dudarev D. P., *IEEE Transactions on Plasma Science* **49** (3), 1034–1040 (2021).
11. Bychkov V. L., Chernikov V. A., Deshko K. I., Zaitsev F. S., Esakov I. I. and Vysikaylo P. I., *IEEE Transactions on Plasma Science* **49** (3), 1028–1033 (2021). DOI: 10.1109/TPS.2021.3049303
12. Bychkov V. L., Bikmukhametova A. R., Chernikov V. A., Deshko K. I., Mikhailovskaya T. O. and Shvarov A. P., *IEEE Transactions on Plasma Science* **48** (2), 350–354 (2020). DOI: 10.1109/TPS.2019.2960230
13. Goriachkin P. A. and Sorokovykh D. E., *Scientific notes of the Physics Department of Moscow University*, № 4, 2241205 (2022).
14. Dhayal M., Lee S. Y. and Park S. U., *Vacuum* **80**, 499 (2006).
15. Selcuk M., Oksuz L. and Basaran P., *Bioresource Technology* **99**, 5104 (2008).
16. Volin J. C., Denes F. D., Young R. A. and Park S. M. T., *Crop Science* **40**, 1706 (2000).