

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ Fe_3O_4 (СИТ) НА ОНТОГЕНЕЗ И МОРФОМЕТРИЮ КУКУРУЗЫ САХАРНОЙ

Котюк П.Ф., Корниенко В.О.

Донецкий национальный университет

ул. Университетская, 24, г. Донецк, ДНР; e-mail: pkyuk01@mail.ru

Поступила в редакцию 13.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0482

Аннотация. В работе представлены исследования по влиянию сочетанного действия переменного магнитного поля с наночастицами Fe_3O_4 (СИТ) на ростовые процессы и онтогенез кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). Цель исследований, описанных в работе – исследование влияния сочетанного действия переменного магнитного поля с наночастицами Fe_3O_4 (СИТ) на онтогенетическое развитие и морфометрию на ранних стадиях развития кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). В ходе исследований было изучено: влияние переменного магнитного поля с частотой магнитных колебаний 50 Гц и амплитудой 1 мТл, на морфометрические показатели и онтогенез кукурузы сахарной; влияние наночастиц наночастиц Fe_3O_4 с цитратным покрытием и концентрацией 0,1 мг/мл на морфометрические показатели и онтогенез кукурузы сахарной; влияние сочетанного действия переменного магнитного поля с наночастицами Fe_3O_4 (СИТ), в различном порядке обработки на морфометрические показатели и онтогенез кукурузы сахарной. Так же оценивалась и сравнивалась относительно контрольной группы, сила роста семян при обработке: в переменном магнитном поле, наночастицами Fe_3O_4 (СИТ), а также в переменном магнитном поле с наночастицами Fe_3O_4 (СИТ) в различном порядке обработки.

Ключевые слова: растения, онтогенез, морфология, биотестирование, переменное магнитное поле, наночастицы.

В настоящее время вопросами предпосевной обработки сельскохозяйственных культур занимаются ученые-биологи (ботаники, физиологи, биофизики), физики, химики, инженеры, специалисты в области сельского хозяйства и технических наук, что говорит об особой актуальности данной проблемы. Ранее нами было изучено влияние исключительно наночастиц (НЧ) Fe_3O_4 [1,2], а также влияние переменного магнитного поля (ПеМП) [3,4], на рост и развитие кукурузы сахарной. В связи с тем, что прогрессивная технология получения сельскохозяйственной продукции должна предусматривать экономию материальных и трудовых затрат при высокой стабильности получаемых результатов и сохранении единого согласованного во всех звеньях производственного цикла, нами было предпринято изучение сочетанного действия двух факторов – ПеМП и НЧ на предпосевные свойства семян растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Установка для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных растений. В отделе физики магнитных явлений и высокотемпературной сверхпроводимости научно-исследовательской части Донецкого национального университета была спроектирована магнитная установка для обработки биологических объектов. Блок-схема установки для обработки семян растений переменным магнитным полем промышленной частоты (50 Гц) представлена на рисунке 1. Установка состоит из катушки (1), в центре которой создается переменное магнитное поле, автотрансформатора (2), с помощью которого производится регулировка величины переменного тока, и вольтметра переменного напряжения (3).

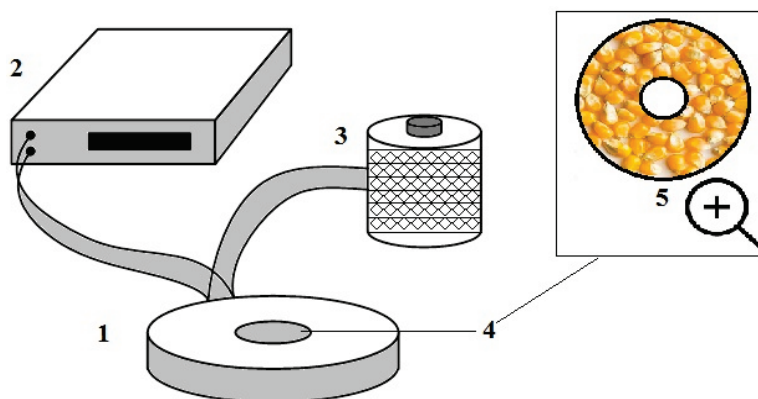


Рисунок 1. Блок-схема установки для обработки семян растений переменным магнитным полем промышленной частоты. Обозначения: 1 – катушка; 2 – вольтметр; 3 – автотрансформатор; 4 – место для расположения контейнера для семян; 5 – схема расположения семян в контейнере

Таблица 1. Экспериментальные группы

НАЗВАНИЕ ГРУППЫ	ОПИСАНИЕ
К	контрольная группа растений
I	ПеМП с магнитной индукцией 1 мТл (время облучения 1 час)
II	обработка наночастицами Fe_3O_4 с цитратным покрытием при $C = 0,1$ мг/мл (время инкубации 1 час)
III	сочетанное действие ПеМП ($B = 1$ мТл) и НЧ Fe_3O_4 ($C = 0,1$ мг/мл)
IV	сочетанное действие НЧ Fe_3O_4 ($C = 0,1$ мг/мл) и ПеМП ($B = 1$ мТл)

Таблица 2. Зависимость силы роста выборки семян от процентного соотношения нормально развитых проростков (по [6])

Сила роста выборки	Доля нормально развитых проростков, %
Высокая	80–100
Средняя	48–79
Низкая	<48

В центр катушки помещается стеклянный контейнер с сухими семенами. Расположение семян показано на рисунке 1 (позиция 5), и это связано с особенностями распределения магнитного поля.

Облучение семян. Предпосевная обработка семян кукурузы сахарной происходила в течение 1 часа при значении магнитной индукции ПеМП 1 мТл. Выборка состояла из 50 семян в 3-кратной повторности. Семена обрабатывали на установке (рис. 1) в сухом состоянии, затем семена помещались в чашки Петри, при этом подложкой для семян служила влажная фильтровальная бумага. Полив осуществляли только дистиллированной водой. Семена проращивали при температуре $+20$ °С. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли в сроки, указанные в ГОСТ 12038-84 [5]: на 3-е сутки (энергия прорастания) и 8-е сутки (всхожесть). Все полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики с использованием пакета компьютерных программ «Statistica».

Обработка семян. Семена замачивали на 1 час в раствор наночастиц Fe_3O_4 с цитратным покрытием и концентрацией 0,1 мг/мл. В результате проведения исследований были сформированы 5 групп:

Оценка силы роста группы семян. После обработки семян кукурузы сахарной и дальнейшего проращивания, оценивали проростки, согласно критериям стандартного теста на всхожесть (нормально проросшие, аномально проросшие, непроросшие). Затем измеряли длину нормально проросших проростков в каждой повторности, определяли среднюю длину пяти самых длинных проростков (L) и умножали ее на коэффициент 0,25 [6]. Нормально проросшие проростки подразделяли на 2 категории:

- высокая сила: нормально проросшие проростки, длиной более $0,25 \times L$;
- средняя сила: нормально проросшие проростки, длиной менее $0,25 \times L$.

Например, для выборки, облученной 6 мТл, длина пяти самых длинных проростков составляет 6,5, 6,7, 6,9, 6,2, 7,2 см. Затем вычислили среднюю длину этих пяти проростков (L) = 6,7 см. Среднюю длину умножили на коэффициент 0,25. $L \approx 1,7$ см. Следовательно, все проростки длиной более 1,7 см имеют высокую силу; все проростки длиной менее 1,7 см имеют среднюю силу. Выборка семян может быть оценена по шкале (табл. 2), представленной в работе Г.Н. Алексейчук, Н.А. Ламана [6].

Проростки, которые развиваются быстро в описанных условиях, имеют высокую силу. Проростки со средней силой могут выживать при интенсивном действии фактора, но их рост и развитие будут заторможены по сравнению с первой группой.

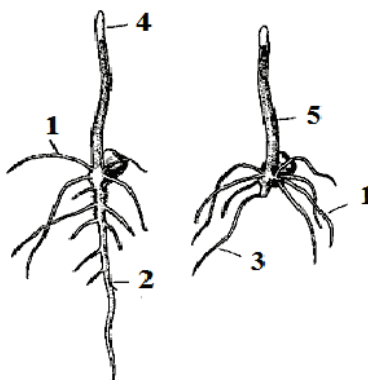


Рисунок 2. Нормальные проростки семян кукурузы сахарной при учете энергии прорастания и всхожести (по ГОСТ 12038-84 [5]). Обозначения: 1 – придаточные корешки; 2 – главный зародышевый корешок; 3 – боковые корешки; 4 – coleoptиль; 5 – первичный лист.

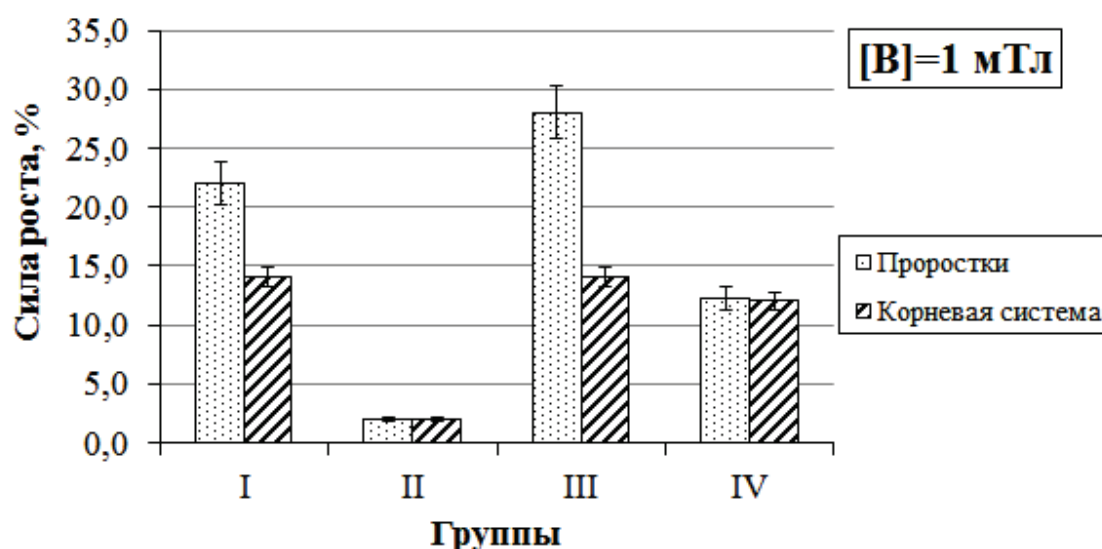


Рисунок 3. Влияние облучения переменным магнитным полем и обработки наночастицами с цитратным покрытием на силу роста (%) кукурузы сахарной

Оценку нормального развития проростков семян кукурузы сахарной (рис. 2), при учете энергии прорастания и всхожести, проводили по ГОСТ 12038-84 [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения сочетанной обработки семян кукурузы сахарной местной селекции, мы установили, что наибольшую силу роста, по сравнению с контролем, имели семена в группе III (сочетанное действие ПеМП ($B=1$ мТл) и НЧ ($C=0.1$ мг/мл)) – 28%. Также высокие значения силы роста как надземной части растения, так и корневой системы наблюдали в группе I (ПеМП 1 мТл) – 22%. Достоверно определено ($p<0.05$), что в экспериментальной группе (III) с сочетанным действием ПеМП и наночастиц Fe_3O_4 с цитратным покрытием сила роста выше, по сравнению с обратной схемой обработки (группа IV – НЧ + ПеМП). Возможно при начальной обработке магнитным полем (имеется ввиду порядок применения фактора), в семени запускаются механизмы (происходит изменение проницаемости клеточных мембран, в результате чего ускоряется диффузия через мембрану определенных молекул и ионов [7,8] и увеличивается водопоглощение семян [9]), которые в дальнейшем ведут к высокой сорбции наночастиц внутрь семени. Однако этот вопрос ещё необходимо более детально изучать.

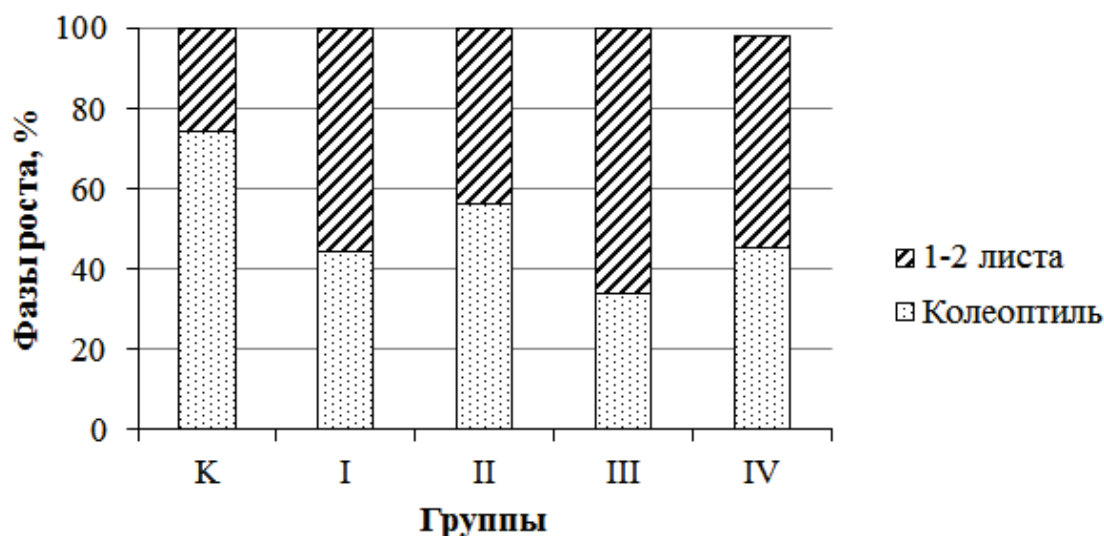


Рисунок 4. Онтогенетические изменения семенного материала кукурузы сахарной в различных экспериментальных схемах обработки

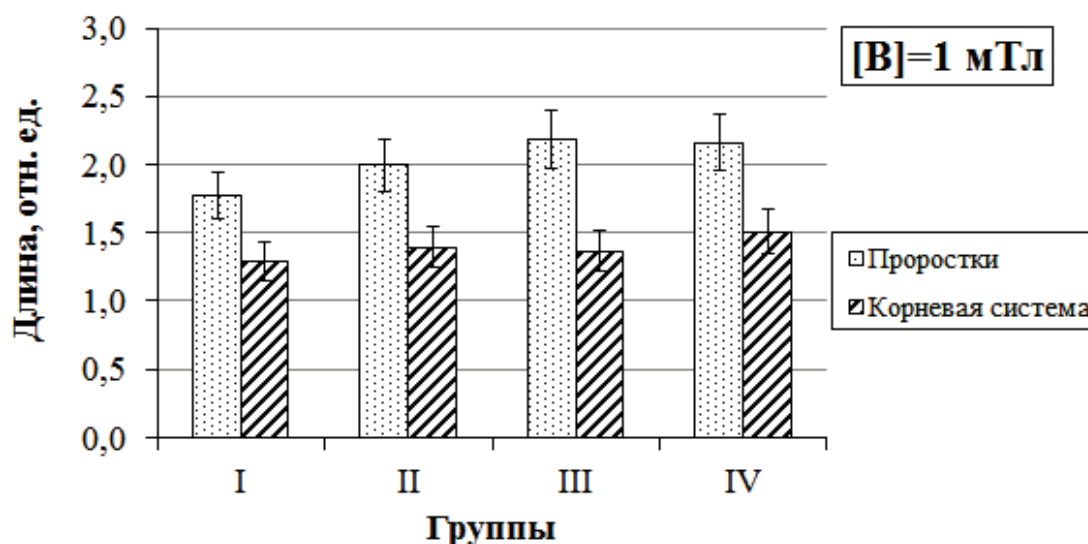


Рисунок 5. Зависимость длины надземной части и корневой системы кукурузы сахарной от схемы обработки семян

При оценке онтогенетических изменений в ростовых процессах кукурузы сахарной (рис. 4), достоверно установили, что в группах с применением экспериментальных схем обработки процент растений в стадии развития 1-2 листа выше, чем в контрольной группе.

Так максимальное значение выявлено в группе III – 66%, затем группы I и IV – 56% и 53% соответственно. Для группы II – процент семян в стадии 1-2 листа составлял 44%, что тем не менее выше, чем у контрольной группы. Однако сравнивая данные по силе роста, можем достоверно утверждать, что сочетанное действие магнитного поля, а затем только наночастиц приводит к лучшему включению Fe_3O_4 с цитратным покрытием в схему обработки семян. Некоторые авторы предполагают некую «встряску» или «активацию» семени из состояния покоя в результате действия ПеМП. Возможно, именно в результате действия переменного магнитного поля и происходит более качественное применение Fe_3O_4 с цитратным покрытием в схеме обработки семян.

В результате обработки семян кукурузы сахарной различными схемами сочетания физического (ПеМП) и химического (НЧ) факторов, мы установили, что при всех вариантах наблюдается стимулирующий эффект надземной части растений и её корневой системы (рис. 5).

Более эффективными (для надземной части – в 2,2 раза, для корневой системы – в 1,4-1,5 раза) оказались схемы III и IV, при сочетанном действии переменного магнитного поля и наночастиц Fe_3O_4 с цитратным покрытием и концентрацией 0,1 мг/мл.

Схемы I и II также имели высокие морфометрические показатели растений: стимулирующий эффект для надземной части составлял 1,8-2,0 раза, для корневой системы 30-40%.

ВЫВОДЫ

При общей оценке влияния сочетанного действия переменного магнитного поля и наночастиц Fe_3O_4 , достоверно получены однозначные данные о стимулирующем действии схемы №3 – сочетанное действие ПеМП (с параметрами поля: $f=50$ Гц, $B=1$ мТл, тип сигнала синусоида, $t_{облучения} = 1$ час) и НЧ Fe_3O_4 ($C= 0,1$ мг/мл, $t_{инкубации} = 1$ час). По сравнению с контролем а) сила роста составляла 28%; б) опережение фазы онтогенеза всходы «1-2 листа» в 2,5 раза; в) морфометрические параметры надземной части и корневой системы выше в 2,2 и 1,4 раза соответственно.

Список литературы / References:

1. Корниенко В.О., Кольченко О.Р., Яицкий А.С. Влияние наночастиц Fe_3O_4 на онтогенез и морфометрические показатели кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*, 2020, № 08/2, с. 30-36. [Kornienko V.O., Kolchenko O.R., Yaitskiy A.S. Influence of Fe_3O_4 nanoparticles on ontogeny and morphometric parameters of sweet corn (*Zea mays* L.). *Modern sciences: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*, 2020, no. 08/2, pp. 30-36. (In Russ.)]
2. Корниенко В.О. Влияние наночастиц Fe_3O_4 с различными типами покрытия на ранние стадии развития кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*, 2020, № 3-4, с. 88-98. [Kornienko V.O. Influence of Fe_3O_4 nanoparticles with different types of coating on the early stages of

development of sweet corn (*Zea mays* L.). *Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region*, 2020, no. 3-4, pp. 88-98. (In Russ.)]

3. Корниенко В.О., Котюк П.Ф., Яицкий А.С. Влияние переменного магнитного поля (1-14 мТл) на рост и развитие кукурузы сахарной. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*, 2021, № 11, с. 17-23. [Kornienko V.O., Kotyuk P.F., Yaitskiy A.S. Influence of an alternating magnetic field (1-14 mT) on the growth and development of sweet corn. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 2021, no. 11, pp. 17-23. (In Russ.)]

4. Корниенко В.О., Котюк П.Ф., Яицкий А.С. Влияние переменного магнитного поля с различным временем экспозиции на рост и развитие кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). *Естественные и технические науки*, 2021, № 11, вып. 162, с. 57-61. [Kornienko V.O., Kotyuk P.F., Yaitskiy A.S. Influence of an alternating magnetic field with different exposure times on the growth and development of sweet corn (*Zea mays* L.). *Natural and technical sciences*, 2021, no.11, iss. 162, pp. 57-61. (In Russ.)]

5. ГОСТ 12038-84. *Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа: сб. ГОСТов*. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004, 47 с. [GOST 12038-84. *Seeds of agricultural crops. Methods of analysis: Sat. GOSTs*. М.: ИПК Standards Publishing House, 2004, 47 p. (In Russ.)]

6. Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А. *Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки*. Мн.: Право и экономика, 2005, 48 с. [Alekseychuk G.N., Laman N.A. *Physiological quality of seeds of agricultural crops and methods for its evaluation*. Minsk: Law and Economics, 2005, 48 p. (In Russ.)]

7. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур. *Вестник ВИЭСХ*, 2014, № 2, вып. 15, с. 16-19. [Kozyrsky V.V., Savchenko V.V., Sinyavsky A.Yu. Influence of a magnetic field on the diffusion of molecules through the cell membrane of seeds of agricultural crops. *Vestnik VIESKh*, 2014, no. 2, iss. 15, pp. 16-19. (In Russ.)]

8. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Влияние магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений. *Вестник ВИЭСХ*, 2014, № 3, вып. 16, с. 18-22. [Kozyrsky V.V., Savchenko V.V., Sinyavsky A.Yu. Effect of magnetic field on ion transport in plant cells. *Vestnik VIESKh*, 2014, no. 3, iss. 16, pp. 18-22. (In Russ.)]

9. Козирський В.В., Савченко В.В., Синявський О.Ю. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння. *Науковий вісник НУБіП України*, 2014, вип. 194, ч. 1, с. 16-20. [Kozirsky V.V., Savchenko V.V., Sinyavsky O.Yu. Influx of the magnetic field on the water sump. *Scientific Bulletin of Ukraine*, 2014, iss. 194, art. 1, pp. 16-20. (In Ukr.)]

INFLUENCE OF THE COMBINED ACTION OF AN AC MAGNETIC FIELD WITH Fe₃O₄ NANOPARTICLES (CIT) ON ONTOGENESIS AND MORPHOMETRY OF SUGAR CORN

Kotyuk P.F., Kornienko V.O.

Donetsk National University

st. Universitetskaya, 24, Donetsk, DPR; e-mail: pkotyuk01@mail.ru

Received 13.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0482

Abstract. The paper presents studies on the effect of the combined action of an alternating magnetic field with Fe₃O₄ (CIT) nanoparticles on the growth processes and ontogeny of sweet corn (*Zea mays* L). The purpose of the studies described in the work is to study the effect of the combined action of an alternating magnetic field with Fe₃O₄ nanoparticles (CIT) on ontogenetic development and morphometry in the early stages of development of sweet corn (*Zea mays* L). In the course of the research, the following was studied: the influence of an alternating magnetic field with a frequency of magnetic oscillations of 50 Hz and an amplitude of 1 mT on morphometric parameters and ontogeny of sweet corn; the effect of nanoparticles of Fe₃O₄ nanoparticles with a citrate coating and a concentration of 0.1 mg/ml on morphometric parameters and ontogeny of sweet corn; the influence of the combined action of an alternating magnetic field with Fe₃O₄ nanoparticles (CIT), in a different order of processing, on morphometric parameters and ontogeny of sweet corn. The seed growth force was also evaluated and compared with respect to the control group during treatment: in an alternating magnetic field, with Fe₃O₄ nanoparticles (CIT), as well as in an alternating magnetic field with Fe₃O₄ nanoparticles (CIT) in a different order of treatment.

Key words: plants, ontogeny, morphology, biotesting, alternating magnetic field, nanoparticles.