

6. Назарюк В.М. Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 364 с.
7. Разложение и минерализация фитомассы в серой лесной почве: кинетический анализ / В.М. Семенов, Л.А. Иванникова, Т.В. Кузнецова [и др.] // Почвоведение. – 2001. – № 5. – С. 569–577.
8. Чупрова В.В. Управление плодородием почв // Инновационные технологии производства продукции растениеводства: рекомендации. – Красноярск, 2011. – С. 42–50.
9. Шарков И.Н. Удобрения и проблема гумуса в почвах // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 70–81.
10. Шарков И.Н. Абсорбционный метод определения эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы // Методы исследований органического вещества почв. – М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2005. – С. 401–407.
11. Шарков И.Н., Шепелев А.Г., Мишина П.В. Влияние растительных остатков и обработки почвы на эмиссию CO<sub>2</sub> из чернозема выщелоченного в условиях лесостепи приобья // Почвы Сибири: особенности функционирования, использования и охраны: мат-лы науч. конф., посвящ. 90-летию д-ра с.-х. наук, проф. П.С. Бугакова. – Красноярск, 2012. – С. 49–54.
12. Шиндорикова О.В., Ульянова О.А. Оценка скорости минерализации органического вещества чернозема выщелоченного при внесении органических удобрений // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 8. – С. 64–68.



УДК 632.952

С.В. Хижняк, Д.И. Шевелёв, В.А. Самойлова

## ВЛИЯНИЕ БИОГЕННЫХ НАНОЧАСТИЦ ФЕРРИГИДРИТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТРАВЛИВАНИЯ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ

В ходе исследования выявлено, что биогенные наночастицы ферригидрита, допированные алюминием и кобальтом, статистически значимо усиливают эффект обработки семян фунгицидом, в то время как наночастицы чистого ферригидрита снижают действие фунгицида.

**Ключевые слова:** биогенные наночастицы, ферригидрит, фунгицид, токсичность.

S.V. Khizhnyak, D.I. Sheveliov, V.A. Samoylova

## INFLUENCE OF BIOGENIC FERRIHYDRITE NANOPARTICLES ON THE EFFICIENCY OF FUNGICIDE TREATMENT OF WHEAT SEEDS

*In the course of research it is established that biogenic ferrihydrite nanoparticles doped with aluminum and cobalt statistically significantly enhance the effect of fungicide seed treatment, whereas nanoparticles of pure ferrihydrite reduce the effect of fungicide.*

**Key words:** biogenic nanoparticles, ferrihydrite, fungicide, toxicity.

**Введение.** Защита растений от болезней является исключительно актуальной проблемой повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Среди методов и средств защиты растений преобладающим остается химический. Несмотря на свою эффективность, химический метод имеет ряд недостатков: нарушение биологического равновесия в природе, накопление остаточных количеств химических средств защиты в сельскохозяйственной продукции и прогрессирующей к ним устойчивости патогенных организмов, высокая стоимость фунгицидов и катастрофическое загрязнение окружающей среды. В предыдущих исследованиях нами было показано, что наночастицы бактериального ферригидрита оказывают модифицирующее действие на токсические свойства

фунгицидов, что открывает возможность снизить токсическую нагрузку на окружающую среду без потери эффективности применяемых препаратов [2, 5].

**Цель исследования.** Проверка влияния наночастиц бактериального ферригидрита на эффективность протравливания семян коммерческими фунгицидами на примере протравителя «Виал-ТТ» (тебуконазол 60 г/л + тиабендазол 80 г/л).

**Объекты и методы.** В экспериментах использовали предоставленные главным научным сотрудником Международного научного центра исследования экстремальных состояний организма СО РАН Ю.Л. Гуревичем наночастицы бактериального ферригидрита ( $5\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ). Данные частицы синтезируются гетеротрофными бактериями при выращивании на питательной среде, содержащей органические соли железа, размер частиц составляет преимущественно 2–5 нанометра [1, 4]. Наночастицы применяли в виде устойчивого водного золя, полученного по технологии, описанной в [3], содержание ферригидрита в золях составляло 0,3 г/л в пересчёте на железо. Использовали три типа частиц: чистый ферригидрит, ферригидрит, допированный кобальтом, и ферригидрит, допированный алюминием, в дальнейшем обозначенные соответственно как Fe, FeCo и FeAl.

Для более четкого выявления эффекта наночастиц при приготовлении рабочего раствора протравителя использовали концентрацию препарата 2/3 от рекомендованной фирмой-производителем. В вариантах без наночастиц рабочий раствор готовили на дистиллированной воде, в вариантах с наночастицами – на смеси дистиллированной воды и золей частиц из расчёта 80 мл воды + 20 мл золя. Рабочие растворы готовили непосредственно перед протравливанием семян.

В качестве тест-объекта использовали семена пшеницы сорта Новосибирская-15 с высокой степенью зараженности фитопатогенными грибами р.р. *Alternaria*, *Fusarium* и *Bipolaris*, полученные в ОПХ «Минино» на естественном инфекционном фоне. Протравливание семян проводили из расчёта 10 л рабочего раствора на 1 тонну семян, контролем служили непротравленные семена. Эффективность протравливания семян определяли методом влажной камеры. При этом в каждом варианте эксперимента 50 % обработанного зерна помещали во влажную камеру сразу после обработки, 50 % перед помещением во влажную камеру выдерживали в течение 7 суток.

Значимость отличий вариантов по зараженности от контроля определяли по точному критерию Фишера для таблиц 2x2 с использованием пакета StatSoft STATISTICA 6.0.

**Результаты и их обсуждение.** Определённая методом влажной камеры суммарная зараженность необработанных семян составила 75 %, в том числе грибами р.р. *Alternaria* – 72 %, грибами р.р. *Fusarium* и *Bipolaris* – соответственно 3 и 1 %.

Сам по себе фунгицид в использованной концентрации, а также фунгицид с добавлением наночастиц ферригидрита не оказали статистически значимого влияния на заражённость семян. В то же время протравливание фунгицидом с добавлением наночастиц, допированных кобальтом и алюминием, привело к статистически значимому снижению заражённости. Хотя ни в одном из вариантов не произошло полного обеззараживания семян, в вариантах с FeCo и FeAl заражённость статистически значимо ( $p<0,001$ ) снизилась соответственно на 19 и 28 процентных пункта, или на 26–38 % относительно контроля (табл. 1).

В случае, когда анализ заражённости зерна проводится не сразу после протравливания, а зерно выдерживается 7 суток после обработки, картина несколько меняется.

Так, эффект от обработки фунгицидом возрастает и становится статистически значимым, а эффект добавления к фунгициду наночастиц меняется разнонаправленно. Наночастицы чистого ферригидрита полностью нейтрализуют микотоксический эффект фунгицида ( $p<0,001$ ). Наночастицы ферригидрита, допированного кобальтом, снижают эффективность протравливания в 1,3 раза ( $p<0,01$ ). Наночастицы, допированные кобальтом, сохраняют эффект усиления действия фунгицида ( $p<0,05$ ) (табл. 2).

Таблица 1

**Статистический анализ отличий вариантов от контроля по общей заражённости семян после обработки**

Вариант	Заражённость, %	Заражённость, % к контролю	Значимость различий с контролем р
Контроль	75	100	–
Фунгицид	71	95	Нет
Фунгицид+Fe	75	100	Нет
Фунгицид+FeCo	56	74	< 0,001
Фунгицид+FeAl	47	62	< 0,001

Таблица 2

**Статистический анализ отличий вариантов от контроля по общей заражённости семян при анализе через 7 суток после обработки**

Вариант	Заражённость, %	Заражённость, % к контролю	Значимость различий с контролем р
Контроль	75	100	–
Фунгицид	48	64	< 0,001
Фунгицид+Fe	79	105	Нет
Фунгицид+FeCo	62	82	< 0,01
Фунгицид+FeAl	38	50	< 0,001

Результаты изучения влияния наночастиц на эффективность препарата «Виал-ТТ» при протравливании семян в зависимости от времени контакта наночастиц и фунгицида суммированы в таблице 3.

Таблица 3

**Влияние изучаемых наночастиц на эффективность фунгицида при протравливании семян**

Тип частиц	Короткий контакт	Длительный контакт
Fe	Нет	Значительное ослабление
FeCo	Значительное усиление	Небольшое ослабление
FeAl	Значительное усиление	Небольшое усиление

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами ранее проведённых исследований влияния изучаемых типов наночастиц на токсичность препарата «Виал-ТТ» в отношении конидий фитопатогенных грибов р.р. *Alternaria*, *Fusarium* и *Bipolaris* [4]. Как и в экспериментах на семенах, в исследованиях на конидиях фитопатогенов нами было выявлено два противоположных

эффекта наночастиц; усиление токсичности фунгицида и ослабление токсичности фунгицида. При этом направленность действия наночастиц зависела от наличия в частицах допиравущих элементов, от концентрации частиц, а также от времени контакта частиц с фунгицидом. На основе данного исследования и предыдущих можно предположить, что усиление токсичности в коротких (порядка нескольких часов) экспериментах обеспечивается сорбцией токсических компонентов фунгицида на частицах с последующей адресной доставкой их в клетки фитопатогенов. Ослабление же токсичности, наблюдаемое в более продолжительных экспериментах, может быть связано с катализитическим окислением компонентов сорбированного на частицах фунгицида.

### **Выводы**

1. При коротком контакте с протравителем семян «Виал-ТТ» биогенные наночастицы ферригидрита, допированные кобальтом и алюминием, статистически значимо ( $p<0,001$ ) усиливают фунгицидный эффект препарата в отношении фитопатогенной микрофлоры семян. Наночастицы чистого ферригидрита не оказывают влияния на эффективность протравителя.

2. При длительном (7 суток) контакте с фунгицидом наночастицы ферригидрита и наночастицы ферригидрита, допированные кобальтом, статистически значимо снижают эффективность протравливания соответственно в 1,6 и 1,3 раза. Наночастицы, допированные алюминием, сохраняют эффект усиления действия фунгицида.

3. Добавление допированных алюминием биогенных наночастиц ферригидрита в тебуконазол-тиабендазоловые фунгициды непосредственно перед протравливанием семян позволит снизить норму расхода препаратов и повысить их эффективность. Биогенные наночастицы чистого ферригидрита могут быть использованы для детоксикации остаточных количеств фунгицидов в почве.

### **Литература**

1. *Ладыгина В.П. Получение, структура и магнитные свойства железосодержащих наночастиц, синтезируемых бактериями: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Красноярск, 2011. – 22 с.*
2. *Антитоксические свойства биогенных наночастиц гидроксида железа в отношении тиабендазол-тебуконазоловых фунгицидов / Е.П. Ланкина, Д.И. Шевелёв, С.В. Хижняк [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 11. – С. 129–133.*
3. *Патент РФ № 2457074. 27.07.2012. Способ получения наночастиц ферригидрита / Ладыгина В.П., Пуртов К.В., Столляр С.В., Исхаков Р.С.*
4. *Железосодержащие наночастицы, образующиеся в результате жизнедеятельности микроорганизмов / С.В. Столляр, О.А. Баюков, Ю.Л. Гуревич [и др.] // Неорганические материалы. – 2006. – Т. 42, № 7. – С. 1–6.*
5. *Биогенные наночастицы на основе железа как фактор экологической безопасности при производстве сырья для зерноперерабатывающей промышленности / С.В. Хижняк, Е.Я. Мучкина, А.Г. Кучкин [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 5. – С. 420–423.*

