

Влияние плазменной модификации поверхности семян зерновых культур на их посевные свойства

Б. Б. Балданов, Ц. В. Ранжуров, М. Н. Сордонова, Л. В. Будажапов

Изучено изменение поверхностных свойств семян пшеницы под воздействием нетермической плазмы, иницируемой тлеющим разрядом атмосферного давления в аргоне. Воздействие на оболочку семени неравновесной плазмы тлеющего разряда атмосферного давления приводит к модификации поверхности семени, заключающаяся в проявлении на поверхности семени мелкоячеистой сетчатой структуры. При увеличении длительности воздействия или мощности разряда эффекты травления на поверхности семени усиливаются, но при этом скорость прорастания семян не увеличивается с интенсификацией параметров обработки.

Ключевые слова: плазменная модификация, тлеющий разряд атмосферного давления, семена, пшеница, всхожесть.

Ссылка: Балданов Б. Б., Ранжуров Ц. В., Сордонова М. Н., Будажапов Л. В. // Прикладная физика. 2019. № 1. С. 41.

Reference: B. B. Baldanov, Ts. V. Ranzhurov, M. N. Sordonova, and L. V. Budazhapov, Prikl. Fiz., No. 1, 41 (2019).

Введение

В последнее время низкотемпературная (холодная) неравновесная плазма находит эффективное применение в сельском хозяйстве как альтернатива традиционной предпосевной обработке семян, включающей термо- и химическую обработку [1]. 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 [1–3].

Для стимуляции прорастания семян и роста растений применяются различные источники низкотемпературной неравновесной плазмы, создаваемые на основе коронного разряда [4–6], ВЧ-разряда низкого давления [1], СВЧ-разряда [7] и других типов источников плазмы [8–10].

В работах [1, 7, 8, 11, 12] продемонстрировано влияние предпосевной плазменной обработки на скорость прорастания семян, а также на дальнейший рост и развитие растений. При этом особо выделяется значительное увеличение скорости прорастания семян, обработанных в плазме, по сравнению с контрольной группой (необработанные семена) [1, 7, 9, 11]. Например, при воздействии аргонной ВЧ-плазмы в течение 130 минут наблюдается 50%-ное увеличение прорастания семян *Carthamus tinctorium* [1]. В [7] в результате обработки микроволновым разрядом семян *Chenopodium album* (в течение 48 минут) наблюдается трехкратное увеличение скорости прорастания семян.

Одним из возможных объяснений механизма улучшения прорастания и роста семян растений при воздействии плазмы является то, что плазменная обработка индуцирует структурные изменения на поверхности семян [1, 3]. В работе [3] отмечено, что на прорастание семян сильное влияние также оказывают химические реакции на поверхности семян, иницируемые при плазменном воздействии. В [13, 14] показано, что при плазменной обработке семян улучшается смачива-

Балданов Баир Батоевич¹, с.н.с., д.т.н.

Ранжуров Цыремпил Валерьевич¹, м.н.с.

Сордонова Маргарита Николаевна², зам. директора, к.с.-х.н.

Будажапов Лубсан-Зонды Владимирович², директор, д.б.н., профессор.

¹ Институт физического материаловедения СО РАН.

Россия, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6.

Тел. (3012)43-32-24. E-mail: baibat@mail.ru

² Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства.

Россия, 670045, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Третьякова, 25 З, поселок Зеленхоз.

Тел. (3012)33-14-46. E-mail: sordonova@yahoo.com; burnish@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2018 г.

© Балданов Б. Б., Ранжуров Ц. В., Сордонова М. Н., Будажапов Л. В., 2019

емость поверхности семян, что, в свою очередь, и приводит к повышению всхожести семян.

Основной целью данной работы является изучение влияния модификации поверхности семян в неравновесной низкотемпературной плазме тлеющего разряда атмосферного давления на посевные качества семян зерновых культур.

Экспериментальная техника и методика

Для плазменной обработки семян использовался источник объемной холодной аргоновой плазмы на основе тлеющего разряда атмосферного давления (ТРАД) [15, 16]. Схематическое изображение экспериментальной установки и системы электродов ТРАД показано на рис. 1.

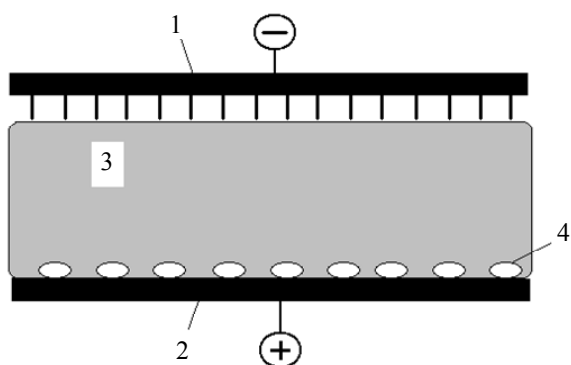


Рис. 1. Источник объемной холодной аргоновой плазмы на основе тлеющего разряда атмосферного давления: 1 – многоострый катод; 2 – металлический плоский анод; 3 – плазма; 4 – семена пшеницы.

Разряд создавался в специальной электродной конструкции с многоострым секционированным катодом и плоским металлическим анодом. Для ввода и вывода аргона разрядная камера снабжена двумя штуцерами с внутренним диаметром $d = 4$ мм, ориентированными перпендикулярно направлению тока разряда. Расход аргона G измеряется с помощью ротаметра РМ-А-0,16 ГУЗ до значений 5×10^{-5} кг/с.

Радиус закругления острия иголок составлял 50 мкм, плотность острий в катодной секции – 1 острие на площадь $0,6 \times 0,6$ см². Для стабилизации разряда использовалась методика, предложенная в работах [17,18], согласно которой каждое острие нагружалось регулируемым большим сопротивлением $R (> 1$ МОм). Анод представляет собой металлическую сетку площадью $S = 144$ см² с размером ячеек 1×1 мм. Разряд зажигался с применением регулируемого высоковольтного источника ВС-20-10 ($U = 20$ кВ). Устойчивость разряда относительно перехода отрицательной короны в искровой пробой разрядного промежутка достига-

ется также слабой прокачкой газа через разрядный промежуток. Газ продувался перпендикулярно направлению электрического тока. Скорость прокачки газа v на входе в разрядную камеру варьировалась в пределах от 0,45 до 2,24 м/с. Величина скорости v рассчитывалась по величине массового расхода аргона G через поперечное сечение штуцера S , используя формулу $v = G/(\rho \times S)$, где S – площадь поперечного сечения штуцера, ρ – плотность газа.

Обработке подвергались семена яровой пшеницы сорта «Бурятская остистая» (селекции Бурятского НИИСХ). Были подготовлены две партии семян, причем каждая партия содержала 100 семян. Семена из одной партии были подвергнуты воздействию плазмы, в то время как семена из другой партии использовались как контрольные. Обработываемые семена равномерно распределялись по поверхности плоского анода, при этом они не касались друг друга. Семена подвергались воздействию плазмы с различной экспозицией. Затем семена после плазменной обработки и семена контроля высаживались в чашки.

Изменение свойств поверхности характеризовали значениями краевых углов смачивания θ , которые определяли по методу лежащей капли (точность $\pm 1^\circ$) с помощью микроскопа по воде (бидистилляту). Величины углов смачивания определялись с помощью программного пакета DropSnake – LB-ADSA. Топография поверхности семян исследовалась с использованием электронного микроскопа SEM TM-1000 с системой микроанализа Hitachi TM-1000.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Влияние плазменной обработки и её интенсивности на скорость прорастания семян пшеницы проиллюстрировано на рис. 2.

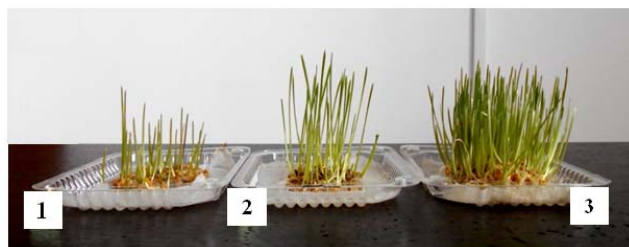


Рис. 2. Всхожесть семян пшеницы: 1 – контроль; 2 – $I = 200$ мкА; 3 – $I = 500$ мкА. Время экспозиции $t = 30$ с.

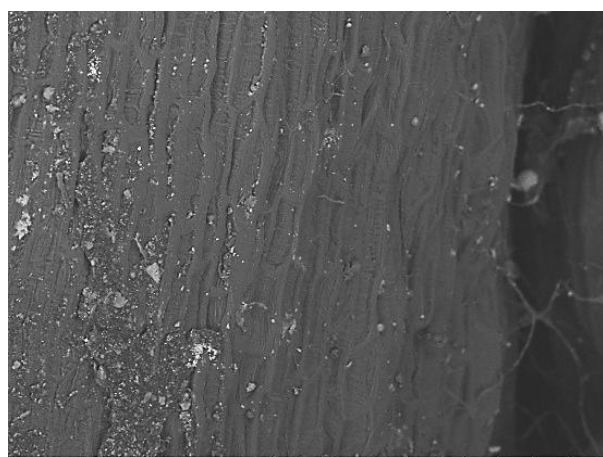
Как видно, обработка семян в низкотемпературной неравновесной плазме на установке ТРАД позволяет значительно увеличить всхожесть и стимулирует рост растений в начальной стадии

онтогенеза. Наибольший эффект проявляется при длительности воздействия $t \approx 30$ с при вкладываемой мощности $W \approx 5$ Вт. Под воздействием аргоновой плазмы, генерируемой тлеющим разрядом атмосферного давления, стимулируется не только скорость прорастания семян, но и достигается значительное увеличение биомассы по сравнению с контрольными проростками.

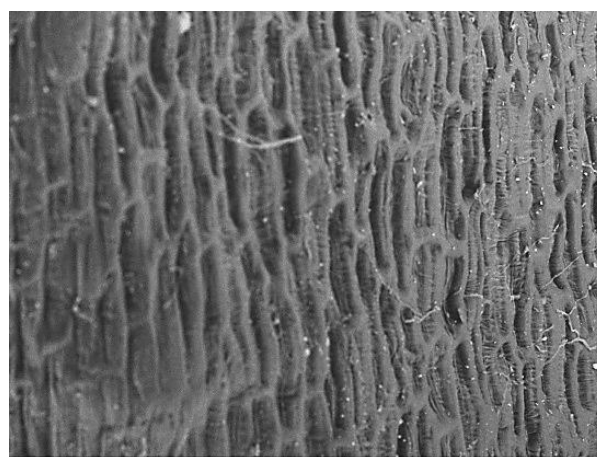
Для характеристики свойств обработанной поверхности семян пшеницы в плазме ТРАД использовали величины краевых углов смачивания θ , определенные по воде. Исходная поверхность

семена пшеницы характеризуется сравнительно высокими значениями угла смачивания $\theta = 107^\circ$ (по воде) и низкой поверхностной энергией γ . В результате воздействия неравновесной плазмы ТРАД на поверхность семян, поверхность становится гидрофильной, и она характеризуется низкими значениями углов смачивания $\theta = 57^\circ$, причем существенно возрастает и поверхностная энергия γ .

Топография поверхности семян до и после плазменной обработки в ТРАД представлена на рис. 3.



a



б

Рис. 3. Микрофотография поверхности семени пшеницы при увеличении ($\times 300$): *a* – контроль (необработанная поверхность); *б* – после плазменной обработки в ТРАД. Ток разряда $I = 300$ мкА; время экспозиции $t = 30$ с.

Оболочка семени пшеницы в контрольной группе (рис. 3, *a*) представляет собой достаточно ровную и гладкую поверхность. В результате воздействия холодной аргоновой плазмы ТРАД на оболочку семени (рис. 3, *б*) наблюдаются структурные изменения на поверхности семян, заключающиеся в проявлении на поверхности семени мелкоячеистой сетчатой структуры, с резко очерченными границами ячеек. При дальнейшем увеличении длительности воздействия или мощности разряда эффекты травления на поверхности семени усиливаются, но при этом скорость прорастания семян уже не увеличивается с интенсификацией параметров обработки. Другими словами, умеренное кратковременное воздействие плазмы на семена резко стимулирует прорастание семян, тогда как воздействие плазмы с высокой интенсивностью приводит к негативному воздействию на прорастание семян [19, 20].

Заключение

В работе изучено изменение поверхностных свойств семян пшеницы под воздействием нетер-

мической плазмы, инициируемой тлеющим разрядом атмосферного давления в аргоне. Воздействие на оболочку семени холодной аргоновой плазмы тлеющего разряда атмосферного давления приводит к модификации поверхности семени, заключающейся в проявлении на поверхности семени мелкоячеистой сетчатой структуры. При возрастании длительности воздействия или мощности разряда эффекты травления на поверхности семени усиливаются, но при этом скорость прорастания семян уже не увеличивается с интенсификацией параметров обработки.

Результаты, полученные в проведенном исследовании, показывают, что обработка нетермической плазмой в целом положительно влияет на ранний рост семян пшеницы. Благодаря своим преимуществам (однородная обработка, отсутствие разрушения семян, отсутствие требований к химическим веществам), холодная аргоновая плазма тлеющего разряда атмосферного давления может стать эффективной альтернативой традиционной предварительной посевной обработке семян, используемой в современном сельском хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dhayal M., Lee S. Y., Park S. U. // Vacuum. 2006. Vol. 80. P. 499.
2. Selcuk M., Oksuz L., Basaran P. // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. P. 5104.
3. Volin J. C., Denes F. D., Young R. A., Park S. M. T. // Crop Science. 2000. Vol. 40. P. 1706.
4. Lynikiene S., Pozeliene G. R. // Int. Agrophys. 2006. Vol. 20. P. 195.
5. Borodin I. F., Shcherbakov K. N. // Mach. Agric. 1998. Vol. 5. P. 35.
6. Palov I. // Mach. Agric. 2003. Vol. 15. P. 10.
7. Sera B., Stranak V., Sery M., Tichy M., Spatenka P. // Plasma Science and Technology. 2008. Vol. 10. P. 506.
8. Sera B., Spatenka P., Sery M., Vrchatova N., Hruskova I. // IEEE Transactions on Plasma Science. 2010. Vol. 38. P. 2963.
9. Zivkovic S., Puac N., Giba Z., Grubisic D., Petrovic Z. Lj. // Seed Science and Technology. 2004. Vol. 32. P. 693.
10. Dobrin D., Magureanu M., Mandache N.B., Ionita M.-D. // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2015. Vol. 29. P. 255.
11. Lynikiene S., Pozeliene A., Rutkauskas G. // International Agrophysics. 2006. Vol. 20. P. 195.
12. Sera B., Sery M., Stranak V., Spatenka P., Tichy M. // Plasma Science and Technology. 2009. Vol. 11. P. 750.
13. Mitra A., Li Y. F., Klämpfl T. G., Shimizu T., Jeon J., Morfill G. E., Zimmermann J. L. // Food Bioprocess Technol. 2014. Vol. 7. P. 645.
14. Jiang J., He X., Li L., Li J., Shao H., Xu Q., Ye R., Dong Y. // Plasma Sci. Technol. 2014. Vol. 16. P. 54.
15. Балданов Б. Б., Норбоев Ч. Н. // Прикладная физика. 2009. № 3. С. 93.
16. Балданов Б. Б., Ранжуров Ц. В. // ЖТФ. 2014. Т. 84. Вып. 4. С. 152.
17. Акишев Ю. С., Дерюгин А. А., Каральник В. Б., Кочетов И. В., Напартович А. П., Трушкин Н. И. // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 6. С. 571.
18. Акишев Ю. С., Грушин М. Е., Кочетов И. В., Напартович А. П., Панькин М. В., Трушкин Н. И. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. С. 172.
19. Randeniya L. K., de Groot G. J. J. B. // Plasma Processes and Polymers. 2015. Vol. 12. P. 608.
20. Bormashenko E., Grynyov R., Bormashenko Y., Drori E. // Sci. Rep. 2012. Vol. 2. P. 741.

PACS: 52.80.Hc; 81.65.Cf

Effect of plasma surface modification of seeds on the sowing properties of agricultural crops

B. B. Baldanov¹, Ts. V. Ranzhurov¹, M. N. Sordonova², and L. V. Budazhapov²

¹Institute of Physical Materials Science, SB RAS
6 Sakh'yanova str., Ulan-Ude, 670047, Russia
E-mail: baibat@mail.ru

²Buryat Research Institute of Agriculture,
25z Tretiakova str., Ulan-Ude, 670045, Russia
E-mail: sordonova@yahoo.com; burnish@inbox.ru

Received November 1, 2018

The change in the surface properties of wheat seeds under the influence of the non-thermal plasma initiated by the glow discharge at atmospheric pressure in argon was studied. Influence on the seed coat of the cold argon plasma of the glow discharge at the atmospheric pressure leads to a surface seed modification, which consists in manifesting a fine-meshed network structure on the surface of the seed, effects of etching on the seed surface intensify at increase of exposure time or power of the discharge, but germination rate of seeds does not increase with the increase of processing parameters.

Keywords: plasma modification, glow discharge at atmospheric pressure, seeds, wheat, germination.

REFERENCES

1. M. Dhayal, S. Y. Lee, and S. U. Park, Vacuum **80**, 499 (2006).
2. M. Selcuk, L. Oksuz, and P. Basaran, Bioresource Technology **99**, 5104 (2008).
3. J. C. Volin, F. D. Denes, R. A. Young, and S. M. T. Park, Crop Science **40**, 1706 (2000).
4. S. Lynikiene and G. R. Pozeliene, Int. Agrophys. **20**, 195 (2006).
5. I. F. Borodin and K. N. Shcherbakov, Mach. Agric. **5**, 35 (1998).

6. I. Palov, *Mach. Agric.* **15**, 10 (2003).
7. B. Sera, V. Stranak, M. Sery, M. Tichy, and P. Spatenka, *Plasma Science and Technology* **10**, 506 (2008).
8. B. Sera, P. Spatenka, M. Sery, N. Vrchotova, and I. Hruskova, *IEEE Transactions on Plasma Science* **38**, 2963 (2010).
9. S. Zivkovic, N. Puac, Z. Giba, D. Grubisic, and Z. Lj. Petrovic, *Seed Science and Technology* **32**, 693 (2004).
10. D. Dobrin, M. Magureanu, N. B. Mandache, and M.-D. Ionita, *Innov Food Sci Emerg Technol.* **29**, 255 (2015).
11. S. Lynikiene, A. Pozeliene, and G. Rutkauskas, *International Agrophysics* **20**, 195 (2006).
12. B. Sera, M. Sery, V. Stranak, P. Spatenka, and M. Tichy, *Plasma Science and Technology* **11**, 750 (2009).
13. A. Mitra, Y. F. Li, T. G. Klämpfl, T. Shimizu, J. Jeon, G. E. Morfill, and J. L. Zimmermann, *Food Bioprocess Technol.* **7**, 645 (2014).
14. J. Jiang, X. He, L. Li, J. Li, H. Shao, Q. Xu, R. Ye, and Y. Dong, *Plasma Sci Technol.* **16**, 54 (2014).
15. B. B. Baldanov and Ch. N. Norboev, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 93 (2009).
16. B. B. Baldanov and Ts. V. Ranzhurov, *Technical Physics* **59** (4), 621 (2014).
17. Yu. S. Akishev, A. A. Deryugin, V. B. Karal'nik, I. V. Kochetov, A. P. Napartovich, and N. I. Trushkin, *Plasma Physics Reports* **20**, 511 (1994).
18. Yu. S. Akishev, M. E. Grushin, I. V. Kochetov, A. P. Napartovich, M. V. Pan'kin, and N. I. Trushkin, *Plasma Physics Reports* **26**, 157 (2000).
19. L. K. Randeniya and G. J. J. B. de Groot, *Plasma Processes and Polymers* **12**, 608 (2015).
20. E. Bormashenko, R. Grynyov, Y. Bormashenko, and E. Drori, *Sci. Rep.* **2**, 741 (2012).