

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ НАНОПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА, КОБАЛЬТА И ИХ СМЕСИ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОДСОЛНЕЧНИКА «ДОНСКОЙ-22»

А. А. Назарова

Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева, 390042, г. Рязань, ул. Энгельса, д. 2/4, кв. 15

E-mail: Nanocentr-APK@yandex.ru

Поступила в редакцию 14 августа 2017 г., принята к печати 26 февраля 2018 г.

В работе представлены результаты исследования влияния нанопрепаратов на основе металлов-микроэлементов в оптимальной концентрации на показатели роста и развития подсолнечника гибрида «Донской-22». Изучалось три препарата: нанопорошок железа (НП Fe), нанопорошок кобальта (НП Co) и смесь нанопорошков железа и кобальта (НП Fe+Co). Размер частиц нанопорошков – 20–40 нм, чистота – 99,98%, суспензии металлов подвергались ультразвуковой обработке. Полевые исследования проводились в 2010–2012 гг. на демонстрационном полигоне ООО «Агротехнология», расположенном в Пронском районе Рязанской области и функционирующем под эгидой Минсельхоза России. Опыт был заложен на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом. Препараты использовались при предпосевной обработке семян, их концентрация составляла 0,1 г на гектарную норму высева. В процессе эксперимента были определены полевая всхожесть, площадь листовой поверхности, высота растений, диаметр корзинок, урожайность, химический состав семян (сухое вещество, зола, протеин, масличность, кислотное число) и жирнокислотный состав масла семян подсолнечника. В конце опыта была проведена сравнительная оценка воздействия нанопорошков железа, кобальта и их смеси. Наилучший результат был достигнут при применении препарата на основе НП Co, который способствовал увеличению площади листовой поверхности на 14,3%, высоты растений – на 6%, диаметра корзинок – на 10,9%, урожайности семян подсолнечника – на 3,4 ц га⁻¹ (или на 19,2%), масличности семян – на 3,4 мг кг⁻¹ (или 9,7%) относительно контроля. Использование препаратов на основе НП железа и смеси Fe+Co оказалось менее результативным, а их влияние на большинство показателей было недостоверным.

Ключевые слова: нанопорошки железа, нанопорошки кобальта, смесь железо + кобальт, подсолнечник, урожайность, химический состав семян, жирнокислотный состав масла.

FEATURES OF THE INFLUENCE OF NANOPOWDERS OF IRON, COBALT AND THEIR MIXTURE ON YIELD AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF SUNFLOWER «DONSKOY 22»

A. A. Nazarova

Ryazan State Agrotechnological University, 2/4 – 15 Engels str., Ryazan, 390042, Russia

E-mail: Nanocentr-APK@yandex.ru

The paper presents the results of a study where the impact of nanopreparations based on metals-trace elements in optimum concentrations for the growth and development of sunflower hybrid «Donskoy 22» was studied. Three nanopreparations were studied: iron nanopowder (NP Fe), cobalt nanopowder (NP Co) and the mixture of the powders (NP Fe+Co). The size of nanopowder particles was 20–40 nm, purity - 99.98%, the metals' suspension was subjected to ultrasonic treatment. Field studies were conducted in 2010–2012 on the demonstration grounds of the Ministry of agriculture of Russia in ООО «Agrotechnology» Pronsky district of the Ryazan region. The experimental site was established on loam leached Chernozems. NPs used in the seed treatment (concentration 0.1 g per hectare). Germination, leaf area, plant height, diameter of sunflower baskets, yield, chemical composition of seeds (dry matter, ash, protein, oil content, acid number) and fatty acid composition of sunflower seed oil were studied during the experiment. At the end of the experiment the comparative evaluation of the three NPs was conducted. The best result was shown by the NP Co which has contributed to the increase in leaf area by 14.3%, plant height by 6%, diameter of the sunflower baskets by 10.9 %, yield of sunflower seeds by 3.4 t ha⁻¹ (or 19.2% compared to the control), seed oil content by 3.4 mg kg⁻¹ (or 9.7% compared to the control). The use of NP Fe or NP Fe+Co had a smaller effect but in most cases was insignificant.

Key words: nanopowders, iron, cobalt, sunflower, yield, chemical composition, fatty acids.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур невозможно осуществить без введения правильных севооборотов, применения удобрений и внедрения лучших сортов культур. Исследования показывают, что на увеличение урожайности и повышение качества продукции существенное влияние оказывают препараты, способные активизировать биохимические и физиологические процессы (Бадина и др., 2006). Известно, что микроэлементы имеют положительное воздействие на характер и интенсивность физиологических и биохимических процессов, происходящих в культурных растениях, и, следовательно, на величину и качество урожая. Наряду с соединениями азота, фосфора, калия и кальция, участвующими в образовании органического вещества, для нормального питания, роста и развития растений необходимы такие микроэлементы, как бор, марганец, молибден, цинк, медь, кобальт и железо. Основная роль микроэлементов сводится к повышению активности ферментов. Они стимулируют процессы обмена веществ, обуславливая более интенсивный рост и развитие растений (Ягодин и др., 1990; Сургучева и др., 1993).

Традиционно в качестве источников микроэлементов (медь, кобальт, молибден, марганец, железо и др.) используются минеральные соли: сульфаты, хлориды, карбонаты, нитраты. Однако данные соединения проявляют свои положительные свойства только при небольших, точно установленных дозах, а их избыток может привести к снижению и даже гибели урожая. В связи с этим остро встает вопрос о необходимости рационального использования удобрений, а также поиска альтернативных источников микроэлементов для получения наиболее высокого агроэкономического эффекта. Такой альтернативой может стать применение микроэлементов-металлов в виде нанодисперсных порошков (Коваленко, Фолманис, 2006).

Активное внедрение наноматериалов в сельское хозяйство обуславливает необходимость определения как наиболее

эффективных нанопрепаратов, так и их возможных сочетаний для включения в технологию производства основных сельскохозяйственных культур (Aslani et al., 2014; Nair, Varghese et al., 2010). Как правило, в исследованиях других авторов при предпосевной обработке использовался только один нанопорошок металла (Федоренко и др., 2015; Юрин, Молчан, 2015).

На базе Центра нанотехнологий и наноматериалов для АПК при Рязанском ГАТУ им. П. А. Костычева на протяжении 20-ти лет проводится изучение влияния биологически активных наноматериалов на физиологические, биохимические и продуктивные показатели основных с/х культур: озимой и яровой пшеницы, овса, ячменя, свеклы, кукурузы, картофеля (Полищук и др., 2013).

Цель проведенных исследований заключалась в сравнительной оценке влияния нанопорошков железа, кобальта и их смеси Fe+Co на показатели роста, развития, продуктивности, химический состав семян и жирнокислотный состав масла гибрида подсолнечника «Донской-22» с учетом его биологических особенностей и конкретных почвенно-климатических условий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2010–2012 гг. на демонстрационном полигоне ООО «Агротехнология», расположенном в Пронском районе Рязанской области. Опыт закладывался на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистого механического состава. Реакция почвенного раствора – $pH_{\text{сол.}}$ 5,8, содержание гумуса – 6,31%, подвижного фосфора – 585 мг kg^{-1} , обменного калия – 191 мг kg^{-1} почвы, мощность пахотного слоя – 30–35 см. Агротехника соответствовала ресурсосберегающей технологии (Лукомец и др., 2008). Предшественником являлась озимая пшеница. Опыт проводился в трехкратной повторности. Посевная площадь делянки составляла 56 м², уборочная – 30 м². Варианты располагались систематически. Опыт однофакторный. Нанопорошки применялись в оптимальной концентрации, определенной в предшествующих исследованиях (Полищук и др., 2013), – 0,1 г

на гектарную норму высева (г.н.в.), составлявшую 4 кг семян подсолнечника. Схема опыта состояла из следующих вариантов:

1. Контроль – семена замачивались в дистиллированной воде на 30 мин.

2. Нанопорошок кобальта (НП Со) – семена замачивались в препарате из расчета действующего вещества 0,1 г на г.н.в.

3. Нанопорошок железа (НП Fe) – 0,1 г на г.н.в.

4. Нанопорошок смеси железа и кобальта (НП Со+Fe) – 0,5 г Со + 0,5 г Fe г на г.н.в.

В опыте использовались произведенные в НИТУ МИСиС нанопорошки металлов и их смесь – мелкодисперсные однородные порошки черного и темно-серого цвета без посторонних включений, чистота – 99,98%, средний размер частиц – 20–40 нм, способ получения – низкотемпературное водородное восстановление соответствующих гидроксидов (Коваленко, Вавилов, Фолманис, патент РФ № 2058223). Суспензию нанопорошков металлов получали по ТУ 931800-001-42720760-96 методом диспергирования препарата в дистиллированной воде в ультразвуковой ванне модели ПСБ-5735-05 в течение 20 минут (ультразвуковая обработка в водной среде).

Закладка опытных делянок, наблюдения и оценки проведены в соответствии с «Методическими рекомендациями по госиспытанию сельскохозяйственных культур». Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений проводились во всех вариантах опыта. Определение площади листьев осуществлялось с помощью метода площадок (или шаблонов). Урожайность зерна определялась посредством сбора и обмолота корзинок с последующим пересчетом на кондиционную влажность и 100%-ю чистоту. Определение химического состава семян и жирнокислотного состава масла проводилось на газовом хроматографе «Кристалл 2000 М» в ФБУ «Рязанский центр стандартизации и метрологии».

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась методом дисперсионного анализа по Доспехову с помощью пакета статистических программ Excel 7.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследований были определены площадь листовой поверхности, высота растений и диаметр корзинок в фазу цветения (табл. 1), урожайность семян подсолнечника (табл. 2), химический состав семян (табл. 3) и жирнокислотный состав масла (табл. 4).

Таблица 1. Показатели роста растений подсолнечника при обработке семян нанопорошками металлов (фаза цветения, 1 декада августа)

№ п/п	Показатели	Площадь листовой поверхности, м ² га ⁻¹	Высота растений, см	Диаметр корзинок, см
1.	Контроль	18136,0 ± 144,3	111,0 ± 1,34	10,9 ± 0,15
2.	НП Со	20741,2 ± 131,4	118,1 ± 2,49	12,2 ± 0,21
3.	НП Fe	19149,1 ± 106,8	113,4 ± 1,05	10,2 ± 0,11
4.	НП Со+Fe	18434,7 ± 205,0	113,3 ± 1,28	10,8 ± 0,16
	НСР ₀₅	729 м ² га ⁻¹	5,5 см	0,8 см

Достоверные отличия от контроля по площади листовой поверхности наблюдались в вариантах с НП Со (+14,3%) и НП Fe (+5,6%). В варианте со смесью металлов различия были незначительными и недостоверными. Высота растений во всех изученных вариантах превышала высоту растений в контроле на 2–6%. Диаметр корзинок был выше по сравнению с контролем только при использовании НП Со (+10,9%). В конце вегетационного периода были определены показатели урожайности подсолнечника на контрольных и опытных делянках (табл. 2).

Таблица 2. Влияние нанопрепаратов на урожайность подсолнечника

№ п/п	Показатели	Урожайность семян, га ⁻¹	Отношение к контролю, %
1.	Контроль	17,7	–
2.	НП Со	21,1	+19,2%
3.	НП Fe	19,3	+9,0%
4.	НП Со+Fe	17,5	–1,1%
НСР ₀₅		0,85 ц га ⁻¹	

Как видно из табл. 2, наилучший результат был достигнут при использовании препарата на основе нанопорошка кобальта – урожайность семян подсолнечника увеличилась на 3,4 ц га⁻¹ (или на 19,2%) относительно контроля. Предпосевная обработка семян подсолнечника нанопорошком железа оказалась менее эффективной – урожайность семян увеличилась на 1,6 ц га⁻¹ (или на 9,0%).

Совершенно противоположные результаты были получены при обработке семян смесью нанопорошков железа и кобальта – урожайность была даже немного ниже контрольной (на 1,1%), при этом разница не являлась достоверной. Это, вероятно, связано с наноразмерным эффектом металлов, проявляющимся в антагонистическом действии наночастиц по отношению друг к другу (Чурилов, 2009),

поскольку известно, что ионы железа и кобальта при взаимодействии с растительными организмами не являются антагонистами (Алексеев, 1987). Существуют сведения, что наночастицы железа и кобальта размером 100 нм, полученные методом высокотемпературной конденсации, не проявляют антагонистического действия по отношению друг к другу (Мирошникова и др., 2012). Металлы, используемые в данном исследовании, получены низкотемпературным водородным восстановлением и имеют размеры 40 нм, что определяет характер их взаимодействия и влияния на урожайность.

После уборки урожая был проведен химический анализ семян подсолнечника (табл. 3).

Таблица 3. Биохимический состав семян подсолнечника

Показатели	Контроль	НП Со	НП Fe	НП Со+Fe
Зола, %	3,62 ± 0,15	3,67 ± 0,12	3,80 ± 0,20	3,58 ± 0,11
Кислотное число, мг КОН г ⁻¹	2,5 ± 0,02	1,9 ± 0,01	2,6 ± 0,05	2,0 ± 0,08
Масличность, мг/кг ⁻¹	35,0 ± 0,4	38,4 ± 0,7	37,5 ± 0,5	35,5 ± 0,3
Протеин, %	13,13 ± 0,2	17,78 ± 0,3	20,00 ± 0,6	14,45 ± 0,4

Химический состав семян подсолнечника отражает характер влияния нанопрепаратов на процессы обмена и накопления биологически активных веществ. Количество золы характеризует обмен макро- и микроэлементов в растительном организме. Наиболее значительное повышение содержания золы наблюдалось в семенах, обработанных препаратом на основе НП железа (на 0,18%). Максимальное повышение содержания протеина по сравнению с контролем также наблюдалось при применении НП железа (на 6,87%). Кислотное число, характеризующие наличие

свободных жирных кислот в семенах, было ниже в варианте с использованием НП кобальта (на 24,0%).

Масличность всех опытных семян превышала соответствующий показатель в контроле. Наилучший результат был достигнут в варианте с применением НП кобальта – повышение на 3,4 мг кг⁻¹ (или 9,7%). Данный показатель является определяющим среди качественных показателей масличных семян, от него во многом зависит стоимость произведенной продукции на сельскохозяйственном рынке.

Таблица 4. **Жирнокислотный состав масла семян гибрида подсолнечника «Донской-22»**

Триглицериды	Контроль, %	НП Fe, %	НП Co, %	НП Co+Fe, %
Миристиновая С (14:0)	0,2 ± 0,016	0,2 ± 0,011	0,1 ± 0,014	0,1 ± 0,010
Пальмитиновая С (16:0)	7,5 ± 0,2	7,0 ± 0,4	8,8 ± 0,3	6,8 ± 0,5
Пальметинолеиновая С (16:1)	0,2 ± 0,021	0,3 ± 0,019	0,4 ± 0,015	0,2 ± 0,017
Стеариновая С (18:0)	3,9 ± 0,09	3,6 ± 0,07	4,6 ± 0,05	3,1 ± 0,03
Олеиновая С (18:1)	28,6 ± 0,6	31,9 ± 0,8	31,7 ± 0,7	31,5 ± 0,5
Линолевая С (18:2)	57,4 ± 0,9	55,2 ± 1,0	52,9 ± 0,8	57,1 ± 1,1
Линоленовая С (18:3)	0,2 ± 0,011	0,3 ± 0,014	0,2 ± 0,009	<0,1
Арахидиновая С (20:0)	0,6 ± 0,024	0,4 ± 0,031	0,4 ± 0,027	0,4 ± 0,022
Гондоиновая С (20:1)	0,3 ± 0,012	0,2 ± 0,011	0,2 ± 0,008	0,2 ± 0,009
Бегоновая С (22:0)	0,9 ± 0,017	0,8 ± 0,021	0,7 ± 0,019	0,6 ± 0,020
Лигнодериновая С (24:0)	0,2 ± 0,006	–	–	<0,1

В жирнокислотном составе масла, полученного из опытных семян подсолнечника, наблюдаются достоверные различия по вариантам эксперимента. Так, использование НП железа и НП Co+Fe способствовало синтезу и накоплению олеиновой кислоты, применение НП кобальта – пальмитиновой, стеариновой и олеиновой кислот. Также наблюдалось снижение уровня некоторых кислот: в варианте с НП железа – пальмитиновой и линолевой, с НП кобальта – линолевой, с НП Co+Fe – пальмитиновой, линолевой, стеариновой и бегоновой.

ВЫВОДЫ

1. Результаты опыта показали, что нанопорошки металлов стимулируют физиологические процессы в растениях подсолнечника, способствуя активизации их роста, развития и обмена веществ. Это, в свою очередь, приводит к увеличению урожайности и повышению качества сельскохозяйственной продукции.

2. Наилучший результат был достигнут при использовании препарата на основе нанопорошка кобальта, что позволяет рекомендовать его в качестве микроудобрения и стимулятора роста при выращивании подсолнечника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. Ленингр. Отделение, 1987. 142 с.
- Бадина Л.Е., Симбирских Е.С., Палфитов В.Ф. Химические регуляторы роста и развития растений. Мичуринск: Изд-во МичГАУ, 2006. 120 с.
- Коваленко Л. В., Фолманис Г. Э. Биологически активные нанопорошки железа. М.: Наука, 2006. 124 с.
- Коваленко Л. В., Вавилов Н. С., Фолманис Г. Э. Способ получения железного порошка и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2058223.
- Лукомец В. М., Бочкарев Н. И., Тишков Н. М. Перспективная ресурсосберегающая технология производства подсолнечника. Методические рекомендации. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 56 с.
- Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Глущенко Н. Н., Василевская С. П. Обмен химических элементов в организме карпа при использовании наночастиц кобальта и железа в корме // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 6. С. 170–175.
- Полищук С. Д., Назарова А. А., Куцкир М. В. Урожайность и биохимический состав подсолнечника при обработке семян наночастицами меди // Вестник РГАТУ. 2013. № 2(18). С. 104–106.
- Полищук С. Д., Назарова А. А., Куцкир М. В., Чурилов Д. Г., Чурилов Г. И., Иванычева Ю. Н. Применение нанопорошков в качестве микроудобрений для масличных культур // Нанотехника. 2013. № 3(35). С. 67–75.
- Сургучева М. П., Киреева Л. Ю., Благовещенская З. К. Комплексоны и комплексонаты микроэлементов и их применение в земледелии: обзорная информация. М.: ВНИИТЭИагропром, 1993. 44 с.

- Чурилов Г. И. Влияние нанопорошков железа, меди, кобальта в системе «почва – растение» // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 12. С. 148.
- Федоренко В. Ф., Букагин Д. С., Голубев И. Г., Неменушая Л. А. Обзор российских нанопрепаратов для обработки сельскохозяйственных культур // Российские нанотехнологии. 2015. Т. 10. № 3–4. С. 126–131.
- Юрин В. М., Молчан О. В. Наноматериалы и растения: взгляд на проблему (обзор) // Труды БГУ. 2015. Т. 10. Ч. 1. С. 9–21.
- Ягодин Б. А., Торшин С. П., Удельнова Т. М. Значение микроэлементов в системе рационального природопользования // Биологические науки. 1990. № 9. С. 7–26.
- Aslani F., Bagheri S., Julkapli N. M., Juraimi A. Sh., Hashemi F. S. G., Bughdadi A. Effects of engineered nanomaterials on plants growth: an overview // *The Scientific World Journal*, 2014. 28 p.
- Nair R., Varghese S. H., Nair B. G., Maekawa T., Yoshida Y., Kumar D. S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants // *Plant Science*, v. 179, pp. 154–163.

REFERENCES

- Alekseev Iu. V. *Tyazhelyje metally v pochvakh i rastenijakh* [Heavy metals in soils and plants]. Leningrad: Agropromizdat. Leningr. otdelenije, 1987. 142 p.
- Badina L. E., Simbirskikh E. S., Palfitov V. F. *Khimicheskiye regulatory rosta i razvitiya rastenij* [Chemical regulators of growth and development of plants]. Michurinsk: Publishing house MichGAU, 2006. 120 p.
- Kovalenko L. V., Folmanis G. E. *Biologicheski aktivnyje nanoporoshki zheleza* [Biologically active nanopowders of iron]. Moscow: Nauka, 2006. 124 p.
- Kovalenko L. V., Vavilov N. S., Folmanis G. E. *Sposob poluchenija zhelezного poroshka i ustrojstvo dlya jego osushchestvlenija* [Way of receiving iron powder and device for his implementation]. *Patent RF № 2058223*.
- Lukomets V. M., Bochkarev N. I., Tishkov N. M. *Perspektivnaja resursoberegajushchaja tekhnologija proizvodstva podsolnechnika. Metodicheskiye rekomendatsii* [Perspective resource-saving production technology of sunflower. Methodical recommendations]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. 56 p.
- Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Glushchenko N. N., Vasilevskaia S. P. Obmen khimicheskikh elementov v organizme karpa pri ispol'zovanii nanochastits kobal'ta i zheleza v korme [Exchange of chemical elements in an organism of a carp when using nanoparticles of cobalt and iron in a stern] // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 6, pp. 170–175.
- Polishchuk S.D., Nazarova A.A., Kutskir M.V. Urozhajnost' i biokhimicheskij sostav podsolnechnika pri obrabotke semyan nanochastitsami medi [Productivity and biochemical structure of sunflower when processing seeds with copper nanoparticles] // *Vestnik RGATU*, 2013, no. 2 (18), pp. 104–106.
- Polishchuk S. D., Nazarova A. A., Kutskir M. V., Churilov D. G., Churilov G. I., Ivanycheva Iu. N. Primenenije nanoporoshkov v kachestve mikroudobrenij dlya maslichnykh kul'tur [Use of nanopowders as microfertilizers for oil-bearing crops] // *Nanotekhnika*. 2013, no. 3(35), pp. 67–75.
- Surgucheva M. P., Kireeva L. Iu., Blagoveshchenskaia Z. K. *Kompleksy i kompleksony mikroelementov i ikh primeneniye v zemledelii: obzornaja informatsija* [Complexes and kompleksonata of minerals and their application in agriculture: survey information] // Moscow: VNIITELagroprom, 1993. 44 p.
- Churilov G. I. Vlijaniye nanoporoshkov zheleza, medi, kobal'ta v sisteme pochva – rasteniye [Influence of nanopowders of iron, copper, cobalt in the soil–plant system] // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 12, p. 148.
- Fedorenko V. F., Buklagin D. S., Golubev I. G., Nemenushchaia L. A. Obzor rossijskikh nanopreparatov dlya obrabotki sel'skokhoziajstvennykh kul'tur [The review of the Russian nanomedicines for processing of crops] // *Rossiiskije nanotekhnologii*, 2015, v. 10, no. 3–4, pp. 126–131.
- Iurin V.M., Molchan O.V. Nanomaterialy i rasteniya: vzglyad na problemu (obzor) [Nanomaterials and plants: view of a problem (review)] // *Trudy BGU*, 2015, v. 10, Part 1, pp. 9–21.
- Iagodin B. A., Torshin S. P., Udel'nova T. M. Znachenije mikroelementov v sisteme ratsional'nogo prirodopol'zovaniya [Value of minerals in the system of rational environmental management] // *Biologicheskije nauki*, 1990, no. 9, pp. 7–26.
- Aslani F., Bagheri S., Julkapli N. M., Juraimi A. Sh., Hashemi F. S. G., Bughdadi A. Effects of engineered nanomaterials on plants growth: an overview // *The Scientific World Journal*, 2014. 28 p.
- Nair R., Varghese S. H., Nair B. G., Maekawa T., Yoshida Y., Kumar D. S. Nanoparticulate material delivery to plants // *Plant Science*, 2010, v. 179, pp. 154–163.