Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Серия «Биология, химия». Том 1 (67). 2015. № 3. С. 99–106.

УДК 633/635:58

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА И СЕЛЕНИТА НАТРИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Юркова И. Н., Омельченко А. В.

Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: nanosilver@rambler.ru

В работе исследовано стимулирующее действие наночастиц селена и селенита натрия на рост и развитие растений пшеницы. Показано, что наночастицы селена и селенита натрия увеличивали энергию прорастания и всхожесть семян, а также накопление биомассы корней и надземной части проростков. Максимальная стимуляция накопления биомассы проростков отмечалась после обработки семян наночастицами селена. Установлено, что стимуляция накопления сухого вещества корней была значительно выше в вариантах с наночастицами селена, чем селенитом натрия, и составляла 13,0–16,1 % и 6,9–10,3 % соответственно.
Ключевые слова: наночастицы, селен, селенит натрия, пшеница, рост и развитие.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия резко возрос интерес к селену – важнейшему микроэлементу, который наряду с витаминами А, Е и С входит в состав антиоксидантно-антирадикальной системы защиты организма [1, 2]. Многие регионы России и стран ближнего зарубежья характеризуются низким содержанием селена в окружающей среде. Основными путями поступления селена в организм являются продукты растительного происхождения, в которых селен содержится в наиболее доступной форме селенметионина.

Использование неорганических форм селена (селенит- и селенат-ионов) может вызывать негативные явления, связанные с их высокой токсичностью, что предопределяет поиск других производных селена. В отличие от ионных форм наноразмерный селен менее токсичен и обладает повышенной биодоступностью, причем он не только предотвращает, но и приостанавливает развитие злокачественных опухолей. Установлено, что селен участвует в реакциях образования хлорофилла, синтезе трикарбоновых кислот, а также в метаболизме высокомолекулярных жирных кислот. Он присутствует в ряде окислительно-восстановительных ферментов вместе с железом и молибденом или один в качестве кофактора [3].

Исследованиями последних лет показана важная роль селена в регуляции жизнедеятельности растений [4, 5]. Наиболее перспективным является применение в растениеводстве нанопрепаратов [6–8]. Наночастицы воздействуют на биологические объекты на клеточном уровне, внося свою избыточную энергию,

повышающую эффективность протекающих в растениях процессов, т.е. являются биоактивными. Они генерируют ионы и электроны, которые быстро включаются в биохимические процессы в момент их образования [9]. Таким образом, в отличие от ионных форм наночастицы менее токсичены и обладают пролонгированным действием, что способствует повышению поглощения минеральных веществ, углеводного обмена, фотосинтеза и дыхания клеток.

Однако большинство работ связано с исследованием накопления селена в растениях с точки зрения возможности обогащения этим элементом человека и животных для лечения и профилактики селенодефицита [10]. Остается недостаточно изученным влияние различных форм селена и способов обработки на рост и развитие культурных растений.

Целью настоящей работы было исследование влияния предпосевной обработки семян пшеницы (*Triticum aestivum* L.) растворами наночастиц селена и селенита натрия на рост и развитие растений пшеницы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами для проведения исследований служили семена озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Подолянка, селенистокислый натрий «ч.д.а.» и разработанная ранее водорастворимая нанобиокомпозиция селена [11]. Синтез наночастиц селена осуществляли путем восстановления селенистокислого натрия L-цистеином и стабилизацией альгинатом натрия (натриевая соль альгиновой кислоты, BioChemika). Альгинат натрия не только позволяет получать водорастворимую композицию наночастиц селена, длительно сохраняющую свою стабильность, но и обладает широким спектром биологической активности [12]. Такой метод синтеза можно отнести к «зеленой нанохимии».

В работе исследовали влияние различных концентраций наночастиц селена и селенита натрия на энергию прорастания и всхожесть семян, а также прирост биомассы корней и надземной части проростков.

Для этого семена замачивали в растворах наноселена или селенита натрия с концентрацией 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 и 50,0 мг/дм^3 (по селену) в течение 4-х часов, а затем помещали на влажную фильтровальную бумагу в чашки Петри и проращивали в термостате при температуре 24 ^{o}C в течение 3 суток. После этого проростки переносили в сосуды с питательным раствором Кнопа. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли на 3 и 7 сутки соответственно [13]. Биомассу проростков корней и надземной части измеряли гравиметрическим методом на 10 сутки, фиксируя растительный материал в течение 5 мин при 110 ^{o}C и доводя его до постоянной массы при 60 ^{o}C.

Эксперименты проводили в 3-кратной биологической и 6–7-кратной аналитической повторностях. Статистическую обработку полученных результатов проводили по Г. Ф. Лакину [14], в таблицах и на рисунках представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Стимуляция ростовых процессов наночастицами и ионами биометаллов осуществляется при прорастании семян на ранних этапах онтогенеза, оказывая значительное влияние на дальнейшее развитие проростков, мобилизуя систему антиоксидантной защиты растений в течение онтогенеза [15].

При исследовании влияния наночастиц селена и селенита натрия на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы была показана стимуляция этих процессов (табл. 1). Показатели энергии прорастания превышали контрольный вариант на 6,5 %, а всхожести – на 5,5 % ($p<0,05$). Однако более высокие результаты были установлены при обработке семян наноселеном. При этом максимальный эффект обработки семян наночастицами селена отмечался уже при концентрации 10,0 мг/дм^3, тогда как после обработки селенитом натрия достоверное увеличение исследуемых показателей – лишь при 40,0–50,0 мг/дм^3.

Таблица 1

Влияние наночастиц селена и селенита натрия на прорастание семян пшеницы

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	92,3±2,4	94,3±2,0
10,0 мг/л наноSe	97,7±2,8	99,6±2,9
20,0 мг/л наноSe	97,8±3,3	99,5±2,7
3,00 мг/л наноSe	96,2±2,7	98,2±3,0
40,0 мг/л наноSe	96,4±3,0	99,6±2,7
50,0 мг/л наноSe	96,1±2,9	99,8±2,8
10,0 мг/л Na_2SeO_3	92,3±3,1	96,5±3,1
20,0 мг/л Na_2SeO_3	92,5±3,2	94,1±2,9
30,0 мг/л Na_2SeO_3	92,1±2,7	96,3±3,0
40,0 мг/л Na_2SeO_3	96,2±3,4	98,2±3,0
50,0 мг/л Na_2SeO_3	96,3±3,3	98,4±3,2

Предпосевная обработка семян пшеницы наночастицами селена также приводила к стимуляции накопления биомассы корней и надземной части проростков (рис. 1, табл. 2). Однако более высокий стимулирующий эффект наночастицы селена оказывали на прирост массы сухого вещества корней по сравнению с надземной частью. При замачивании семян в растворе наночастиц селена увеличение массы сухого вещества корней наблюдалось во всем интервале исследуемых концентраций. При этом максимальный эффект оказывал наноселен в концентрации 10,0–30,0 мг/дм^3. При этом накопление биомассы увеличивалось на 13,0–16,1 % по сравнению с контролем ($p<0,01$).

Максимальное увеличение накопления биомассы надземной части наблюдалось при более высоких концентрациях наночастиц селена (20,0–30,0 мг/дм^3) и соответствовало 5,9–9,8 % ($p<0,05$).

На начальном этапе взаимодействия наночастиц селена с семенами происходит их адгезия на поверхности, а в дальнейшем наночастицы проникают через семенную оболочку в глубь семени. Можно предположить, что в результате этого процесса в клетках корней селен накапливается в большем количестве, чем в надземной части, что можно объяснить барьерной фукцией корневой системы [16].

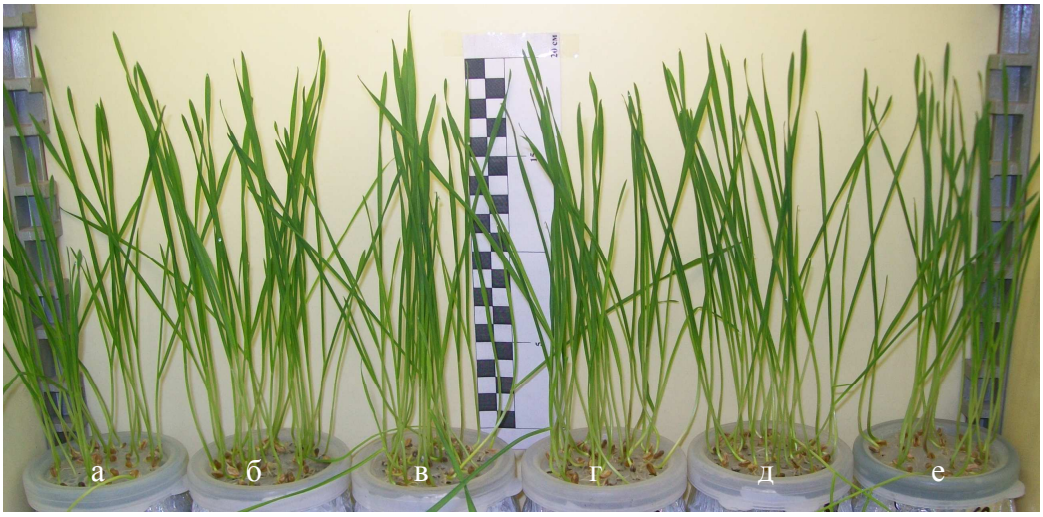

Рис. 1. Внешний вид 10-дневных проростков пшеницы после обработки семян наночастицами селена: а – контроль; б – 10,0 мг/л; в – 20,0 мг/л; г – 30,0 мг/л; д – 40,0 мг/л; е – 50,0 мг/л.

Таблица 2

Влияние наночастиц селена на накопление биомассы 10-дневных проростков пшеницы, выращенных в водной культуре

Вариант опыта	Накопление биомассы			
	Масса сухого вещества корней, мг	Масса сухого вещества надземной части, мг	Масса сухого вещества корней, %	Масса сухого вещества надземной части, %
контроль	4,52±0,17	11,86±0,48	100,0	100,0
10,0 мг/л	5,13±0,21	12,32±0,47	115,0	105,9
20,0 мг/л	5,18±0,20	12,77±0,53	116,1	109,8
30,0 мг/л	5,07±0,15	12,73±0,51	113,0	107,3
40,0 мг/л	5,04±0,17	12,18±0,49	112,1	104,7
50,0 мг/л	4,63±0,15	11,41±0,47	103,8	98,1

Исследование влияния селенита натрия на накопление биомассы корней и надземной части показало, что стимулирующий эффект проявлялся при более высоких концентрациях селена по сравнению с наночастицами (рис. 2, табл. 3).

При этом стимуляция накопления сухого вещества корней после обработки семян наночастицами селена была значительно выше, чем в случае применения селенита натрия.

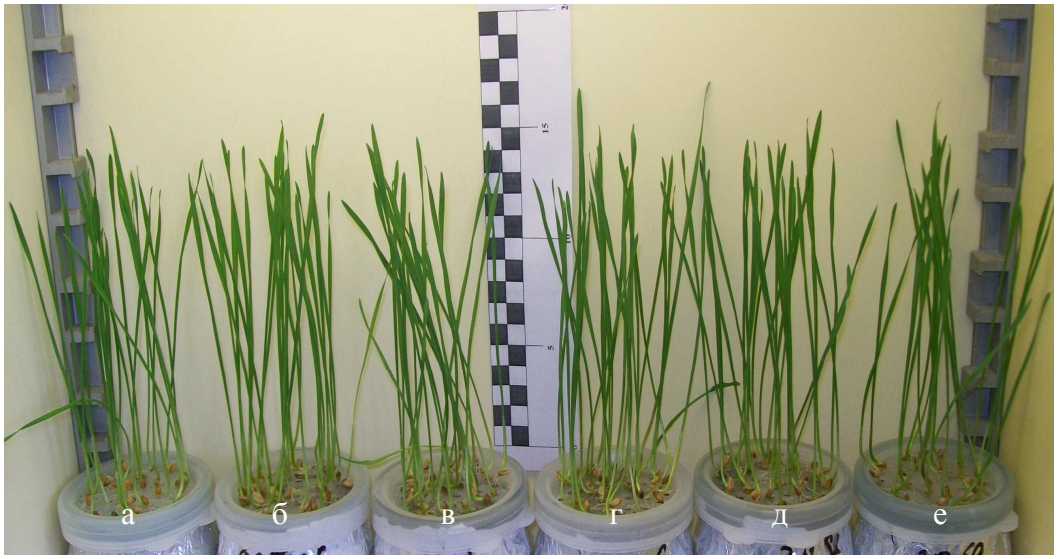

Рис. 2. Внешний вид 10-дневных проростков пшеницы после обработки семян селенитом натрия: а – контроль; б – 10,0 мг/л; в – 20,0 мг/л; г – 30,0 мг/л; д – 40,0 мг/л; е – 50,0 мг/л.

Таблица 3

Влияние селенита натрия на накопление биомассы 10-дневных проростков пшеницы, выращенных в водной культуре

Вариант опыта	Накопление биомассы			
	Масса сухого вещества корней, мг	Масса сухого вещества надземной части, мг	Масса сухого вещества корней, %	Масса сухого вещества надземной части, %
контроль	4,41±0,11	11,41±0,38	100,0	100,0
10,0 мг/л	4,38±0,09	12,04±0,41	98,2	103,5
20,0 мг/л	4,71±0,10	12,01±0,37	106,9	105,3
30,0 мг/л	4,86±0,12	12,56±0,40	110,3	107,9
40,0 мг/л	4,79±0,10	12,62±0,32	107,4	108,5
50,0 мг/л	4,58±0,09	12,16±0,29	102,7	104,5

Максимальная величина прироста биомассы надземной части проростков после обработки семян наночастицами селена и селенитом натрия отличалась незначительно.

Таким образом, водорастворимая нанобиокомпозиция селена может быть использована при обработке семян пшеницы в качестве стимулятора ростовой активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые исследовано влияние нанобиокомпозиции на основе селена на рост и развитие растений пшеницы.
2. Показано, что наночастицы селена и селенита натрия увеличивали энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы.
3. Установлено, что стимуляция накопления сухого вещества корней после обработки семян наночастицами селена была значительно выше, чем в случае применения селенита натрия.

Список литературы

1. Барабой В. А. Биологические функции. метаболизм и механизм действия селена / В. А. Барабой // Успехи современной биологии. – 2004. – № 2. – С. 157–168.
2. Ребров В. Г. Витамины, макро- и микроэлементы / В. Г. Ребров, О. А. Громова. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2008. – 304 с.
3. Селен. Некоторые аспекты химии, экологии и участия в развитии патологии (обзор) / В.В. Вапиров, М. Э. Шубина, Н. В. Вапирова [и др.]. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. – 68 с.
4. Ловкова М. Я. Лекарственные растения – концентраторы селена. Перспективы расширения спектра использования / М. Я. Левкова, С. М. Соколова, Г. Н. Бузук // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 418, № 5. – С. 709–711.
5. Кашин В. К. Биологическое действие и накопление селена в пшенице в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции / В. К. Кашин, О. И. Шубина //Химия в интересах устойчивого развития. – 2011.– № 19. – С. 151–156.
6. Федоренко В. Ф. Направления использования нанотехнологий и наноматериалов в АПК и задачи информационного обеспечения их развития / В. Ф. Федоренко, Д. С. Буклагин, И. Г. Голубев // Нанотехнологии – производству. – 2006. – С. 409–413.
7. Коваленко Л. В. Активация прорастания семян ультрадисперсными порошками железа / Л. В. Коваленко, Г. Э. Фолманис // Достижения науки и техники АПК. – 2001. – № 9. – С. 7–8.
8. Пролонгированное воздействие ультрадисперсных порошков металлов на семена злаковых культур / В. Н. Селиванов, Е. В. Зорин, Е. Н. Сидорова [и др.] //Перспективные материалы. – 2001. – № 4. – С. 66–69.
9. Разработка и проведение экспериментальной оценки эффективности применения в растениеводстве новых видов удобрений, полученных с использованием нанотехнологий / Н. П. Егоров, О. Д. Шафранов, Д. Н. Егоров [и др.] // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2008, № 6. – С. 94–99.
10. Голубкина Н. А. Аккумулирвоание селена зерновыми культурами России / Н. А. Голубкина // Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук. – 2007. – № 5. – С. 6–9.
11. Пат. 84626 МПК6 А 61 К 33/38, А 61 К 31/00. Спосіб отримання водорозчинної композиції наночастинок, яка містить наночастинки селену / І. М. Юркова, Е. П. Панова, Д. О. Панов, О. В. Омельченко : заявник і власник Таврійський національний університет ; – № 201305453 ; заявл. 26.04.13 ; опубл. 25.10.13. Бюл. № 20.

12. Физико-химические свойства, физиологическая активность и применение альгинатов и полисахаридов бурых водорослей / Ю. С. Хотимченко, В. В. Ковалев, О. В. Савченко, О. А. Зиганшина // Биология моря. – 2001. – Т. 22, № 3. – С. 151–162.
13. Воскресенская О. Л. Физиология растений: Учебное пособие / О. Л. Воскресенская, Н. П. Грошева, Е. А. Скочилова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2008. – 148 с.
14. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
15. Таран Н. Ю. Технологія екологічно безпечного використання нанопрепаратів у адаптивному рослинництві / Н. Ю. Таран, Л. М. Бацманова, К. Г. Лопатько // Фізика живого. – 2011. – Т. 19, № 2. – С. 54–58.
16. Башмаков Д. И. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений / Д. И. Башмаков, А. С. Лукаткин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 236 с.

THE INFLUENCE OF SELENIUM NANOPARTICLES AND SODIUM SELENITE ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF WHEAT

Jurkova I. N., Omel'chenko A. V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: nanosilver@rambler.ru

Over the last few decades interest in the use of selenium, an essential trace element which is part of the antioxidant defense system, was increased. Recent studies have shown the important role of selenium in the regulation of plant life. Unfortunately, the use of inorganic forms of selenium (selenite and selenate ions) can cause negative effects. This is due to their high toxicity which encourages the search for other derivatives of selenium. The most promising direction is the use of selenium nanopreparations.

The aim of this study was to investigate the effect of pre-sowing seed treatment of wheat with solutions of nanoparticles of selenium and sodium selenite on growth and development of wheat plants.

The objects for the research were the seeds of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties Podolyanka, sodium selenite and previously developed nanobiocomposition of soluble selenium. The paper studied the effect of different concentrations of nanoparticles of selenium and sodium selenite on the vigor and seed germination, growth of roots and above-ground biomass of the wheat seedlings. Seeds were soaked in solutions of sodium selenite or nanoselenium in a concentration of 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 and 50,0 mg/dm^3 for 4 hours, and then placed on moist filter paper in Petri dishes and were grown in an incubator at 24°C for 3 days. Then, the seedlings were transferred into vessels with Knop's solution. Vigor and seed germination was determined after 3 and 7 days. Biomass of seedling roots and the aerial part was measured by gravimetric method after 10 days.

We have investigated the stimulatory effect of nanoparticles of selenium and sodium selenite on growth and development of wheat plants. It has been shown that nanoparticles of selenium and sodium selenite increased vigor and seed germination, biomass accumulation of roots and aerial parts of seedlings. Maximum stimulation of seedling biomass accumulation was observed after treatment of seeds with selenium nanoparticles. It was found that stimulation of the accumulation of dry matter of the roots was significantly higher in comparison with control in the group of plants treated with

selenium nanoparticles than in the group treated with sodium selenite and was between 13,0–16,1 % and 6,9–10,3 % respectively.

Thus, the applied soluble nanobiocomposition of selenium may be used for treatment of wheat seeds as a growth promoter.

Keywords: nanoparticles, selenium, sodium selenite, wheat, growth and development.

References

1. Baraboy V. A. Biologicheskie funktsii. metabolizm i mekhanizm deystviya selena, *Uspekhi sovremennoy biologii*. **2**, 157–168 (2004).
2. Rebrov V. G., Gromova O. A. *Vitaminy, makro- i mikroelementy* (Moscow, GEOTAR – Media, 2008).
3. Vapirov V. V., Shubina M. E., Vapirova N. V. *Selen. Nekotorye aspekty khimii, ekologii i uchastiya v razvitii patologii* (Petrozavodsk: PetrGU, 2000).
4. Lovkova M. Ya. Sokolova S. M., Buzuk G. N. Lekarstvennye rasteniya – kontsentratory selena. Perspektivy rasshireniya spektra ispol'zovaniya, *Doklady Akademii nauk*. **418,** (5). 709–711 (2008)
5. Kashin V. K., Shubina O. I. Biologicheskoe deystvie i nakoplenie selena v pshenitse v usloviyakh selenodefitsitnoy biogeokhimicheskoy provintsii, *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiy*a. **19,** 151–156 (2011).
6. Fedorenko V. F. Buklagin D. S., Golubev I. G. Napravleniya ispol'zovaniya nanotekhnologiy i nanomaterialov v APK i zadachi informatsionnogo obespecheniya ikh razvitiya, *Nanotekhnologii – proizvodstvu*. 409–413 (2006).
7. Kovalenko L. V., Folmanis G. E. Aktivatsiya prorastaniya semyan ul'tradispersnymi poroshkami zheleza, *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. **9,** 7–8 (2001).
8. Selivanov V. N., Zorin E. V., Sidorova E. N. Prolongirovannoe vozdeystvie ul'tradispersnykh poroshkov metallov na semena zlakovykh kul'tur, *Perspektivnye materialy*. **4,** 66–69 (2001).
9. Egorov N. P., Shafranov O. D., Egorov D. N. Razrabotka i provedenie eksperimental'noy otsenki effektivnosti primeneniya v rastenievodstve novykh vidov udobreniy, poluchennykh s ispol'zovaniem nanotekhnologiy, *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. **6,** 94–99 (2008).
10. Golubkina N. A. Akkumulirvoanie selena zernovymi kul'turami Rossii, *Doklady Rossiyskoy Akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. **5,** 6–9 (2007).
11. Pat. 84626 MPK6 A 61 K 33/38, A 61 K 31/00. Sposib otrimannya vodorozchinnoї kompozitsiї nanochastinok, yaka mistit' nanochastinki selenu / I.M. Yurkova, E.P. Panova, D.O. Panov, O.V. Omel'chenko : zayavnik i vlasnik Tavriys'kiy natsional'niy universitet ; – № 201305453 ; zayavl. 26.04.13 ; opubl. 25.10.13. Byul. № 20.
12. Khotimchenko Yu. S., Kovalev V. V., Savchenko O. V., Ziganshina O. A. Fiziko-khimicheskie svoystva, fiziologicheskaya aktivnost' i primenenie al'ginatov i polisakharidov burykh vodorosley, *Biologiya morya*. **22 (**3), 151–162 (2001).
13. Voskresenskaya O. L., Grosheva N. P., Skochilova E. A. *Fiziologiya rasteniy: Uchebnoe posobie* (Yoshkar-Ola, Mar. gos. un-t, 2008).
14. Lakin G. F. *Biometriya* (Moscow, High School, 1990).
15. Taran N. Yu. Tehnologiya ekologichno bezpechnogo vikoristannya nanopreparativ u adaptivnomu roslinnitstvi, *FIzika zhivogo*, **19** (2), 54–58 (2011).
16. Bashmakov D. I., Lukatkin A. S. *Ekologo-fiziologicheskie aspekty akkumulyatsii i raspredeleniya tyazhelykh metallov u vysshikh rasteniy* (Saransk, Izd-vo Mordov. un-ta, 2009).