

Крохмаль И.И.¹, Юрина Т.А.², Богословская О.А.¹, Ольховская И.П.¹, Глущенко Н.Н.¹

¹Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л.Тальрозе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н.Семенова РАН, Москва, Россия;

²Новокубанский филиал Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение науки Росинформагротех, Новокубанск, Россия;
dies_irae78@mail.ru.

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *TRITICUM VULGARE*

В работе были изучены морфометрические характеристики озимой пшеницы на разных стадиях роста после предпосевной обработки семян наночастицами (НЧ) железа и показатели качества зерна после уборки урожая. Установлено, что предпосевная обработка семян НЧ влияет на высоту всходов, формирование корневой системы и густоту посевов. Предуборочный мониторинг выявил увеличение урожайности растительной массы пшеницы при обработке НЧ железа и возрастание ее устойчивости к воздействию патогенов по сравнению с контролем.

The morphometric characteristics of winter wheat at different stages of growth after pre-sowing treatment of seeds with iron nanoparticles (NPs) and grain quality indicators after harvest were studied. It was found that the pre-sowing treatment of seeds with NPs affects the height of seedlings, the formation of roots and the density of crops. Pre-harvest control demonstrated the increase in the yield of wheat plant mass and enhancement in resistance to pathogens after the treatment with iron NPs in comparison with control.

Ключевые слова: наночастицы; железо; показатели качества зерна.

Keywords: nanoparticles; iron; grain quality indicators.

Введение

Для увеличения производства пшеницы, помимо современных методов агротехники, широко используются достижения генетики и селекции, а также современные нанотехнологии и наноматериалы [1-3]. Интерес к использованию НЧ в растениеводстве и практике сельского хозяйства связан с уникальными свойствами наночастиц. Наночастицы металлов имеют низкую токсичность, в 7-50 раз меньшую токсичности металлов в ионной форме; обладают пролонгированным и полифункциональным действием; стимулируют обменные процессы; легко проникают во все органы и ткани; их биологическая активность связана с особенностями строения частиц и их физико-химическими характеристиками [4-7]. Благодаря своим размерам, наночастицы способны активно проникать и распределяться по всем тканям, эффективно воздействуя на мишени биологического действия и тем самым, способствуя более активному протеканию физиологических, биохимических, молекулярных процессов прорастания, роста и развития растений. Такие особенности биологического действия наночастиц металлов позволяют применять их в практике растениеводства. Особое место занимают исследования, связанные с предпосевной обработкой семян наночастицами, что позволяет повысить урожайность вплоть до 30-40 % [8].

Целью наших исследований является изучение влияния предпосевной обработки семян наночастицами железа на показатели роста озимой пшеницы на всех стадиях ее развития, и на качество зерна после уборки урожая.

Методы исследования

Наночастицы (НЧ) железа были получены методом высокотемпературной конденсации [9] на установке Миген-3 [10]. Определение формы и размера НЧ проводили методом электронной

микроскопии. Рентгенофазный анализ (РФА) НЧ осуществляли на рентгеновском анализаторе АДП-1 (РФ).

Объектом исследования явилась озимая пшеница (*Triticum vulgare*), сорта «Стан» (Краснодарский НИИСХ). Постановка и проведение полевого опыта в хозяйственных условиях была проведена на базе валидационного полигона КубНИИТиМ в зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края. Производственный посев озимой пшеницы районированного сорта «Стан» (РС-1) провели в оптимальный для Центральной агроклиматической зоны срок 4 октября 2016 года с установочной нормой высева семян 240 кг/га.

Определение степени поражения зерна фузариозом проводили согласно ГОСТ 31646-2012 [11].

Для проведения фенологических и биометрических наблюдений были взяты растения с трех площадей размером 1 м² для каждого участка опытных и контрольных образцов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с применением программ Excel 2010 и Statistica 20 («StatSoft, Inc.» США).

Результаты и их обсуждение

Для проведения исследований нами проведен синтез НЧ с заданными физико-химическими параметрами, что позволяет, учитывая дозно-зависимый эффект [12], проводить направленное воздействие на показатели роста и развитие растений. ПЭМ – изображения свидетельствуют, что НЧ железа представляют собой монокристаллические структуры круглой правильной формы, покрытые полупрозрачной оксидной пленкой, имеют размер от 5 до 80 нм, со средним диаметром частиц $27,0 \pm 0,51$ нм ($p \leq 0,05$). Результаты рентгенофазового анализа свидетельствуют, что в НЧ железа кристаллическая металлическая фаза составляет 53,6%, фаза железа оксида Fe₃O₄ – 46,4 %, толщина оксидной пленки 3,5 нм.

Результаты исследований показывают, что на первоначальном этапе роста и развития растений при предпосевной обработке семян НЧ железа увеличивается их полевая всхожесть по сравнению с контролем. Густота растений составила 320 ± 11 шт/м² ($p \leq 0,05$), что на 10 % больше общего количества растений в метровой рамке контрольного варианта. Растения отличались высотой, в среднем на $2,0 \pm 0,5$ см ($p \leq 0,05$) превышающей растения контрольного варианта, и более мощной и развитой корневой системой с длиной корней на 4,5 % превышающей значения в контроле. Глубина залегания узла кущения в осенний период у растений при предпосевной обработке НЧ железа составила $4,3 \pm 0,7$ см.

Следовательно, перед началом зимнего периода пшеница в опытном варианте представляла собой хорошо укорененные и раскустившиеся растения.

За две недели до уборки были исследованы морфометрические показатели растений. Длина растений в опытном варианте была больше средней длины растений контрольного варианта (87,8 см). Средняя толщина стебля растений у основания в контрольной группе составляла 4,4 мм. У растений с предпосевной обработкой семян НЧ железа этот показатель превышал контрольное значение на 13,6 %. Средняя длина колосьев у растений практически не отличалась от контрольного уровня ($7,9 \pm 0,6$ см). Среднее число зерен в колосе при предпосевной обработке НЧ железа было ниже, чем в контроле на $2,8 \pm 1,3$ шт. Средняя масса 1000 зерен у растений с предпосевной обработкой семян наночастицами железа превышала массу зерен контроля на 1,8 %.

По результатам разбора и подсчета снопового материала (вырезки растений с площади 0,25 м²) определены следующие сравнительные показатели:

1. Число продуктивных стеблей у растений с предпосевной обработкой НЧ железа выше на 1,7 %.
2. Число больных растений в сноповом материале в 3,8 раз меньше по сравнению с контролем.

2017 год был отмечен обильными атмосферными осадками, а высокая влажность благоприятно влияет на развитие различных грибковых заболеваний, в том числе, и фузариоза на пшенице. Учитывая актуальность данной проблемы, немаловажным показателем оценки качества зерна является наличие в нем зараженных зерен. Использование наночастиц железа для обработки посевного материала снижает зараженность фузариозом зерна в 1,24 раза.

В соответствии с техническими требованиями собранное зерно по показателям качества относится к 4-му классу мягкой пшеницы. В таблице 1 представлены основные показатели зерна после предпосевной обработки НЧ железа.

Влияние предпосевной обработки НЧ железа семян озимой пшеницы сорта «Стан»
на показатели качества зерна*

Показатели	контроль	НЧ железа
Массовая доля сырой клейковины, %	19.6±1.2	20.1±1.4
Массовая доля белка, %, на сухое вещество	11.8±0.5	12.0±0.3
Стекловидность, %	45.7±5.4	46.1±4.3
Натура, г/л	767±21	770±30
Массовая доля влаги, %	13.4±2.4	13.5±1.8

*Данные представлены в виде $M \pm SEM$.

Как видно, показатели качества зерна у растений после предпосевной обработки семян НЧ железа имеют более высокие значения по сравнению с контролем.

Выводы

Установлено, что предпосевная обработка семян НЧ Fe оказывает существенное влияние на прорастание семян, рост и развитие растений, показатели качества зерна. Стимуляция молекулярных, биохимических и физиологических механизмов при действии наночастиц приводит к улучшению роста и развития озимой пшеницы.

Библиографические ссылки

1. Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks / M. Tigchelaar [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2018. – Vol. 115, №. 26. – P.6644-6649. doi: 10.1073/pnas.1718031115. Epub 2018 Jun 11.
2. Полищук, С.Д. Изменение лабораторной всхожести семян яровой пшеницы под воздействием обработки их ультрадисперсными материалами / С.Д. Полищук, Н.И. Голубева // Вест. Рязан. Агротехнол. Универ. – 2010. – №. 3. – С.38-39.
3. Голубева, Н.И. Воздействие нанокристаллического порошка меди на полевую всхожесть, рост и развитие пшеницы / Н.И. Голубева // Вест. Рязан. Агротехнол. Универ. – 2012. – №. 1. – С. 8–10.
4. Глушенко, Н.Н. Физико-химические закономерности биологического действия высокодисперсных порошков металлов / Н.Н. Глушенко, О.А. Богословская И.П. Ольховская И.П. // Химическая физика. – 2002. – Т. 21, №. 4. – С. 79–85.
5. Wound-Healing Properties of Copper Nanoparticles as a Function of Physicochemical Parameters / A.A. Rakhmetova [et al.] // Nanotechnologies in Russia. – 2010. – Vol. 5, № 3-4.– P. 271-276.
6. Antibacterial effect of copper nanoparticles with differing dispersion and phase composition / O.A. Bogoslovskaja [et al.] // Nanotechnologies in Russia. – 2014. – Vol. 9, № 1-2. – P. 82–86.
7. Concomitant Action of Organic and Inorganic Nanoparticles in Wound Healing and Antibacterial Resistance: Chitosan and Copper Nanoparticles in an Ointment as an Example / A.A. Rakhmetova [et al.] // Nanotechnologies in Russia. –2015. – Vol. 10, №. 1–2. – P.149–156.
8. Applications of Nanotechnology in Plant Growth and Crop Protection / Yifen Shang [et al.] // A Review. Molecules. – 2019. – V. 24, № 14.– P. 2558. Published online: 2019 Jul 13. – doi: 10.3390/molecules24142558.
9. Способ получения аэрозолей металлов: а. с. 814432 (СССР) ИХФ РАН. № 712949/22-02 / А.В. Миллер, М.Я. Ген. – № 712949 заявл. 19.06.61; опубл. 23.03.1981. – Бюлл. № 11.
10. Synthesis of TiH₂ nanopowder via the Guen-Miller Flow-Levitation method and characterization / I.O. Leipunsky [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Vol. 778. – P. 271-279. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.11.088.
11. Зерновые культуры. Метод определения содержания фузариозных зерен. Межгосударственный стандарт: ГОСТ 31646-2012. – М., 2012.
12. New insights into the cellular responses to iron nanoparticles in *Capsicum annuum* / J. Yuan [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – Vol. 8, №. 1. – P. 3228-3239. doi: 10.1038/s41598-017-18055-w.