



DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-2-195-206

УДК 574.24

Оценка изменения содержания токсичных элементов (Pb, As, Hg, Cd) в надземной части пшеницы *Triticum vulgare Vill* под воздействием вносимой в почву водной суспензии гуминовых кислот с различными формами железа

Е.А. Осипова¹, С.В. Лебедев^{1,2}, О.Н. Каньгина¹, А.М. Короткова²

¹ Оренбургский государственный университет

Российская Федерация, Оренбургская обл., 460018, Оренбург, просп. Победы, 13

² Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства

Российская Федерация, Оренбургская обл., 460000, Оренбург, ул. 9 Января, 29

Недостаток железа приводит к ослаблению роста растений и снижению их урожайности. Перспективным решением этой проблемы является использование нанопорошков железа, оксидов железа в качестве биостимуляторов роста сельскохозяйственных растений. Однако, особые свойства наночастиц могут усиливать механизмы, связанные с токсичным действием на живые организмы, приводить к микроэлементозам. Реакция растений на воздействие железа весьма изменчива и зависит от их генотипа и вида. Литературных данных о влиянии мелкодисперсных частиц железа на элементный состав растения вида *Triticum vulgare Vill* (пшеница мягкая) недостаточно, кроме того, практически не изучено взаимодействие этих частиц с природными сорбентами — гуминовыми кислотами, которые контролируют биодоступность и транспорт элементов в природных объектах.

В статье приведены данные по содержанию токсичных элементов (As, Hg, Cd, Pb) в надземной части растений пшеницы *Triticum vulgare Vill*, выращенных в почве при однократном инвазивном воздействии водных растворов сферических наночастиц железа Fe⁰ (диаметром 80 ± 5 нм), магнетита Fe₃O₄ (шириной 50—80 нм и высотой 4—10 нм), ионных форм двух- и трехвалентного сульфата железа с добавлением гуминовых кислот, выделенных из бурого угля Тюльганского месторождения.

При изучении динамики изменения содержания токсичных элементов установлено, что под воздействием наночастиц железа и магнетита наблюдается процесс замещения более токсичной ртути менее токсичным кадмием при постоянном их суммарном количестве, использование трехвалентного сульфата железа с концентрацией 0,0001 г/л для однократного полива пшеницы *Triticum vulgare Vill* приводит к наилучшему результату по снижению токсичных элементов (свинца, мышьяка, ртути и кадмия) в надземной части растения.

Ключевые слова: наночастицы, железо, свинец, мышьяк, ртуть, кадмий, пшеница, гуминовые кислоты

Введение

Железо является необходимым для растений элементом, оно входит в состав дыхательных ферментов, участвует в окислительно-восстановительных процессах. В растение поступает через корни преимущественно в виде Fe²⁺. Недостаток же-

леза приводит к ослаблению роста растений и снижению их урожайности. Дефицит железа является проблемой для многих сельскохозяйственных культур, поскольку большая часть окультуренных почв отличается низким содержанием доступных для растений форм железа [1].

Кроме того, недостаточное поступление железа может привести к микроэлементозу, накоплению токсичных элементов в растениях, так как в результате загрязнения окружающей среды в почвах сельскохозяйственного назначения накапливаются токсичные элементы (мышьяк, кадмий, ртуть, свинец и др.), что в свою очередь приведет к снижению качества производимой сельскохозяйственной продукции и впоследствии повлечет накопление токсичных веществ в организме человека и животных [2].

Использование железа в ионном виде при железистой недостаточности не приводит к ожидаемому биологическому эффекту, так как оно быстро переходит в окисленную форму, недоступную для растений, и образует комплексы и хелаты с органическим веществом почвы [1].

Перспективным является использование нанопорошков железа, оксидов железа в качестве биостимуляторов роста сельскохозяйственных растений [3—10]. Эффективность их использования объясняется не только малыми размерами частиц, которые способны проникать через биологические мембраны, но и тем, что в состав входит биогенный элемент, который участвует в окислительно-восстановительных процессах и процессах элементного баланса [5]. Однако особые свойства наночастиц могут усиливать механизмы, связанные с токсичным действием на живые организмы, приводить к микроэлементозам и оказывать негативное влияние на окружающую среду [3; 6; 11; 12].

Реакция растений как на токсическое воздействие железа, так и на его недостаточность весьма изменчива и зависит от генотипа и вида [13].

Таким образом, влияние нанопорошков железа, оксидов железа на элементный состав сельскохозяйственных растений, а также взаимодействие этих частиц с природными сорбентами — гуминовыми кислотами, которые контролируют биодоступность и транспорт элементов в природных объектах, требует тщательного изучения.

Целью исследования является оценка изменения содержания токсичных элементов (Pb, As, Hg, Cd) в надземной части пшеницы *Triticum vulgare Vill* под воздействием вносимой в почву водной суспензии гуминовых кислот с различными формами железа.

Материалы и методы

Семена пшеницы *Triticum vulgare Vill*, не обработанные протравителями, помещали в пластиковые контейнеры с почвой (чернозем южный) по 30 шт. на глубину 2—3 см и расстоянии 2 см друг от друга. Почву с семенами однократно поливали водными растворами железа с различными концентрациями и гуминовыми кислотами (10 мл с концентрацией 1 г/л) в таком количестве, чтобы общая влагоемкость почвы составляла 75 %. Контейнеры взвешивались и по мере высыхания почвы поливались дистиллированной водой до прежней массы.

При проведении исследования (Институт энергетических проблем химической физики РАН, Россия) использовали водные растворы сферических наночастиц железа Fe^0 (диаметром 80 ± 5 нм), сульфата железа (II) и сульфата железа (III), а также водные растворы синтезированных наночастиц магнетита Fe_3O_4 , которые имеют слегка сплюснутую шарообразную форму шириной от 50 до 80 нм и высотой от 4 до 10 нм [16]. Гуминовые кислоты были выделены из бурого угля Тюльганского месторождения [17].

Суспензию растворов наночастиц железа готовили, растворяя определенную навеску в дистиллированной воде и обрабатывая их ультразвуком в течение 15 минут. Более разбавленные растворы наночастиц железа получали разбавлением дистиллированной водой. Концентрация приготовленных таким образом растворов составляла 0,0001, 0,001 и 0,01 г/л по железу. Водные растворы ионных форм железа с концентрациями 0,0001 и 0,001 г/л по железу готовили аналогично, растворяя определенную навеску соли в дистиллированной воде с последующей обработкой ультразвуком в течение 15 минут.

Контрольные образцы растений выращивали в почве (чернозем южный) без добавления железа. Подготовленные таким образом опытные и контрольные пробы оставляли при комнатной температуре на проращивание. Повторность опыта — трехкратная.

Определение токсичных элементов в надземной части растений проводили на двадцать первые сутки эксперимента, так как к этому времени заканчивается критический период фазы всходов пшеницы в нормальных условиях. Именно в этот период в жизни растений недостаток или избыток элементов питания приводит к необратимым физиолого-биохимическим и морфологическим изменениям [16; 17].

Содержание мышьяка, свинца, кадмия и ртути определяли в ООО «Микронутриенты» (г. Москва, лицензия ЛО-77-01-006064) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП — МС) на квадрупольном масс-спектрометре Nexion 300D (Perkin Elmer, США). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследований и обсуждение

При изучении динамики изменения токсичных элементов в побеговой части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* при воздействии водной суспензии наночастиц железа Fe^0 с различными концентрациями установлено, что изменение количества свинца и мышьяка колеблется в пределах погрешности (рис. 1).

Химический анализ на содержание ртути и кадмия (рис. 2) в надземной части растения пшеницы в зависимости от концентрации наночастиц железа Fe^0 показал, что суммарное количество ртути и кадмия остается постоянным $0,163 \pm 0,015$ мкг/г, причем сильно разбавленные растворы наночастиц железа способствуют уменьшению количества ртути на такое количество, на которое увеличивается содержание кадмия, т.е. наблюдается процесс вытеснения ртути кадмием. Что в принципе неплохо, так как кадмий менее токсичен, чем ртуть [18], и многие авторы отмечают его положительное влияние на физиологические функции некоторых растений [1]. Такая конкуренция связана с идентичностью геометрии ионов кадмия и ртути и участков локализованного в мембране переносчика.

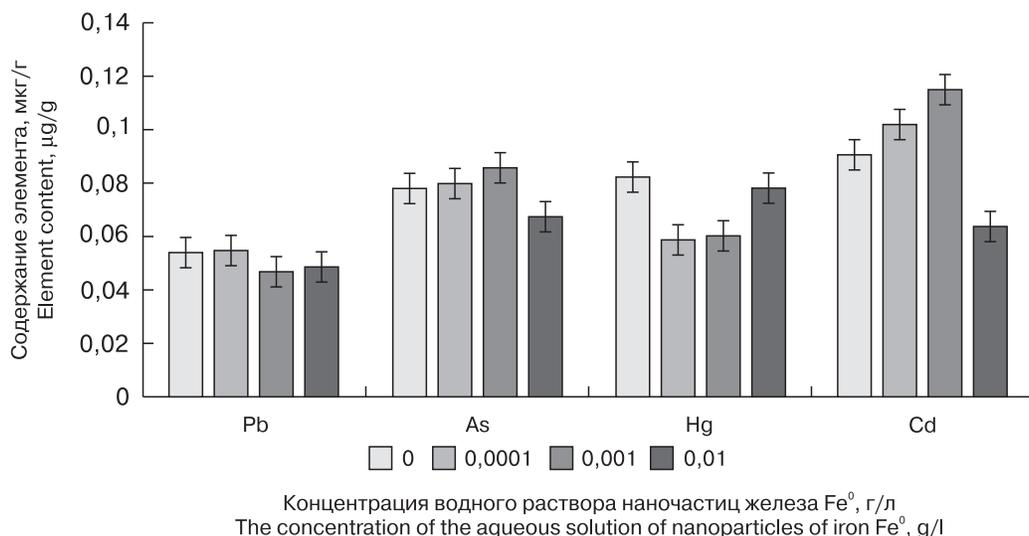


Рис. 1. Зависимость содержания токсичных элементов в надземной части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* от концентрации водного раствора наночастиц железа Fe⁰, вносимого в почву
[Figure 1. Dependence of the content of toxic elements in the over ground part of the wheat plant *Triticum vulgare Vill* on the concentration of aqueous solution of iron nanoparticles Fe⁰, introduced into the soil]

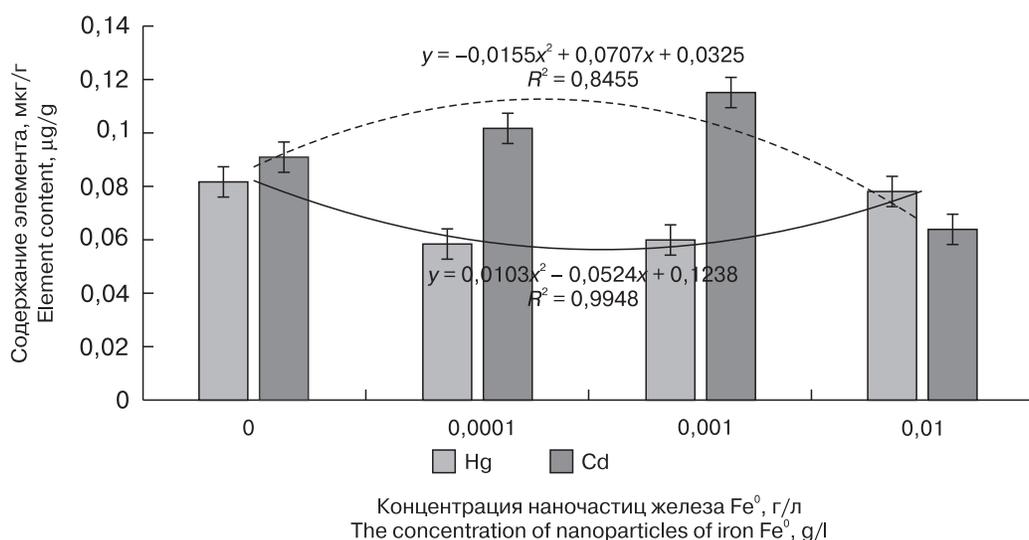


Рис. 2. Изменение содержания ртути и кадмия в надземной части растения пшеницы в зависимости от концентрации наночастиц железа Fe⁰
[Figure 2. Change of content of mercury and cadmium in the over ground part of a plant of wheat depending on concentration of nanoform of iron Fe⁰]

Таким образом, наименьшее количество рассматриваемых токсичных элементов в надземной части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* наблюдается под воздействием водной суспензии наночастиц железа Fe⁰ с концентрацией 0,01 г/л. Количество кадмия в этом опыте уменьшается на 30 % по сравнению с контролем, содержание остальных токсичных элементов (свинца, мышьяка и ртути) не превышает их количества в контрольном образце.

Внесение в почву различных концентраций водной суспензии нанопорошка магнетита Fe_3O_4 с гуминовыми кислотами приводит к изменению содержания всех четырех токсичных элементов в надземной части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* (рис. 3).

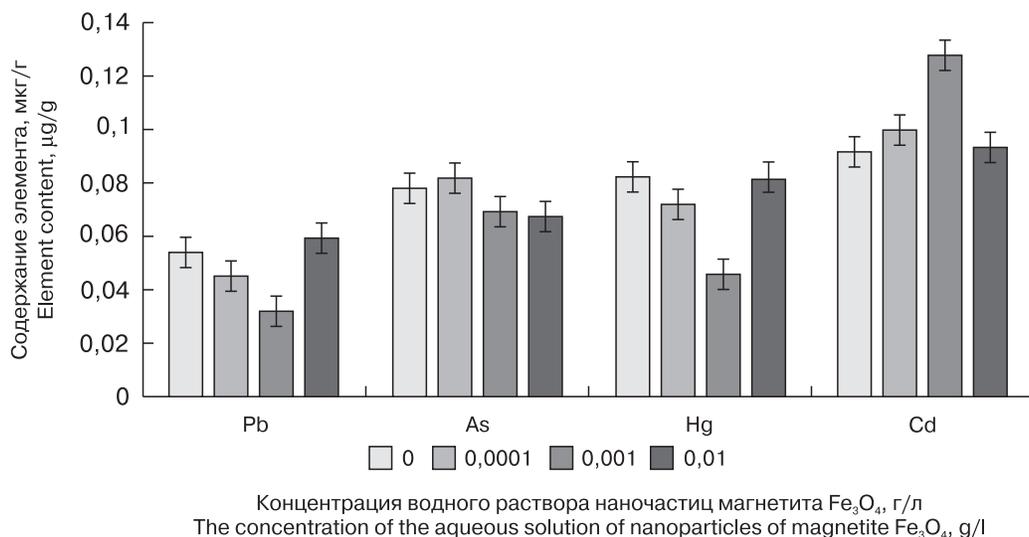


Рис. 3. Зависимость содержания токсичных элементов в надземной части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* от концентрации водного раствора наночастиц магнетита Fe_3O_4 , вносимого в почву [Figure 3. Dependence of maintenance of toxic elements in the over ground part of a plant of *Triticum vulgare Vill* wheat from concentration of water solution of nanoparticles of the Fe_3O_4 magnetite brought in the soil]

Концентрация магнетита 0,001 г/л приводит к минимальному поглощению свинца ($0,032 \pm 0,003$ мкг/г). Данное количество свинца на 25 % меньше по сравнению с контрольным опытом.

Количество мышьяка в побеговой части растения пшеницы при увеличении концентрации наночастиц магнетита постепенно снижается, однако уменьшение концентрации данного токсичного элемента не превышает пределы погрешности эксперимента (10 %).

Зависимость изменения количества ртути под воздействием различных концентраций наночастиц магнетита аналогична изменению содержания свинца. Максимальное снижение ртути ($0,046 \pm 0,005$ мкг/г) по сравнению с контролем на 40 % ($0,082 \pm 0,001$ мкг/г) наблюдается в опытах с наночастицами магнетита при концентрации 0,001 г/л. Полив различными концентрациями наночастиц магнетита приводит к тому, что суммарное содержание ртути и кадмия остается постоянным $0,173 \pm 0,001$ мкг/г, как и в случае полива наночастицами железа. Установлено, что при невысоких концентрациях наночастиц магнетита кадмий вытесняет ртуть.

Таким образом, наилучший результат по снижению токсичных элементов при поливе водной суспензией наночастиц магнетита наблюдается в опытах с концентрацией 0,001 г/л. В этом случае количество свинца снижается на 25 %, количество мышьяка остается постоянным относительно контроля, сумма кадмия и ртути не изменяется, но содержание более токсичного элемента ртути снижается на 40 %.

Наилучший результат по снижению количества токсичных элементов в пшенице при использовании двухвалентной ионной формы железа ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) наблюдается при концентрации по железу 0,001 г/л (рис. 4). В этом опыте концентрация свинца уменьшается на 26 %, мышьяка на 28 %, ртути на 10 % и кадмия на 11 %. Снижение содержания ртути и кадмия незначительно и находится в пределах погрешности опыта, однако стоит отметить положительную тенденцию на уменьшение накопления данных токсичных элементов в побеговой части растения.

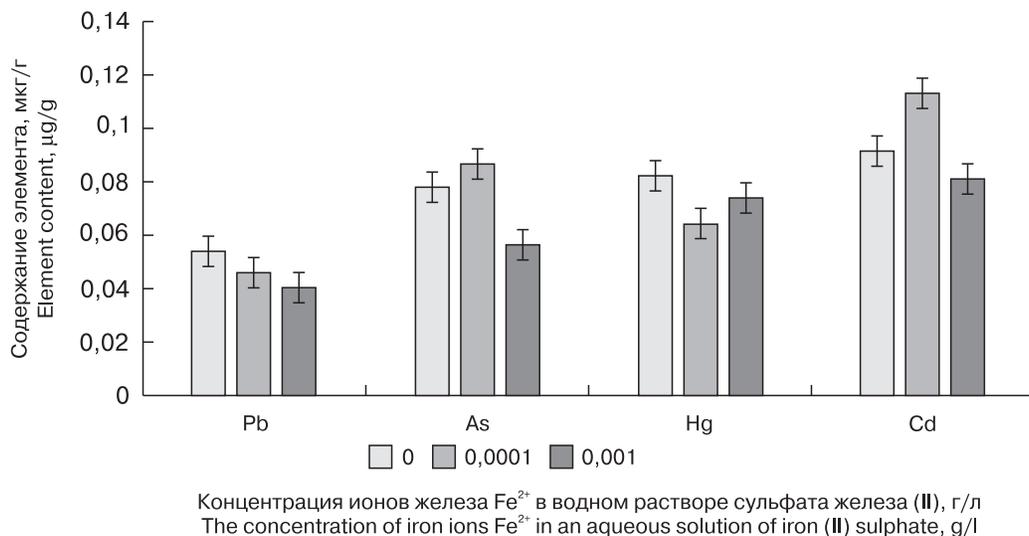


Рис. 4. Зависимость содержания токсичных элементов в надземной части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* от концентрации водного раствора ионов железа Fe^{2+} , вносимого в почву в виде сульфата железа (II)

[Figure 4. Dependence of the content of toxic elements in the aboveground part of the wheat plant *Triticum vulgare Vill* on the concentration of the aqueous solution of iron ions Fe^{2+} , introduced into the soil in the form of ferrous sulfate (II)]

Однократный полив водным раствором трехвалентного железа ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) с концентрацией по железу 0,0001 г/л приводит к минимальному накоплению всех четырех токсичных элементов в пшенице по сравнению с контрольным значением (рис. 5). Содержание свинца снижается на 46 %, мышьяка на 12 %, ртути на 27 % и кадмия на 42 % по сравнению с контролем.

Общая картина по накоплению токсичных элементов в надземной части пшеницы, выращенной в почве с добавлением гуминовых кислот под влиянием различных форм и концентраций железа относительно контроля, приведена в таблице. Отрицательные значения в таблице соответствуют снижению токсичных элементов в побегах пшеницы, жирный шрифт соответствует увеличению этих элементов более чем на 10 % относительно контроля.

Анализ данных таблицы показал следующее:

— общее содержание токсичных элементов в побеговой части пшеницы, выращенной в почве с добавлением гуминовых кислот под влиянием различных форм и концентраций железа, снижается во всех рассмотренных случаях;

— наибольшее снижение содержания токсичных элементов наблюдается при поливе сульфатом железа (III) с концентрацией по железу 0,001 г/л;

- только трехвалентное железо уменьшает концентрацию всех четырех токсичных элементов;
- активнее из всех элементов на внесение железа реагирует свинец, потом мышьяк и ртуть;
- под воздействием наночастиц железа и магнетита наблюдается процесс замещения более токсичной ртути менее токсичным кадмием при постоянном их суммарном количестве.

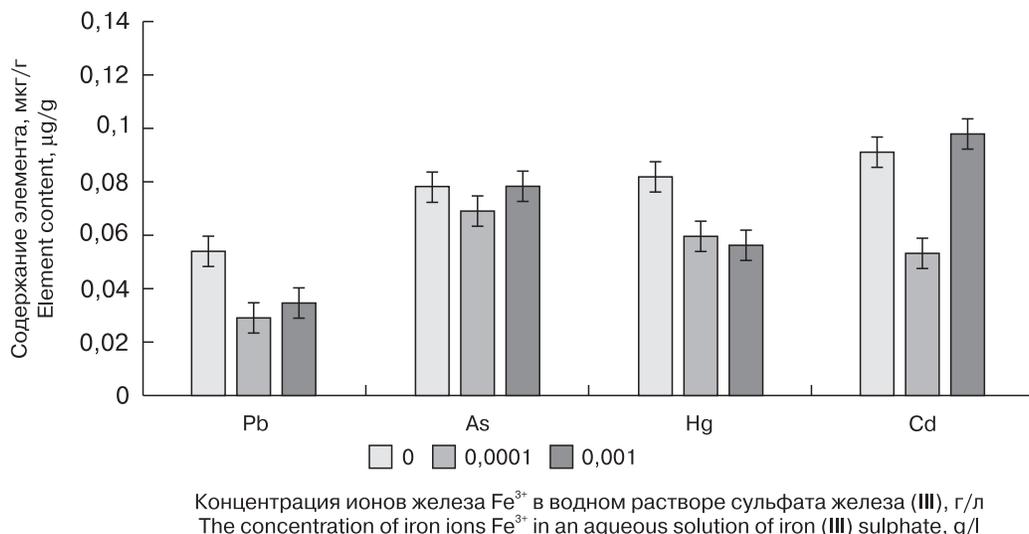


Рис. 5. Зависимость содержания токсичных элементов в надземной части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* от концентрации водного раствора ионов железа Fe³⁺, вносимого в почву в виде сульфата железа (III)

[Figure 5. Dependence of the content of toxic elements in the aboveground part of the wheat plant *Triticum vulgare Vill* on the concentration of the aqueous solution of iron ions Fe³⁺, introduced into the soil in the form of ferric sulfate (III)]

Таблица/Table

Влияние форм и концентраций железа (г/л) на накопление токсичных элементов в побеговой части растения пшеницы *Triticum vulgare Vill* относительно контрольного опыта (%)
[Influence of forms and concentration of iron (g/l) on accumulation of toxic elements in the aboveground part of a plant of wheat *Triticum vulgare Vill* of rather check experiment (%)]

Элемент, мкг/г [Element, µg/g]	Fe ⁰			Fe ₃ O ₄			Fe ²⁺		Fe ³⁺	
	0,0001	0,001	0,01	0,0001	0,001	0,01	0,0001	0,001	0,0001	0,001
Pb	2	-13	-9	-17	-41	9	-15	-26	-46	-35
As	3	10	-13	5	-12	-14	10	-28	-12	0
Hg	-28	-27	-5	-12	-44	-1	-22	-10	-27	-32
Cd	12	26	-30	10	41	2	24	-11	-42	7
Σ, мкг/г [Σ, µg/g]	-11	-4	-57	-14	-56	-4	-3	-75	-127	-60

Использование разбавленных растворов водной суспензии наночастиц железа Fe⁰ приводит к накоплению токсичных элементов (мышьяка, кадмия), увеличение концентрации до 0,01 г/л приводит к положительной тенденции по снижению концентрации этих элементов в побеговой части растения.

Этот факт можно объяснить следующим:

1) электронейтральность наночастиц железа Fe^0 снижает количество поступления железа и, как следствие, накопление замещающих элементов — синергистов;

2) часть наночастиц, вступая в сложные физико-химические процессы с компонентами почвы, становится недоступной для растения.

И наоборот, использование разбавленных растворов водной суспензии наночастиц магнетита приводит к наилучшему результату по снижению токсичных элементов, потому что в состав магнетита входит двух- и трехвалентное железо, которое легче поглощается растениями.

Из ионных форм железа наибольшим положительным эффектом по снижению токсичных элементов обладает трехвалентное железо в виде сульфата, хотя в растение оно поступает в виде двухвалентного соединения [1]. Возможно, трехвалентное железо образует более прочный комплекс с гуминовыми кислотами, чем двухвалентное, и представляет собой важный резерв доступных соединений этого металла для растений.

Заключение

Максимальное снижение токсичных элементов (свинца, мышьяка, ртути и кадмия) в побеговой части растения наблюдается при однократном поливе пшеницы *Triticum vulgare Vill* трехвалентным сульфатом железа с концентрацией 0,0001 г/л.

© Осипова Е.А., Лебедев С.В., Каныгина О.Н., Короткова А.М., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Благодарности:

Исследование выполнено в рамках государственного задания по программам РАН № 0761-2018-0032.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Битюцкий Н.П.* Микроэлементы и растение. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1999. 232 с.
- [2] *Салова Т.Ю., Громова Н.Ю.* Техногенные системы и экологический риск // Международный журнал экспериментального образования. 2015. Т. 2. № 2. С. 295–296.
- [3] *Анохина Т.О., Сиунова Т.В., Сизова О.И., Кочетков В.В., Боронин А.М.* Свойства наночастиц оксидов железа и проблемы их применения в сельском хозяйстве // Агрохимия. 2017. № 11. С. 74–96.
- [4] *Селиванов В.Н., Зорин Е.В., Сидорова Е.Н., Дзидзигури Э.Л., Фолманис Г.Э.* Пролонгированное воздействие ультрадисперсных порошков металлов на семена злаковых культур // Перспективные материалы. 2001. С. 66–69.
- [5] *Селиванов В.Н., Зорин Е.В., Фолманис Г.Э., Сидорова Е.Н., Кузнецов Д.В.* Ультрадисперсные порошки металлов для предпосадочной обработки клубней картофеля // Перспективные материалы. 2001. № 3. С. 48–52.
- [6] *Чурилов Г.И.* Влияние нанопорошков железа, меди, кобальта в системе почва — растение // Вестник ОГУ. 2009. № 12. С. 148–151.

- [7] *Егоров Н.П., Шафронов О.Д., Егоров Д.Н., Сулейманов Е.В.* Разработка и проведение экспериментальной оценки эффективности применения в растениеводстве новых видов удобрений, полученных с использованием нанотехнологий // *Вестник ННГУ*. 2008. № 6. С. 94–99.
- [8] *Чурилов Г.И., Сушилина М.М.* Нанокристаллические металлы как экологически чистые микроудобрения // *Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. Вып. 3. Рязань, 2008*. С. 84–86.
- [9] *Коваленко Л.В., Фолманис Г.Э.* Биологически активные нанопорошки железа // *Перспективные материалы*. 2005. С. 39–43.
- [10] *Паничкин П.А., Райкова А.В.* Использование нанопорошков металлов для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2009. № 1. С. 59–65.
- [11] *Сизова Е.А., Нотова С.В., Лебедев С.В., Дерябина Т.Д., Короткова А.М., Косян Д.Б.* и др. Техногенные наноматериалы в агробиоценозах: перспективы и риски. М.: Университет, 2016. 248 с.
- [12] *Короткова А.М., Лебедев С.В., Каюмов Ф.Г., Сизова Е.А.* Морфофизиологические изменения у пшеницы (*Triticum vulgare* V.) под влиянием наночастиц металлов (Fe, Cu, Ni) и их оксидов (Fe₃O₄, CuO, NiO) // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 1. С. 172–182. doi: 10.15389/agrobiology.2017.1.172rus
- [13] *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- [14] *Гервальд А.Ю., Прокопов Н.И., Ширякина Ю.М.* Синтез суперпарамагнитных наночастиц магнетита // *Вестник МИТХТ*. 2010. Т. 5. № 3. С. 45–49.
- [15] ГОСТ 9517–94 (ИСО 5073–85). Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот. М.: Издательство стандартов, 1996. 9 с.
- [16] *Лихочвор В., Проць Р.* Фазы роста и этапы органогенеза // *Агротехнология*. 2016. URL: <http://agrotechnology.com/klassicheskaya/teoriya/fazy-rosta-i-etapy-organogeneza> (дата обращения: 11.03.2018).
- [17] *Михайлова Л.А.* Агрехимия: курс лекций: в 3 ч. Ч. 1. Удобрения: виды, свойства, химический состав. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2015. 426 с.
- [18] СанПиН 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. 2002. URL: http://mibio.ru/docs/110/sanpin_2.3.2.1078-01_gigienicheskie_trebovaniya_-bezopasnosti.pdf (дата обращения: 14.03.2018).

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 15.03.2018

Дата принятия к печати: 15.04.2018

Для цитирования:

Осипова Е.А., Лебедев С.В., Каныгина О.Н., Короткова А.М. Оценка изменения содержания токсичных элементов (Pb, As, Hg, Cd) в надземной части пшеницы *Triticum vulgare* Vill под воздействием вносимой в почву водной суспензии гуминовых кислот с различными формами железа // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2018. Т. 26. № 2. С. 195–206. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-2-195-206

Сведения об авторах:

Осипова Елена Александровна — старший преподаватель кафедры химии Оренбургского государственного университета. *Контактная информация:* e-mail: kudryavceva.elen@mail.ru

Лебедев Святослав Валерьевич — заместитель директора Всероссийского научно-исследовательского института мясного скотоводства, доктор биологических наук. *Контактная информация:* e-mail: lsv74@list.ru

Каныгина Ольга Николаевна — доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры химии Оренбургского государственного университета. *Контактная информация:* e-mail: onkan@mail.ru

Короткова Анастасия Михайловна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. *Контактная информация:* e-mail: anastasiaporv@mail.ru

Assessment of changes in the content of toxic elements (Pb, As, Hg, Cd) in aboveground parts of wheat *Triticum vulgare Vill* under the influence of insertion into the soil an aqueous suspension of humic acids with different forms of iron

E.A. Osipova¹, S.V. Lebedev^{1,2}, O.N. Kanygina¹, A.M. Korotkova²

¹ Orenburg State University

13 Prospect Pobedy, Orenburg, 460018, Orenburg Region, Russian Federation

² All-Russian Research Institute of Beef Cattle Breeding
29 9 January St., Orenburg, 460000, Russian Federation

Lack of iron leads to a weakening of plant growth and lower yields. A promising solution to this problem is the use of nanoparticles of iron, iron oxides as biostimulators of growth of agricultural plants. However, the special properties of nanoparticles can enhance the mechanisms associated with toxic effects on living organisms, lead to trace elements. The response of plants to the impact of iron is highly variable and depends on their genotype and species. Literature data on the influence of fine iron particles on the elemental composition of the plant species *Triticum vulgare Vill* (soft wheat) is not enough, in addition, virtually no study of the interaction of these particles with natural sorbents — humic acids, which control the bioavailability and transport of elements in natural objects.

Therefore, the article presents data on the content of toxic elements (As, Hg, Cd, Pb) in the aboveground part of wheat plants *Triticum vulgare Vill*. Wheat is cultivated in the soil under the influence of aqueous solutions Fe⁰ spherical iron nanoparticles (diameter of 80 ± 5 nm), magnetite Fe₃O₄ (50—80 nm width and a height of 4—10 nm), ionic forms of di- and trivalent iron sulphate with addition of humic acids isolated from the brown coal of the Tulgan deposit.

The results of the study showed that under the influence of iron and magnetite nanoparticles, the replacement of more toxic mercury with less toxic cadmium is observed, but the total number of these elements remains constant. An aqueous solution of trivalent iron sulfate with a concentration of 0.0001 g/l contributes to the maximum reduction of toxic elements (lead, arsenic, mercury and cadmium) in the aboveground part of wheat plant.

Keywords: nanoparticles, iron, lead, arsenic, mercury, cadmium, wheat, humic acids

REFERENCES

- [1] Bitiutskiy NP. *Micronutrients and plant*. Saint Petersburg: S.-Peterb. un-ta Publ.; 1999.
- [2] Salova TYu, Gromova NYu. Technogenic systems and environmental risk. *International journal of experimental education*. 2015;2(2): 295–296.
- [3] Anokhina TO, Tiunova TV, Sizova OI, Kochetkov VV, Boronin AM. Properties of nanoparticles of iron oxides and problems of their application in agriculture. *Agricultural chemistry*. 2017;11: 74–96.
- [4] Selivanov VN, Zorin EV, Sidorova EN, Dzidziguri EL, Folmanis GE. Prolonged exposure to ultrafine powders of metals in the seeds of cereals. *Advanced materials*. 2001;66–69.
- [5] Selivanov VN, Zorin EV, Folmanis GE, Sidorova EN, Kuznetsov DV. Ultrafine powders of metals for pre-planting processing of potato tubers. *Perspective materials*. 2001;3: 48–52.
- [6] Churilov GI. Influence of nanopowders of iron, copper, cobalt in the system soil-plant. *Vestnik OGU*. 2009;12: 148–151.
- [7] Egorov NP, Safronov OD, Egorov DN, Suleymanov EV. The Development and pilot evaluation of the efficacy of the crop of new types of fertilizers produced using nanotechnology. *Vestnik of NNSU*. 2008;6: 94–99.
- [8] Churilov GI, Suchilina MM. Nanocrystalline metals as an environmentally friendly micronutrient. In: *Environmental state of the natural environment and the scientific and practical aspects of modern reclamation technologies*. Vol. 3. Ryazan; 2008. p. 84–86.
- [9] Kovalenko LV, Folmanis GE. Biologically active nanopowders of iron. *Advanced materials*. 2005; 39–43.
- [10] Panickin PA, Raikov AV. The Use of metal nanopowders for presowing treatment of seeds of agricultural crops. *Proceedings of the Timiryazev agricultural academy*. 2009;1: 59–65.
- [11] Sizova EA, Notova SV, Lebedev SV, Deryabina TD, Korotkova AM, Kosyan DB, etc. Man-made nanomaterials in the anthropogenic ecosystems: prospects and risks. Moscow: University Publ.; 2016.
- [12] Korotkova AM, Lebedev SV, Kayumov FG, Sizova EA. Morphological and physiological changes in wheat (*Triticum vulgare V.*) under the influence of metal nanoparticles (Fe, Cu, Ni) and their oxides (Fe₃O₄, CuO, NiO). *Agricultural biology*. 2017;52(1): 172–182.
- [13] Kabata-Pendias A, Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. Moscow: Mir Publ.; 1989.
- [14] Gerwald AY, Prokopov NI, Serakina YuM. Synthesis of superparamagnetic nanoparticles of magnetite. *Vestnik MITHT*. 2010;5(3): 45–49.
- [15] GOST 9517–94 (ISO 5073–85). *Solid fuel. Methods for determining the yield of humic acids*. Moscow: Publishing house of standards; 1996.
- [16] Lipocor V, Proch R. Growth phases and stages of organogenesis. *Technology*. 2016. Available from: <http://agrotechnology.com/klassicheskaya/teoriya/fazy-rosta-i-etapy-organogeneza>
- [17] Mikhailova LA. Fertilizers: types, properties, chemical composition. In: *Chemistry: a course of lectures*. Perm: Procrasty Publ.; 2015.
- [18] SanPiN 2.3.2.1078–01. *Hygienic requirements of food safety and nutritional value*. 2002. Available from: http://mibio.ru/docs/110/sanpin_2.3.2.1078-01_gigienicheskie_trebovaniya_bezopasnosti.pdf

Article history:

Received: 15.03.2018

Revised: 15.04.2018

For citation:

Osipova EA, Lebedev SV, Kanygina ON, Korotkova AM. Assessment of changes in the content of toxic elements (Pb, As, Hg, Cd) in aboveground parts of wheat *Triticum vulgare Vill* under the influence of insertion into the soil an aqueous suspension of humic acids with different forms of iron. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018; 26(2): 195–206. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-2-195-206

Bio Note:

Osipova Elena Aleksandrovna — Senior Lecturer of the Department of Chemistry, Orenburg State University. *Contact information:* e-mail: kudryavceva.elen@mail.ru

Lebedev Svyatoslav Valerevich — Deputy Director of All-Russian Scientific Research Institute of Meat Cattle Breeding, Doctor of Biological Sciences. *Contact information:* e-mail: lsv74@list.ru

Kanygina Olga Nikolaevna — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemistry, Orenburg State University. *Contact information:* e-mail: onkan@mail.ru

Korotkova Anastasia Mikhailovna — Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Biological Trials and Expertise of Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences”. *Contact information:* e-mail: anastasiaporv@mail.ru