

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ Fe₃O₄ НА ОНТОГЕНЕЗ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КУКУРУЗЫ САХАРНОЙ (ZEA MAYS L.)

INFLUENCE OF Fe₃O₄ NANOPARTICLES ON THE ONTOGENESIS AND MORPHOMETRIC PARAMETERS OF ZEA MAYS L

V. Kornienko
O. Kolchenko
A. Yaitsky

Summary. The paper studies the influence of magnetite nanoparticles stabilized with albumin on the ontogenesis and morphometric parameters of *Zea mays* L. As a result of the experiments, the concentration of nanoparticles was detected, which has a stimulating effect on the growth energy and entry of *Zea mays* L. seeds. It was found that when exposed to magnetite nanoparticles with a concentration of 2,4 mg/ml, the energy of seed germination increased by 36%, germination increased by 64%, the length of seedlings increased by 24%, and the root length increased by 78%. Under the influence of vibration (10 Hz frequency) in the experimental group with a concentration of 2,4 mg/ml nanoparticles, the root length increased by 25%, the root diameter decreased by 14%, the stem length decreased by 2%, and the stem diameter decreased by 1%. In the group with a concentration of 1,6 mg/ml, the stem diameter increased by 8%. It was reliably established ($p < 0,05$) that the highest indicators of germination energy and germination of *Zea mays* L. were observed in the group with a concentration of magnetite nanoparticles of 2,4 mg/ml. It is recommended to use magnetite nanoparticles with a concentration of 2,4 mg/ml without vibration as a growth stimulant for *Zea mays* L.

Keywords: *Zea mays* L.; nanoparticles; vibration; ontogenesis; morphometric parameters; agriculture; germination energy; germination.

Корниенко Владимир Олегович

Старший преподаватель, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
kornienkovo@mail.ru

Кольченко Ольга Руслановна

Аспирант, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
daniaua411@gmail.com

Яицкий Андрей Степанович

Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Самарский государственный социально-педагогический университет»
yaitsky@pgsga.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния наночастиц магнетита (Fe₃O₄), стабилизированных альбумином, на онтогенез и морфометрические показатели кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). В результате проведенных экспериментов была определена концентрация наночастиц, оказывающая стимулирующее влияние на энергию роста и всхожесть семян кукурузы сахарной. Установлено, что при воздействии наночастиц магнетита с концентрацией 2,4 мг/мл, повысилась энергия прорастания семян на 36%, всхожесть — на 64%, увеличилась длина проростков на 24%, длина корня на 78%. Под влиянием вибрации (частотой 10 Гц) в экспериментальной группе с концентрацией наночастиц 2,4 мг/мл длина корней увеличилась на 25%, диаметр корня уменьшился на 14%, длина стебля уменьшилась на 2%, его диаметр — на 1%. В группе с концентрацией 1,6 мг/мл диаметр стебля увеличился на 8%. Достоверно установлено ($p < 0,05$), что наиболее высокие показатели энергии прорастания и всхожести кукурузы сахарной наблюдались в группе с концентрацией 2,4 мг/мл. Рекомендовано использование наночастиц Fe₃O₄ с концентрацией 2,4 мг/мл без воздействия вибрации в качестве стимулятора роста *Zea mays* L.

Ключевые слова: *Zea mays* L.; наночастицы; вибрация; онтогенез; морфометрические параметры; сельское хозяйство; энергия прорастания; всхожесть.

Введение

XX века человечество активно стало применять наноматериалы и наночастицы (НЧ) в различных отраслях сельского хозяйства. Наиболее перспективными в своем применении являются наноматериалы из наночастиц железа и его оксидов в связи с их уникальными свойствами и предполагаемой малой токсичностью для живых организмов. Использование на-

нано частиц открывает новые возможности для человека, но, с другой стороны, в силу своей малой изученности, представляют потенциальный риск для здоровья человека и окружающей среды и требуют дополнительных исследований [1]. Наночастицы обладают высокой адсорбционной ёмкостью, химической реакционной способностью и каталитической активностью [2]. Таким образом, наноматериалы используют в различных отраслях: промышленности, медицине и биологии, для монито-

ринга качества окружающей среды, для биоремедиации почв и очистки сточных вод, для интенсификации сельского хозяйства [3].

Исследований, посвящённых использованию наночастиц в сельском хозяйстве, достаточно мало, по сравнению с исследованиями в биомедицинской отрасли. Однако известно, что наночастицы могут использоваться для прорастания семян, развития побегов и корней, повышения фотосинтетической активности, и для решения других сельскохозяйственных проблем. Так, предпосевная обработка семян кукурузы ультрадисперсным порошком железа повышала урожайность и способствовала снижению загрязнения зёрен кадмием и свинцом [4]. Данное явление объясняется более эффективной доставкой микроэлементов в ткани самого растения. При внесении микроэлементов в виде солей и хелатов используется лишь малая их часть. Доставка ионов через мембраны лимитируется количеством специализированных транспортных белков. Многие наночастицы из-за своих малых размеров не нуждаются в ионно-транспортном механизме и могут более эффективно доставлять микроэлементы в ткани и клетки растительного организма [3].

Наибольший интерес среди известных видов наночастиц представляет магнетит (Fe_3O_4). Кристаллическая решетка магнетита содержит атомы железа с разной валентностью — Fe(II) и Fe(III) [5]. Магнетит при комнатной температуре — ферримагнетик, но при размере частиц <30 нм он теряет постоянную намагниченность и проявляет суперпарамагнитные свойства, намагничиваясь только в магнитном поле, подобно парамагнетикам. Наночастицы оксидов железа менее токсичны, по сравнению с наночастицами кобальта и никеля. Они биосовместимы, довольно стабильны физически и химически, недороги в производстве, и их поведение легко контролировать магнитометрией. Поэтому данный тип наночастиц представляет наибольший интерес для применения в сельском хозяйстве. Однако, без специального покрытия наночастицы образуют устойчивые агрегаты, что негативно влияет на их магнитные свойства [6].

Механизмы и последствия трансформации и накопления наночастиц растениями пока мало изучены, так как результаты экспериментов достаточно противоречивы и зависят от множества факторов [7]. К таким факторам можно отнести как свойства наночастиц оксида железа, так и ростовой субстрат и видовую принадлежность растений [8]. Обладая высокой адгезией к корням, наночастицы могут оказывать физическое и химическое токсическое действие на растение. Оставаясь на поверхности эпидермиса и внедряясь в клетки корня, частицы могут закупоривать поры и ионные каналы, а потом модулировать поступление воды и минеральных ве-

ществ в растения. Малый размер наночастиц позволяет им проникать даже через сосудистую ткань и распространяться на побег, перемещаясь через плазмодесмы [9]. Наночастицы также способны транспортироваться по апопласту и хелатироваться [10].

Большой интерес представляет также не одностороннее действие наночастиц на растительный организм, а в комбинации с другими физическими или химическими факторами. Одним из распространенных физических факторов, влияющих на сельскохозяйственные растения, является вибрация. Вдоль загруженных автомагистралей она, посредством почвы, передаётся на довольно большие расстояния и влияет на рост и развитие сельскохозяйственных культур [11]. В процессе эволюции, растения выработали механизмы адаптации к воздействию стресса (механических стимулов, вибрации) [9; 12]. Процессы, лежащие в основе морфологических ответов растения на действие вибрации, остаются малоисследованными [13]. По результатам исследований [3], было выявлено, что, под влиянием механических колебаний на частотах 10–40 Гц, у кукурузы достоверно снижается длина стебля и корней. Незначительный стимулирующий эффект наблюдался на частоте 50 Гц [14].

Таким образом, актуальным является изучение как действия наночастиц в отдельности на растительный организм, так и в комбинации с другими факторами, которые способны снижать или повышать продуктивность и морфологические показатели сельскохозяйственных культур.

Материал и методы исследования

Для исследования использовались семена кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). Семена закладывались в ростовую камеру. В контрольных вариантах семенной материал замачивали в дистиллированной воде, экспериментальные группы обрабатывались суспензией НЧ металлов разных концентраций. После инкубации семян суспензию НЧ металлов сливали. Экспозиция составляла 2 часа. После чего семена помещались в чашки Петри по 50 семян на чашку, при этом подложкой для семян служила влажная фильтровальная бумага. Семена проращивали при температуре $+20$ °С. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли в сроки, указанные в ГОСТ 12038–84: на 3-е сутки (энергия прорастания) и 7-е сутки (всхожесть). Все эксперименты выполнялись не менее чем в трех повторностях и обрабатывались методами вариационной статистики с использованием пакета компьютерных программ «Statistica».

Для выполнения нашего исследования синтезировались магнитные наночастицы магнетита $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ALB}$ (частицы, стабилизированные альбуминовым покрытием).

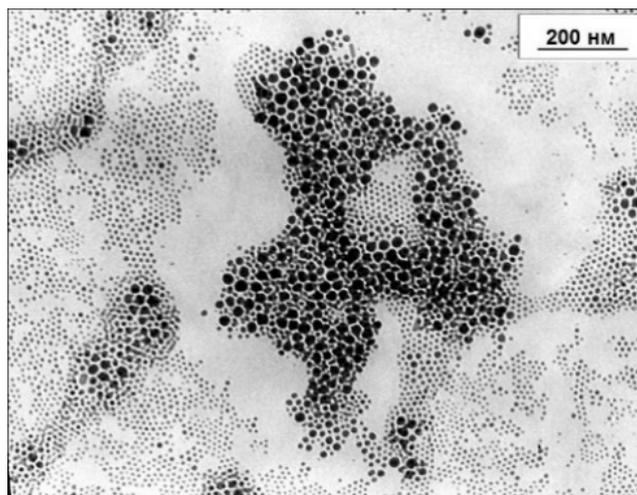


Рис. 1. Микрофотография наночастиц, стабилизированных альбуминовым покрытием

Синтез магнитных наночастиц осуществляли по аналогии с методикой, описанной в публикации [15]. Анализ образцов синтезированных наночастиц проводили с использованием электронной микроскопии.

Электронные микрофотографии магнитных наночастиц получали с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM 200A (рис. 1). Режим работы: ускоряющее напряжение 200 кВ, ток пучка 100 мкА, размер апертурной диафрагмы в режиме электронной дифракции — 0,1 мм. Пробирка с коллоидом магнитных наночастиц помещалась в ультразвуковой стакан (излучатель) с дистиллированной водой на 10 минут с удельной мощностью излучателя 50 Вт/см² и частотой излучения 35 кГц. Далее наносили на ультразвуковой излучатель с плоским наконечником и распыляли на тонкую углеродную пленку толщиной 10–20 нм, размещенную на специальной медной сеточке для просвечивающей электронной микроскопии.

Анализ электронных микрофотографий для определения линейных размеров магнитных наночастиц был выполнен с использованием инструментов программ AxioVision Rel. 4.8.

Концентрации НЧ Fe₃O₄ (СНЧ) составляли 0,8 мг/мл, 1,2 мг/мл, 1,6 мг/мл, 2,4 мг/мл.

Образцы кукурузы (зерновки) проращивались в ростовых камерах при соблюдении одинаковых освещённости, температуры, полива. Для предотвращения комбинированного действия химических веществ и вибрации, полив всех образцов кукурузы сахарной (зерновки) осуществлялся только дистиллированной водой 1 раз в сутки.

Закладка образцов (зерновок) и действие фактора происходили одновременно, т.е. воздействие техногенной вибрации моделировали с ранних стадий онтогенеза *Zea mays* L., исключая возможность набухания семени и дальнейшего его прорастания без воздействия механического стимула. Контрольные образцы были удалены от виброустановки и полива. Каждая серия в эксперименте и контроле имела выборку 50 шт.

Проращивание осуществлялось в течение 7 дней. На 3-й день проводили оценку энергии прорастания, на 7-й день оценивали морфометрические показатели и онтогенез.

В ходе эксперимента было сформировано 9 экспериментальных групп растений:

- ◆ I — контрольная — без обработки семян наночастицами и вибрацией;
- ◆ II — обработка семян наночастицами с концентрацией (СНЧ) 0,8 мг/мл;
- ◆ III — обработка семян наночастицами с СНЧ = 1,6 мг/мл;
- ◆ IV — обработка семян наночастицами с СНЧ = 2,4 мг/мл;
- ◆ V — обработка семян наночастицами с СНЧ = 1,2 мг/мл;
- ◆ VI — обработка семян наночастицами с СНЧ = 1,2 мг/мл и воздействие на них вибрацией с частотой *f*вibr. = 10 Гц;
- ◆ VII — обработка семян наночастицами с СНЧ = 2,4 мг/мл и воздействие на них вибрацией с *f*вibr. = 10 Гц;
- ◆ VIII — обработка семян наночастицами с СНЧ = 1,6 мг/мл и воздействие на них вибрацией с *f*вibr. = 10 Гц;

Таблица 1. Онтогенетические изменения образцов *Zea mays* L. на 3-е сутки эксперимента (энергия роста)

Группы	Фазы роста		
	не проросшие	набухшие	колеоптиль
I	20%	24%	56%
II	30%	30%	40%
III	38%	62%	–
IV	–	36%	64%
V	34%	54%	12%
VI	34%	50%	16%
VII	–	32%	68%
VIII	–	64%	36%
IX	20%	80%	–

Таблица 2. Онтогенетические изменения образцов *Zea mays* L. на 7-е сутки

Группа	Фазы развития			
	набухшие	колеоптиль	1 лист	2 листа
I	14%	12%	66%	8%
II	–	24%	58%	18%
III	8%	30%	50%	12%
IV	–	20%	38%	42%
V	30%	36%	16%	18%
VI	18%	68%	14%	–
VII	–	44%	42%	14%
VIII	–	68%	20%	12%
IX	–	70%	20%	10%

- ♦ IX — обработка семян наночастицами с $СНЧ = 0,8$ мг/мл и воздействие на них вибрацией с $f_{вибр.} = 10$ Гц.

Вибрация частотой $f_{вибр.} = 10$ Гц выбрана в связи с преобладанием низкочастотной вибрации в техногенно-загруженном регионе г. Донецка (автотранспорт, железнодорожный транспорт, промышленные предприятия).

После проведения экспериментальной части были выполнены измерения длины, диаметра стебля и корневой контрольной и опытных групп штангенциркулем ШЦ-1 0–125 (0,05).

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние исследуемых факторов на онтогенетические показатели Zea mays L. Энергия прорастания семян кукурузы возрастает после обработки семян НЧ разных концентраций, по сравнению с контролем. Однако после проведенного эксперимента эффективность воздействия отмечена не у всех групп. Не все обработан-

ные семена кукурузы дали хорошую всхожесть, а некоторые совсем не дали ростков. Причиной этого послужили неблагоприятные условия (плохое освещение, низкая температура). Данные приведены в табл. 1.

Из полученных данных на 3-е сутки видно, что лучше всего проросли семена групп IV и VII. Данные группы находились в одной концентрации наночастиц железа ($СНЧ = 2,4$ мг/мл), но VII группа дополнительно подвергалась вибрации ($f_{вибр.} = 10$ Гц). Количество проросших семян в группе VII превышает соответствующий показатель как группы без влияния вибраций, так и контрольной группы. Таким образом, данная концентрация повлияла на прорастание кукурузы положительно. На основе полученных данных построена гистограмма (рис. 2) онтогенетического изменения образцов *Zea mays* L.

Как видно из рис. 2, наибольшее количество набухших семян — в IX группе ($СНЧ = 0,8$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц), наименьшее — в I группе (контрольной). Наибольшее количество непроросших семян кукурузы сахарной отмечено в III группе ($СНЧ = 1,6$ мг/мл), а наименьшее — в I группе и в IX группе ($СНЧ = 0,8$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц), и в группах IV, VII и VIII, где непроросших семян не наблюдалось. Ста-

Таблица 3. Значения средней длины и диаметра для стеблей и корней исследуемых групп *Zea mays* L.

Группа	Стебель		Корень	
	<i>l</i> , см	<i>d</i> , мм	<i>l</i> , см	<i>d</i> , мм
I	5,60 ± 2,30	2,40 ± 0,70	4,40 ± 0,53	1,20 ± 0,19
II	4,90 ± 2,90	2,20 ± 0,90	4,47 ± 1,54	0,95 ± 0,27
III	2,94 ± 1,42	2,08 ± 0,75	3,00 ± 0,40	0,84 ± 0,20
IV	6,90 ± 2,01	2,40 ± 0,44	7,80 ± 3,13	1,10 ± 0,11
V	2,98 ± 2,50	1,57 ± 1,00	1,90 ± 1,20	0,52 ± 0,30
VI	4,27 ± 2,81	2,14 ± 0,54	3,41 ± 0,71	1,24 ± 0,16
VII	5,47 ± 1,30	2,36 ± 0,30	5,47 ± 1,63	1,03 ± 0,08
VIII	4,84 ± 3,00	2,59 ± 1,52	4,29 ± 2,32	0,73 ± 0,46
IX	1,45 ± 1,40	1,64 ± 1,10	1,62 ± 1,51	0,52 ± 0,30

Таблица 4. Относительные значения средней длины и диаметра стебля и корня исследуемых групп *Zea mays* L.

Группа	Стебель		Корень	
	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
I	1,00	1,00	1,00	1,00
II	0,88	0,92	1,02	0,80
III	0,53	0,87	0,69	0,70
IV	1,24	1,00	1,78	0,92
V	0,54	0,63	0,44	0,44
VI	0,77	0,90	0,78	1,04
VII	0,98	0,99	1,25	0,86
VIII	0,87	1,08	0,98	0,61
IX	0,26	0,69	0,37	0,44

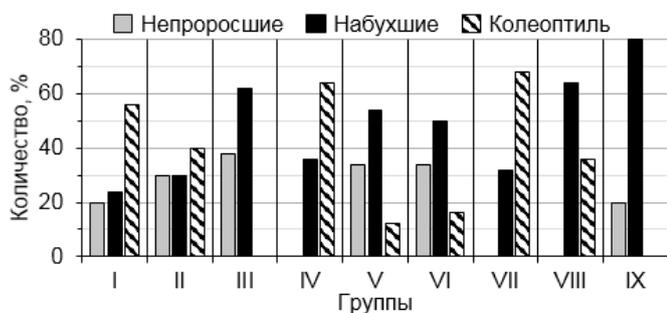


Рис. 2. Онтогенетические изменения образцов *Zea mays* L. на 3-е сутки

для coleoptile преобладает в IV ($CHЧ = 2,4$ мг/мл) и в VII ($CHЧ = 2,4$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц) группах.

Стимулирующее действие НЧ наблюдается у IV и VII групп, т.к. их показатель прорастания превышает контрольную группу. Остальные группы являются ингибиторными: их показатели меньше контрольной.

На 7-е сутки были сняты показания фаз развития. Все данные занесены в табл. 2.

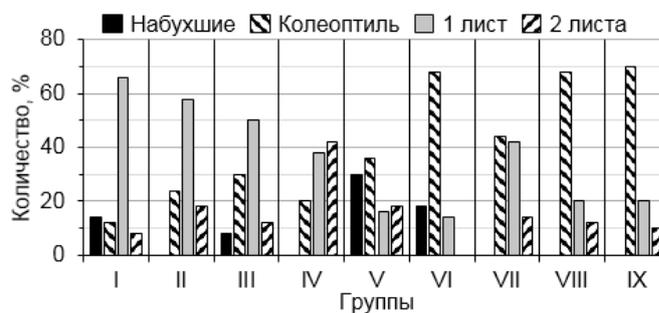


Рис. 3. Онтогенетические изменения образцов *Zea mays* L. на 7-е сутки

По данным таблицы построена диаграмма, показывающая, какую степень всхожести имеет кукуруза на седьмые сутки (рис. 3).

По рис. 3 видно, что наибольшее количество семян находятся в стадии coleoptile в IX группе (70%), наименьшее — в контрольной группе (12%). Группа, у которой преобладают два листа, — IV (42%), а наименьшее значение наблюдается у контрольной группы I и у группы VI, где второй лист отсутствовал. Опытные образцы,

у которых преобладает один лист,— контрольная группа I (66%), а наименьшее значение отмечается в VI группе (14%). Можно сделать вывод, что наилучшими показателями обладает IV группа ($C_{НЧ} = 2,4$ мг/мл).

Влияние исследуемых факторов на морфометрические показатели Zea mays L. В ходе исследования было изучено влияние вибрации и наночастиц магнетита различных концентраций на морфометрические параметры *Zea mays L.*: длину и диаметр вегетативных органов — стебля и корня. Основные результаты занесены в табл. 3.

Так как эксперименты проводились в течение длительного времени, для удобства сравнения результаты, полученные в группах II–IX, относили к результатам контрольной группы:

$d = d$ среднее опыт / d среднее контроль;

$l = l$ среднее опыт / l среднее контроль.

Влияние механических колебаний на длину стебля и корней кукурузы оказалось незначительным. Так, статистически значимое увеличение средних длин стебля кукурузы происходило в IV группе ($C_{НЧ} = 2,4$ мг/мл), корня также в IV группе ($C_{НЧ} = 2,4$ мг/мл), II группе ($C_{НЧ} = 0,8$ мг/мл), VII группе ($C_{НЧ} = 2,4$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц) и в VIII группе ($C_{НЧ} = 1,6$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц). Влияние вибрации на растения в меньшей степени отразилось на значениях среднего диаметра корней.

Как видно из табл. 4, увеличение длины стебля, в сравнении с контрольной группой, происходит в IV опытной группе ($C_{НЧ} = 2,4$ мг/мл), а диаметра — в VIII группе ($C_{НЧ} = 1,6$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц). Остальные группы имеют значения меньше контрольной группы, а это зна-

чит, что факторы, влияющие на них, оказывают ингибиторное воздействие.

Длина корня, в сравнении с контрольной группой, возросла во II группе ($C_{НЧ} = 0,8$ мг/мл), IV ($C_{НЧ} = 2,4$ мг/мл) и VII ($C_{НЧ} = 2,4$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц). Диаметр корня увеличился лишь в VI группе ($C_{НЧ} = 1,2$ мг/мл; $f_{вибр.} = 10$ Гц).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании НЧ железа концентрации 2,4 мг/мл, повысилась энергия прорастания семян кукурузы сахарной на 36%, всхожесть — на 64%, увеличилась длина проростков на 24%, длина корня на 78%. Ингибирующий эффект спровоцировали концентрации наночастиц 1,2 мг/мл (d стебля меньше относительно контрольной группы на 37%, l стебля — 46%, l корня — 56%, d корня — 56%) и 1,6 мг/мл (d стебля меньше на 13%, l стебля — 47%, l корня — 31%, d корня — 30%).

Установлено, что под влиянием вибрации (частота 10 Гц) в группе с концентрацией наночастиц магнетита 2,4 мг/мл, относительно контрольной группы, увеличилась длина корней на 25%, диаметр корня уменьшился на 14%, длина стебля уменьшилась на 2%, так же, как и его диаметр — на 1%. В экспериментальной группе с концентрацией 1,6 мг/мл увеличился диаметр стебля на 8%.

Достоверно установлено ($p < 0,05$), что высокие показатели прорастания и всхожести кукурузы сахарной наблюдались в группе с концентрацией 2,4 мг/мл. Таким образом, может служить рекомендацией возможность использования наночастиц железа с концентрацией 2,4 мг/мл без воздействия вибрации в качестве стимулятора роста *Zea mays L.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 31.10.2007 № 79 «Об утверждении Концепции токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов».
2. Мазуренко В. В., Руденко А. Н., Мазуренко В. Г. Наночастицы, наноматериалы, нанотехнологии: уч. пособие. Екатеринбург, 2009. 83 с.
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 // Агрехимия. 2017. № 11. С. 74–96.
4. Еськов Е. К., Еськова М. Д., Чурилов Г. И. Способ повышения экологической безопасности семенного урожая в техногеннозагрязненных агроценозах: Пат. 2463758, РФ, А 01 С1/00. 2012.
5. Hasany S.F, Ahmed I., Rajan J., Rehman A. Systematic review of the preparation techniques of iron oxide magnetic nanoparticles // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2012. Vol. 2. P. 148–158.
6. Wu W., Wu Z., Yu T., Jiang C., Kim W.-S. Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications // Science and Technology of Advanced Materials. 2015. Vol. 16. P. 1–43. DOI: 10.1088/1468-6996/16/2/023501.
7. Deng Y., White J. C., Xing B. Interactions between engineered nanomaterials and agricultural crops: implications for food safety // Journal of Zhejiang University Science A (Applied Physics & Engineering). 2014. Vol. 15. P. 552–572. DOI: 10.1631/jzus.A1400165.
8. Pardha-Saradhi P., Yamal G., Peddisetty T., Sharmila P., Singh J., Nagarajan R. Plants fabricate Fe-nanocomplexes at root surface to counter and phytostabilize excess ionic Fe // BioMetals. 2014. Vol. 27. P. 97–114. DOI: 10.1007/s10534-013-9690-7.

9. Khot L. R., Sankaran S., Maja J. M., Ehsani R., Schuster E. W. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review // *Crop Protection*. 2012. Vol. 35. P. 64–70. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.01.007.
10. Ghafarian M. H., Malakouti M. J., Dadpour M. R., Stroeve P., Mahmoudi M. Effects of magnetite nanoparticles on soybean chlorophyll // *Environmental Science and Technology*. 2013. Vol. 47(18). P. 10645–10652. DOI: 10.1021/es402249b.
11. Braam J. In touch: plant responses to mechanical stimuli // *New Phytologist*. 2005. Vol. 165, is. 2. P. 373–389. DOI: 10.1111/j.1469–8137.2004.01263.x.
12. Капшуков Р. А., Ткаченко Д. С., Симонова Е. О. Магнитные и электронно-микроскопические исследования магнитных наночастиц Fe₃O₄ с альбуминовым покрытием // *Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: мат-лы IV междунар. науч. конф. Т. 2. Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. С. 171–174.*
13. Lee D., Polisensky D. H., Braam J. Genome-wide identification of touch- and darkness-regulated Arabidopsis genes: a focus on calmodulin-like and XTH genes // *New Phytologist*. 2005. Vol. 165, is. 2. P. 429–444. DOI: 10.1111/j.1469–8137.2004.01238.x.
14. Chehab E. W., Yao C., Henderson Z., Kim S., Braam J. Arabidopsis touch-induced morphogenesis is jasmonate mediated and protects against pests // *Current Biology*. 2012. Vol. 22, is. 8. P. 701–706.
15. Корниенко В. О., Тарабарова А. Г. Влияние вибрации частотой 10–50 Гц на ростовые показатели кукурузы сахарной (*Zea mays* L.) // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2017. № 1. С. 108–115.
16. Ткаченко Д. С., Легенький Ю. А. Модифицированная методика синтеза наночастиц с альбумином для магнитной модификации живых клеток // *Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: мат-лы IV междунар. науч. конф. Т. 2. Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. С. 184–186.*

© Корниенко Владимир Олегович (kornienkovo@mail.ru),

Кольченко Ольга Руслановна (daniua411@gmail.com), Яицкий Андрей Степанович (yaitsky@pgsga.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Самара