

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПШЕНИЦЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА С ГУМИНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

Статья посвящена исследованию изменения элементного состава растения *Triticum vulgare Vill* под воздействием сферических наночастиц железа FeO (диаметром 80 ± 5 нм) и наночастиц магнетита Fe₃O₄ (шириной 50–80 нм и высотой 4–10 нм), а также растворов сульфата железа (II) и сульфата железа (III) в присутствии гуминовых кислот.

Выявлено, что содержание калия под действием наночастиц и ионных форм находится примерно на одном уровне с контролем. Однако, в условиях нехватки питательных элементов на 21 день количество калия увеличивается на 25 % (22393 ± 4479 мкг/г) при воздействии магнетита в количестве 0,01 г/л по железу и на 20 % (21738 ± 4348 мкг/г) под действием наночастиц железа в количестве 0,0001 г/л по сравнению с контролем (17752 ± 3550 мкг/г). Наночастицы железа FeO на 21 день уменьшают количество магния при концентрациях 0,1 и 0,01 г/л на 27 % и 12 % соответственно, при концентрации 0,001 г/л содержание магния находится на одном уровне с контролем (2957 ± 443 мкг/г), а при концентрации 0,0001 г/л увеличивают количество этого элемента на 10 % (3266 ± 490 мкг/г). Под воздействием всех форм железа и концентраций количество фосфора изменяется аналогично контрольному опыту и составляет 4967 ± 993 мкг/г, 7154 ± 1431 мкг/г, 9943 ± 1989 мкг/г на 7, 14 и 21 день соответственно.

Таким образом, наноформы железа можно использовать для повышения устойчивости пшеницы *Triticum vulgare Vill* на обедненных почвах в условиях недостатка питательных элементов.

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

Сельскохозяйственные земли, систематически обрабатываются, перепахиваются и используются под посевы сельскохозяйственных культур. Со временем количество питательных элементов в них снижается, а количество тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду, постоянно возрастает вследствие развития промышленности.

Использование микроэлементов в качестве стимуляторов роста растений ограничивается существующими предельно-допустимыми концентрациями (ПДК), а также опасностью загрязнения окружающей среды [15].

В последнее время в качестве микроудобрений активно используют такую форму соединений как нанокристаллические порошки металлов [1, 2].

Использование нанопорошков железа как биостимуляторов свидетельствует об их перспективности, так как железо является биогенным элементом и принимает участие в окислительных процессах, а так же входит в состав ферментов [5, 16].

Содержание железа в почвах варьируется в пределах 2–3 % от ее массы. Однако большая часть минеральных соединений железа находится в почвах в недоступной форме, так как

железо образует наиболее прочные комплексы с гуминовыми кислотами [3, 4].

В ионном виде внесение железа в почву не приводит к ожидаемому биологическому эффекту, что связано с быстрым его переходом в окисленную форму – недоступную для растений. В связи с выявленной биологической активностью соединений железа наиболее эффективными методами повышения урожайности культурных растений является фолиарная подкормка растворами органических (в основном хелатов) или неорганических соединений железа. В настоящее время актуальным вопросом является использование различных форм железа (наноформа и ионная) для улучшения посевных качеств семян и повышения урожайности [2, 7].

Существующих литературных данных о влиянии мелкодисперсных частиц железа в сравнении с ионными формами на элементный состав растения вида *Triticum vulgare Vill* (пшеница мягкая) недостаточно [11–14], кроме того, практически не изучено взаимодействие этих частиц с природными сорбентами – гуминовыми кислотами, которые контролируют биодоступность и транспорт элементов в природных объектах.

Таким образом, целью исследования явилось сравнительное изучение биологической активности наночастиц и ионных форм железа в присутствии гуминовых кислот в тесте прорастания семян пшеницы *Triticum vulgare Vill.* оценкой изменения количества макроэлементов в растительной массе.

Объекты и методы исследования

Объектом воздействия различных форм железа являлись семена озимой пшеницы *Triticum vulgare Vill.* не обработанные протравителями. Предназначенные для проращивания семена предварительно прогревали при температуре 34 °С в течение 7 суток в термостате [8].

При проведении исследования использовали водные растворы гуминовых кислот (ГК), выделенных из бурого угля Тюльганского месторождения [9], растворы сферических наночастиц железа Fe₀ (диаметром 80±5 нм) (Институт энергетических проблем химической физики РАН, Россия), сульфата железа (II) и сульфата железа (III), а также водные растворы синтезированных наночастиц магнетита Fe₃O₄, которые имеют слегка сплюснутую шарообразную форму шириной от 50 до 80 нм и высотой от 4 до 10 нм [6].

Суспензию растворов используемых веществ готовили, растворяя определенную навеску в дистиллированной воде и обрабатывая их ультразвуком в течение 15 минут. Более разбавленные растворы получали разбавлением дистиллированной водой.

Приготовленные растворы брали в соотношении ГК : С(Fe) от 1 : 0 до 1 : 0,1 с пошаговым увеличением концентрации железа в 10 раз.

Контрольные образцы растений выращивали в водной среде с ГК (1 г/л) без добавления железа. Подготовленные таким образом опытные и контрольные пробы оставляли при комнатной температуре на проращивание. Повторность опыта трехкратная.

Определение элементного состава растений проводили на седьмые, четырнадцатые и двадцать первые сутки эксперимента.

Содержание калия, магния и фосфора определяли в лаборатории АНО «Центр биотической медицины», г. Москва, аккредитованной в Федеральном центре Госсанэпиднадзора при МЗ РФ

(аттестат аккредитации ГСЭН. RU.ЦОА.311), методами атомной эмиссионной спектрометрии с индукционно связанной аргоновой плазмой (АЭС – ИСП) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой (МС – ИСП) на приборах Optima 2000 DV и Elan 9000 (PerkinElmer, США). Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы Microsoft Excel, включая описательную статистику, оценку достоверности различий по Стьюденту.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ данных по количеству поглощенных макроэлементов растениями вида *Triticum vulgare Vill.* показал, что в течение времени в зависимости от количества внесенного железа и его формы происходит изменение содержания калия, магния и кальция в надземной части растения.

Содержание калия под действием наночастиц ионных форм находится примерно на одном уровне с контролем. Однако в условиях нехватки питательных элементов на 21 день количество калия увеличивается на 25 % (22393±4479 мкг/г) при воздействии магнетита в количестве 0,01 г/л по железу и на 20 % (21738±4348) под действием наночастиц железа в количестве 0,0001 г/л по сравнению с контролем (17752±3550) (рис. 1).

Калий в растениях выполняет роль стабилизатора водного режима. Калий способствует поддержанию оводненности тканей, оптимизации сосущей силы корней, уравниванию темпов дыхания и фотосинтеза. В результате растения, обеспеченные калием, становятся более устойчивыми к избытку и недостатку влаги, повышенным и пониженным температурам [10]. Таким образом, растения, выращенные под действием наночастиц железа в количестве 0,0001 г/л и магнетита в количестве 0,01 г/л, будут более устойчивы к неблагоприятным погодным условиям. Количество магния с течением времени в растениях возрастает и находится примерно на одном уровне (рис. 2).

К 21 дню под действием ионных форм железа (0,001 г/л) происходит снижение количества магния на 28 % (2107±316 мкг/г) – 40 % (1721±258 мкг/г) по сравнению с контролем

(2957±443 мкг/г). Наночастицы железа Fe0 на 21 день уменьшают количества магния при концентрациях 0,1 и 0,01 г/л на 27 % и 12 % соответственно, при концентрации 0,001 г/л содержание магния находится на одном уровне с контролем (2957±443 мкг/г), а при концентрации 0,0001 г/л увеличивают количество этого элемента на 10 % (3266±490 мкг/г). Наночастицы магнетита практически не влияют на изменение количества магния в растениях.

Недостаток магния тормозит синтез азотсодержащих соединений, особенно хлорофилла. Внешним признаком недостаточности этого элемента является хлороз листьев.

В процессе развития растения количество фосфора возрастает (рис. 3). Под воздействием всех форм железа и концентраций количество фосфора изменяется аналогично контрольному опыту и составляет 4967±993 мкг/г, 7154±1431 мкг/г, 9943±1989 мкг/г на 7, 14 и 21 день соответственно.

Особенно чувствительны к недостатку фосфора растения в начальных фазах роста и развития, когда их корневая система обладает слабой усвояющей способностью. Замечено, что в начальные стадии развития сельскохозяйственные культуры интенсивнее поглощают фосфаты, чем в последующие периоды роста.

Оптимальное фосфорное питание в начальный период роста и развития растений способствует развитию корневой системы – она глубже проникает в почву и лучше ветвится, что улучшает снабжение растений влагой и питательными элементами. Фосфор способствует более экономному расходованию влаги. Это имеет особенно большое значение в засушливые периоды. Из внешних признаков при недостатке фосфора наблюдается скручивание краев листовой пластинки, грязно-зеленая, более темная окраска листьев. При недостатке фосфора кроме более темной окраски листьев вследствие образования антоциана нередко появляются еще красноватые и фиолетовые тона, в особенности у основания стеблей, на влагалищах листьев и черешках. От недостатка фосфора больше страдают более старые – нижние листья.

При нехватке фосфора в растениях больше накапливается нитратов, что связано с важным значением соединений типа НАД и НАДФ при восстановлении нитратов. Фосфор снижает токсичность алюминия, марганца и железа. Благодаря тому, что фосфор связывает подвижный алюминий почвы, фиксирует его в корневой системе, улучшается углеводный и азотный обмен в растениях [10].

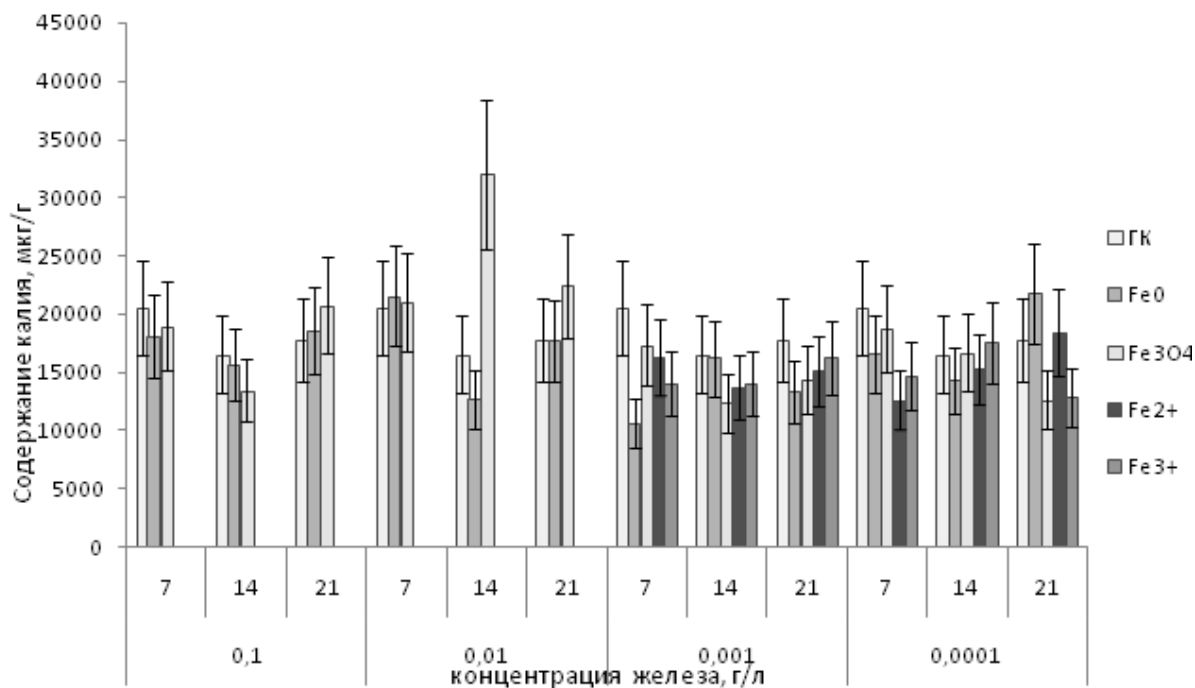


Рисунок 1. Содержание калия (мкг/г) в надземной части сухого растения *Triticum vulgare* Vill на 7, 14 и 21 сутки в зависимости от различного количества внесенных форм железа

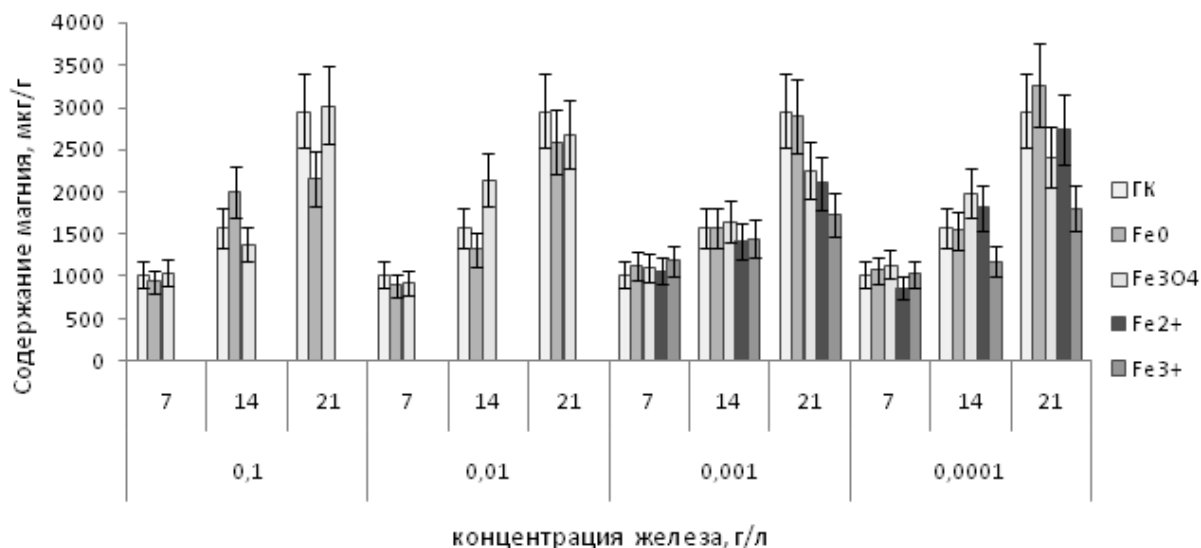


Рисунок 2. Содержание магния (мкг/г) в надземной части сухого растения *Triticum vulgare Vill* на 7, 14 и 21 сутки в зависимости от различного количества внесенных форм железа

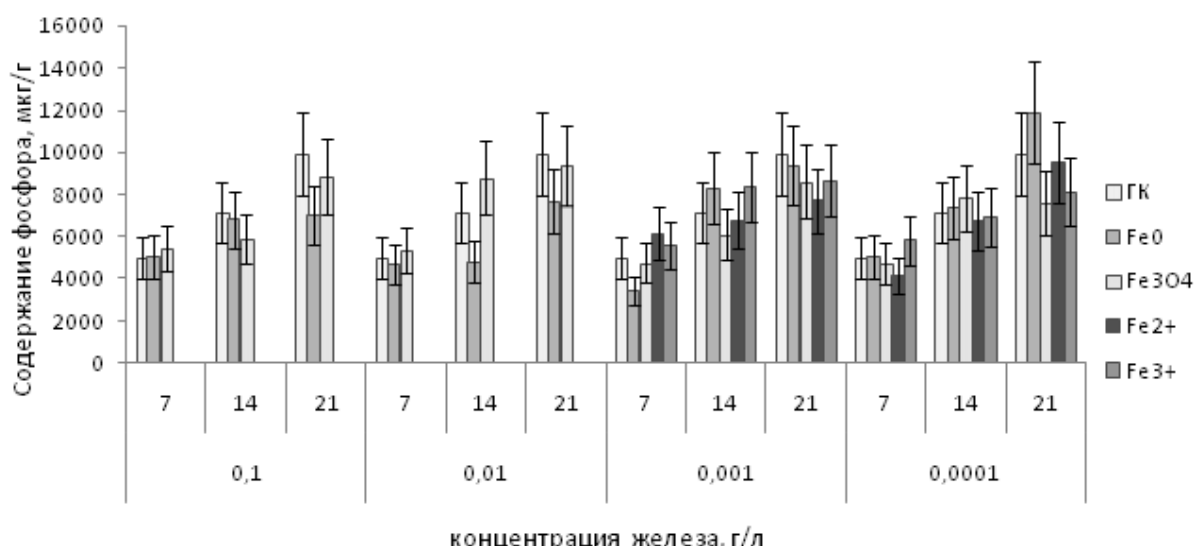


Рисунок 3. Содержание фосфора (мкг/г) в надземной части сухого растения *Triticum vulgare Vill* на 7, 14 и 21 сутки в зависимости от различного количества внесенных форм железа

Выводы

Таким образом, проникновение железа зависит от его концентрации и формы, что и определяет доступ в корневую систему растения. Избыток элементов может возникнуть вследствие антагонистических взаимодействий с железом и в условиях нехватки питательных элементов. Наноформы железа в целом оказывают большее положительное воздействие на растения, чем ионные формы, увеличивая количество калия

и магния в условиях недостатка питательных элементов. Количество фосфора не изменяется под воздействием различных форм железа и остается на уровне контроля.

Растения, выращенные под действием наночастиц железа, будут более устойчивы к неблагоприятным условиям произрастания, накапливая такие необходимые макроэлементы как калий и магний.

19.05.2015

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на проведение научно-исследовательских работ (шифр заявки № 342).

Список литературы:

1. Чурилов Г.И., Сушила 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.
2. Виноградов, Д. Использование нанокристаллического металла железа для предпосевной обработки семян рапса / Д. Виноградов, П. Балабко // Главный агроном. – 2011. – № 2. – С. 31-33.
3. Манская, С.М. Геохимия органического вещества / С.М. Манская, Т.В. Дроздова. – М.: Наука, 1964. – 314 с.
4. Перминова, И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: дисс. ... д-ра хим. наук. – М. 2000. – 359 с.
5. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас : пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. Кудрявцева, Е.А. Влияние различных форм железа на прорастание семян *Triticum aestivum* L. / Е.А. Кудрявцева, Л.В. Анилова, С.Н. Кузьмин, М.В. Шарыгина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 6 (155). – С. 46-48.
7. Влияние высокодисперсных частиц различной природы на ранние стадии онтогенеза растений рапса (*Brassica napus*) / А.А. Гусев, [и др.] // Науковедение. – Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУ-ПИТ) – 2013. – №5. – С.1-17.
8. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 56 с.
9. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л. А. Гришина. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.
10. Ермакова, И.П. Физиология растений / И.П. Ермакова. – М.: АCADEMA, 2005. – С. 408 – 410.
11. Лебедев, С. В. Оценка влияния наночастиц железа FeO, наночастиц магнетита Fe₃O₄ и сульфата железа (II) FeSO₄ на содержание фотосинтетических пигментов *Triticum vulgare* / С. В. Лебедев, А. М. Короткова, Е. А. Осипова // Физиология растений. – 2014. – № 4 (61). – С.600-606. ИФ РИНЦ = 0,657
12. Лебедев, С.В. Оценка влияния гуминовых железосодержащих комплексов на морфометрические показатели растений вида *Triticum vulgare* Vill / Лебедев С.В., Е.А. Осипова, С.Н. Кузьмин, М.В. Шарыгина, И.Р. Кудряев // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук : материалы XVI международной научно-практической конференции 9 октября 2013 г. / Науч.-инф. издат. центр «Институт стратегических исследований», – М.: Спецкнига, 2013. – С. 14-17.
13. Осипова, Е.А. Изменение количества меди в пшенице под действием наночастиц железа с гуминовыми кислотами / Е.А. Осипова, Р.Д. Сивожелезова, О.А. Копылова // Евразийский Союз Ученых. – 2014, – № 9, – С. 61-63.
14. Лебедев, С.В. Изменение количества калия в пшенице *Triticum vulgare* Vill под действием различных форм железа с гуминовыми кислотами / С.В. Лебедев, Е.А. Осипова, С.А. Женева, Е.А. Аркушенко // Евразийский Союз Ученых – 2014, – Ч. 3, – С. 70-72.
15. Серегина И. И. Возможность применения регуляторов роста для снижения негативного действия кадмия на рост, развитие и продуктивность яровой пшеницы / И.И. Серегина // Агрохимия. – 2004. – №1. – С. 71-74.
16. Пахомова В.М., Бунтукова Е.К., Фомина Н.М., 2010. Фотосинтетическая деятельность и урожайность яровой пшеницы сорта Мис при некорневой обработке хелатным Fe-содержащим микроудобрением // Вестник Казанского гос. Аграрного университета. Том. 16. №2. С. 146-152.

Сведения об авторах:

Лебедев Святослав Валерьевич, заведующий лабораторией сельскохозяйственной биоэлементологии
Института биоэлементологии Оренбургского государственного университета, доктор биологических наук,
e-mail: lsv74@list.ru

Осипова Елена Александровна, старший преподаватель кафедры химии
Оренбургского государственного университета,
e-mail: kudryavceva.elen@mail.ru

Сальникова Елена Владимировна, заведующий кафедрой химии Оренбургского государственного
университета, кандидат химических наук, доцент,
e-mail: salnikova_ev@mail.ru

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13.