

**УДК 633/635:58**

## **СТИМУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ**

*Омельченко А.В., Юркова И.Н., Жижина М.Н.*

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина  
E-mail: omelav@ukr.net*

В работе исследовано стимулирующее действие наночастиц серебра на рост и развитие растений пшеницы. Установлено, что замачивание семян в растворах наночастиц серебра с концентрацией 0,01-1,0 мг/дм<sup>3</sup> стимулирует интенсивность дыхания, энергию прорастания и всхожесть семян, а также накопление биомассы сухого вещества корней и надземной части проростков пшеницы. Максимальная стимуляция накопления биомассы проростков во всех вариантах отмечалась в корнях.

**Ключевые слова:** наночастицы, серебро, пшеница, рост и развитие.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из перспективных направлений исследований в настоящее время является применение нанотехнологий в растениеводстве [1–3]. В повышении урожайности и качества сельскохозяйственных культур большое значение приобретают биогенные металлы в коллоидном состоянии (наночастицы). К наиболее широко используемым коммерческим наноматериалам можно отнести наночастицы серебра [4–6]. В отличие от ионного серебра наночастицы менее токсичны, обладают пролонгированным действием и не требуют применения больших доз для достижения необходимого биологического эффекта [7].

Анализ литературных данных показывает, что влияние наночастиц серебра на сосудистые растения исследуют, главным образом, в связи с токсическим действием их высоких концентраций [8, 9].

Биологическая активность наночастиц зависит от их размера, формы и способа получения. Наиболее токсичными являются наночастицы серебра размером менее 10 нм [10, 11]. Показано, что токсичность высоких концентраций наносеребра, стабилизированного гуммиарабиком, при прорастании семян водно-болотных растений была значительно выше, чем у наночастиц с поливинилпирролидоном. Эта зависимость сохранялась и после посадки проростков в почву [12]. Наночастицы серебра размером 100 нм в концентрации 100 и 500 мг/л ингибировали прирост биомассы и транспирацию у *Cucurbita pepo* [13].

Обработка семян кукурузы, огурцов и томатов наносеребром в концентрации 0,5 г/л оказывала негативное действие на рост корней и надземной части, а также содержание белка и ДНК [14]. Однако до настоящего времени в научной литературе существуют лишь отдельные данные, указывающие на влияние наночастиц серебра на физиолого-биохимические процессы, протекающие в растениях [15].

Целью данной работы было исследование стимулирующего действия наночастиц серебра на рост и развитие растений пшеницы.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами для проведения исследований служили семена озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Одесская 267 и разработанная ранее водорастворимая бактерицидная нанобиокомпозиция серебра [16]. При синтезе наночастиц серебра использовали нитрат серебра «ч.д.а.» и альгинат натрия (натриевая соль альгиновой кислоты, BioChemika), который не только позволяет получать высокостабильную водорастворимую композицию наночастиц серебра с узким распределением по размерам, но и обладает широким спектром биологической активности. Поэтому такой метод получения наночастиц можно отнести к «зеленой нанохимии». Все растворы готовили на бидистиллированной воде. Фотовосстановление катионов  $\text{Ag}^+$  проводили на воздухе при температуре 20 °С. В качестве источника света использовали ртутную лампу высокого давления ДРШ-250.

В работе исследовали влияние различных концентраций наночастиц серебра на прорастание семян, прирост биомассы корней и надземной части проростков, интенсивность дыхания, а также накопление серебра в семенах.

Для определения всхожести и прироста биомассы проростков семена замачивали в растворах нанобиосеребра с концентрацией 0,01; 0,1; 1,0 и 10,0 мг/дм<sup>3</sup> в течение 4-х часов, а затем помещали на влажную фильтровальную бумагу в чашки Петри и проращивали 7 дней в термостате при температуре 24 °С. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли на 3 и 7 сутки [17]. Биомассу проростков корней и надземной части измеряли гравиметрическим методом на 7 сутки, фиксируя растительный материал в течение 5 мин при 110 °С и доводя его до постоянной массы при 60 °С. Интенсивность дыхания прорастающих семян определяли по методу Бойсен-Йенсену через 24 и 48 часов [17].

Содержание серебра в семенах после замачивания в растворах наночастиц серебра исследовали методом атомно-абсорбционной спектроскопии (Сатурн-4 ЭПАВ) после озоления в муфельной печи при температуре 400-450 °С. Дальнейший анализ осуществляли с электротермической атомизацией.

Эксперименты проводили в 3-кратной биологической и 6-7 кратной аналитической повторностях. Статистическую обработку полученных результатов проводили по Г.Ф. Лакину [18], в таблицах и на рисунках представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Набухание семян является важным этапом, необходим для активации ферментов, так как сухие семена содержат только связанную воду [19]. Как показано ранее, наночастицы серебра в концентрации 0,01-10,0 мг/дм<sup>3</sup> не оказывало негативного действия на процесс набухания семян, а его наибольшая скорость отмечалась до 16 ч во всех вариантах опыта, что соответствует максимальной ферментативной активности [20].

При обработке семян пшеницы наносеребром в том же интервале концентраций интенсивность дыхания через 24 часа увеличилась на 20,0-60,2 %, а через 48 часов – на 8,5-33,3 % по сравнению с контролем. Через 48 часов показатели дыхания во всех вариантах возрастали. При этом, максимальное увеличение наблюдалось при концентрации наносеребра 1,0 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1).



Рис. 1. Влияние наночастиц серебра на интенсивность дыхания прорастающих семян пшеницы.

Дыхание является интегральным показателем изменения энергетических процессов растений. Энергия дыхания используется для ростовых процессов различных синтетических реакций, поглощения элементов минерального питания, передвижения ассимилятов [21]. Поэтому влияние наночастиц серебра на интенсивность дыхания прорастающих семян может быть связано с ускоренной мобилизацией запасных органических веществ в клетках. Это также может зависеть от увеличения содержания в органах растения ИУК и соотношения ИУК/АБК. Положительную роль ауксина в дыхательном обмене отмечали ряд авторов [23].

На начальном этапе взаимодействия наночастиц серебра с семенами происходит их адгезия на поверхности. В дальнейшем серебро проникает через семенную оболочку в глубь семени. Поэтому, представление о роли наночастиц серебра в изменении метаболизма на ранних стадиях онтогенеза было бы неполным без анализа их содержания в прорастающих семенах.

Данные, представленные на рисунке 2, показывают, что накопление серебра в семенах после их замачивания в растворах нанобиосеребра увеличивается в зависимости от его концентрации в растворе и составляет 0,007-1,2 мг/кг сухого вещества.

При исследовании влияния наночастиц серебра на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы была установлена стимуляция этих процессов (табл. 1). Показатели энергии прорастания превышали контрольный вариант на 4,7-9,3 %, а

всхожести – на 7,6-9,3 %. Максимальный эффект обработки семян отмечался в вариантах с концентрацией наносеребра 0,01-1,0 мг/дм<sup>3</sup>.

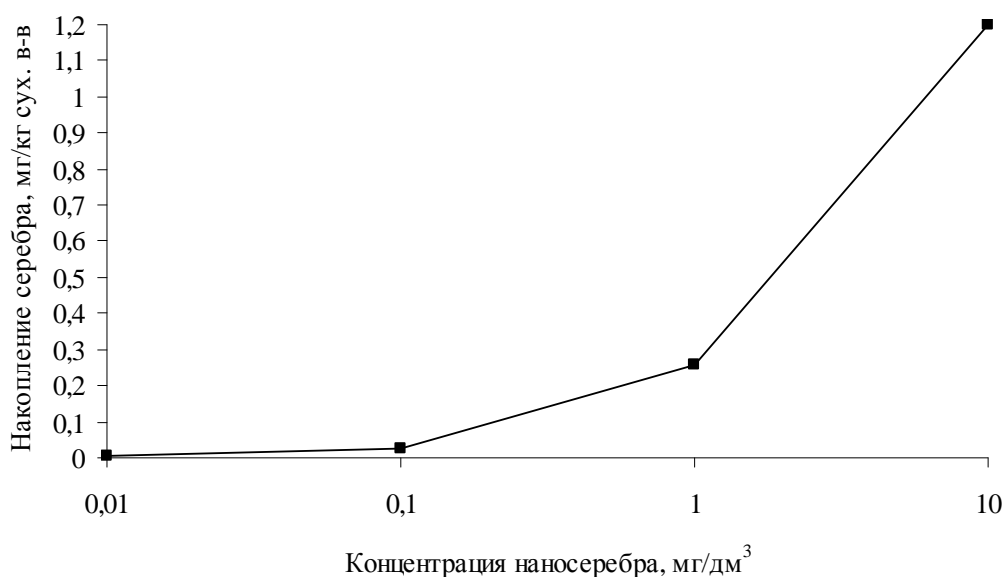


Рис. 2. Накопление наночастиц серебра в семенах пшеницы после 4-х часов замачивания.

Представленные в таблице 1 результаты хорошо коррелировали с накоплением биомассы корней и надземной части проростков пшеницы. При этом более высокое стимулирующее действие наночастицы серебра оказывали на прирост биомассы корней (табл. 2). Это может быть связано с накоплением и поглощением наночастиц корнями [15].

**Таблица 1**  
**Влияние концентрации наночастицы серебра на прорастание семян пшеницы**

Концентрация наносеребра, мг/дм <sup>3</sup>	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
0	80,3±2,2	83,0±2,5
0,01	89,6±3,4	92,3±3,7
0,1	87,0±1,8	91,0±3,2
1,0	88,3±2,5	92,0±2,6
10,0	85,0±2,8	90,6±3,0

Известно, что стимуляция ростовых процессов наночастицами биометаллов осуществляется при прорастании семян на ранних этапах онтогенеза, оказывая значительное влияние на окислительное фосфорилирование и фотосинтез. Предпосевная обработка семян пшеницы растворами наночастиц металлов мобилизует систему антиоксидантной защиты растений в течение онтогенеза [3].

**Таблица 2**  
**Влияние наночастиц серебра на накопление биомассы 7-дневных проростков пшеницы**

Концентрация наносеребра, мг/дм <sup>3</sup>	Накопление биомассы			
	Масса сухого вещества корней, мг	Масса сухого вещества надземной части, мг	Масса сухого вещества корней, %	Масса сухого вещества надземной части, %
0	3,64±0,03	6,08±0,07	100,0	100,0
0,01	4,07±0,05	6,43±0,09	111,8	105,7
0,1	3,86±0,06	6,36±0,08	106,0	104,6
1,0	3,85±0,04	6,32±0,06	105,7	103,9
10,0	3,53±0,07	5,78±0,08	96,9	95,0

Максимальное увеличение массы сухого вещества корней наблюдалось при концентрации наносеребра 0,01 мг/дм<sup>3</sup> и составляло 11,8 %, а надземной части – 5,7 %. При дальнейшем увеличении концентрации этот эффект снижался, а при 10,0 мг/дм<sup>3</sup> отмечалось угнетение ростовых процессов. Во всех вариантах опыта максимальная стимуляция накопления биомассы наблюдалась в корнях. Можно предположить, что снижение положительного эффекта связано с накоплением в семенах серебра свыше 0,26 мг/кг сухого вещества, которое в этой концентрации оказывает ингибирующее действие на ростовые процессы. Полученные результаты необходимо учитывать при обосновании экологически безопасных агромероприятий с применением наноструктурированных препаратов.

Таким образом, водорастворимая нанобиокомпозиция на основе альгината натрия и серебра может быть использована при обработки семян пшеницы в качестве стимуляторов роста.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Показано, что наночастицы серебра в концентрации 0,01-1,0 мг/дм<sup>3</sup> оказывают стимулирующее действие на ростовые процессы пшеницы на ранних этапах онтогенеза, стимулируя энергию прорастания и всхожесть семян, интенсивность дыхания, а также накопление биомассы корней и надземной части проростков пшеницы.

Список литературы

1. Brunner T.I. In vitro cytotoxicity of oxide nanoparticles: comparison to asbestos, silica and effect of particle solubility / T.I. Brunner, P. Wick, P. Manser, P. Spohn // *Environ. Sci. and Tech.* – 2006. – V. 40. – P. 4347-4381.
2. Бовсуновський А.М. Нанотехнологія як движущая сила аграрної революції / А.М. Бовсуновський, С.О. Вялий, В.Г. Каплуненко, Н.В. Косинов // *Зерно.* – 2008. – № 11(31). – С. 80-83.
3. Таран Н.Ю. Технологія екологічно безпечної використання нанопрепаратів у адаптивному рослинництві / Н.Ю. Таран, Л.М. Бацманова, К.Г. Лопатько, С.М. Каленська // *Фізика живого.* – 2011. – Т. 19, № 2. – С. 54-58.
4. Chen X. Nanosilver: nanoparticle in medical application / X. Chen, H.J. Schlusener // *Toxicol. Lett.* – 2008. – V. 76. – P. 1-12.
5. Balantrapu K. Silver nanoparticles for printable electronics and biological applications / K. Balantrapu, D. Goia // *J. Mater Res.* – 2009. – V. 24, No. 9. – P. 2828-2836.
6. Singh R. Medical Application of nanoparticles in Biological Imaging. Cell Labelling, Antimicrobial Agents and Anticancer Nanodrugs / R. Singh, N.H. Singh // *J. Biomed. Nanotechnol.* – 2011. – V. 7, No. 4. – P. 489-503.
7. Physiological analysis of silver nanoparticles and AgNO<sub>3</sub> toxicity to *Spirodela polyrhiza* / H. Jiang, M. Li, F.Y. Chang [et al.] // *Environ Toxicol Chem.* – 2012. – V. 31, No. 8. – P. 1880-1886.
8. Choi O. The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions and silver chloride colloids on microbial growth / O. Choi, K.K. Deng, N.J. Kim [et al.] // *Water Res.* – 2008. – V. 42. – P. 3066-3074.
9. Chaudhuri A. Effect of Ethylene Synthesis and Perception Inhibitor and ABA on Seed Germination of *Vigna radiata* / A. Chaudhuri, R.K. Kar // *World J. of Agricultural Sciences.* – 2008. – V. 4 (S). – P. 879-883.
10. Чекман І.С. Нанотоксикологія: напрямки досліджень (огляд) / І.С. Чекман, А.М. Сердюк, Ю.І. Кундієв, І.М. Трахтенберг // *Довкілля та здоров'я.* – 2009. – № 1(48). – С. 337.
11. Ірійчук І.Д. Фізіологічні аспекти взаємодії наноматеріалів з клітинами / І.Д. Ірійчук, В.В. Плиська // *Український науково-методичний журнал.* – 2011. – № 4. – С. 168-169.
12. Yin L. Effect of silver nanoparticle exposure on germination and early growth of eleven wetland plants / L. Yin, B.P. Colman, B.M. McGill [et al.] // *PloS One.* – 2012. – V. 7, No. 10. – P. 8636-8648.
13. Stampoulis D. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants / D. Stampoulis, S.K. Sinha, J.C. White // *Environ Sci Technol.* – 2009. – V. 43. – P. 9473-9479.
14. Kuamri M. Effect of silver nanoparticle (SNPs) on protein and DNA content to tomato seed (*L. esculentum*), cucumber (*Cucumis sativus*) and maize (*Zea mays*), / M. Kuamri, A. Mukherjee, N. Chandrasekaran // *IJHGMBMS.* – 2012. – V. 1, No. 1. – P. 7-15.
15. Salama H. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.) // *J. Biotechnology.* – 2012. – V. 3, No. 10. – P. 190-197.
16. Пат. 10539 Україна, МКІ7 А 61 К 33/38, А 61 К 31/715. Спосіб отримання водорозчинної бактеріцидної композиції, що містить наночастки срібла / Юркова І. М., Естрела-Льопіс В.Р., Рябушко В. І., Рябушко Л. І. ; заявник та власник патенту Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського. – № u2001128682 ; заявл. 13.05.05 ; опубл. 15.11.05. Бюл. № 11.
17. 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.
18. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
19. Рогожин В.В. Физиолого-биохимические механизмы прорастания зерновок пшеницы / В.В. Рогожин, Т.В. Рогожина // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* – 2011. – № 8 (82). – С. 17-21.
20. Omel'chenko A.V. The investigation of influence of nanobiosilver on wheat germination and silver accumulation in grains / A.V. Omel'chenko, I.N. Yurkova, I.A. Bugara, O.M. Pipiya // *Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry.* – 2013. – V. 26 (65), No. 1. – P. 146-152.
21. Labraba X. Effect of foliar applications of silver nitrate and ear removal on dioxide assimilation in wheat flag leaves during grainfilling / X. Labraba // *Field Crops Res.* – 1991. – V. 28. – P. 149-162.
22. Якушкина Н.И. Роль фитогормонов в адаптации растений к условиям среды / Н.И. Якушкина. – М.: МОПИ, 1985. – 140 с.

23. Puzin T.I. Dynamics of indoleacetic acid in the organs of potato at different stages of ontogeny and for its role in the regulation of growth of the tuber, Bulletin of the Academy of Sciences / T.I. Puzin, I.G. Kirillov, N.I. Yakushkina // Biology Series. – 2000. – V. 2. – P. 170-177.

**Омельченко О.В. Стимулююча дія наночастинок срібла на ріст і розвиток рослин пшениці / О.В. Омельченко, І.М. Юркова, М.М. Жижина // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2014. – Т. 27 (66), № 1. – С. 127-135.**

У роботі досліджено стимулюючу дію наночастинок срібла на ріст і розвиток рослин пшениці. Встановлено, що замочування насіння в розчинах наночастинок срібла з концентрацією 0,01-1,0 мг/дм<sup>3</sup> стимулює інтенсивність дихання, енергію проростання і схожість насіння, а також накопичення біомаси сухої речовини коренів і надземної частини проростків пшениці. Максимальна стимуляція накопичення біомаси проростків у всіх варіантах відзначалася в корінні.

**Ключові слова:** наночастинки, срібло, пшениця, ріст і розвиток.

## STIMULATING EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF WHEAT

*Omelchenko A.V., Yurkova I.N., Zhizhina M.N.*

*Taurida National V.I. Vernadsky University, Simferopol, Crimea, Ukraine*

*E-mail: omelav@ukr.net*

The aim of this study was to investigate the stimulating effect of silver nanoparticles on the growth and development of wheat.

Objects of study were the seeds of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) (variety Odesskaya 267) and previously developed water-soluble bactericidal nanobiocomposition of silver. During the synthesis of silver nanoparticles sodium alginate was used as a reductant. Sodium alginate not only allows too obtain a highly stable water-soluble composition of the silver nanoparticles but has a broad spectrum of biological activity. Therefore, this method of nanoparticles production can be attributed to the «green nanochemistry». All solutions were prepared with bidistilled water.

In this paper we investigated the effect of different concentrations of silver nanoparticles on seed germination, growth and root biomass of aboveground parts of seedlings, respiration rate, as well as the accumulation of silver in the seeds. To determine the germination and growth of the biomass of seedlings seeds were soaked in solutions of silver nanoparticles with a concentration of 0,01; 0,1; 1,0 and 10,0 mg/dm<sup>3</sup> for 4 hours and then placed on moist filter paper in Petri dishes and germinated 7 days in an incubator at temperature 24 °C. Germinating power and seed germination was determined on 3<sup>rd</sup> and 7<sup>th</sup> day. Biomass of seedling roots and aerial parts were measured gravimetrically on the 7<sup>th</sup> day. The plant material was fixed for 5 minutes at 110 °C and it was brought to a constant weight at 60 °C. The respiration rate of germinating seeds was determined by the Boysen-Jensen method after 24 and 48 hours.

The silver content of the seeds after soaking in solutions with silver nanoparticles was examined by atomic absorption spectroscopy (Saturn EPAV 4) after ashing in a muffle furnace at temperature 400-450 °C. Further analysis was performed with electrothermal atomization. It was established that the treatment of wheat seeds with silver nanoparticles

increased respiration rate by 20,0-60,2 % after 48 hours and 8,5-33,3 % after 24 hours in comparison with the control. The maximum increase was observed at concentration of silver nanoparticles 1,0 mg/dm<sup>3</sup>. The accumulation of silver in the seeds after soaking them into the solutions of silver nanoparticles increased depending on the concentration in a solution and was 0,007 -1,2 mg/kg of dry mass.

When studying the effects of silver nanoparticles on the germinating power and seed germination of wheat seeds stimulation of these processes was established. Indicators of germinating power exceeded control group by 4,7-9,3 % and germination of seeds exceeded by 7,6-9,3 %. The maximum effect was observed in the seed treatments with concentration of nanosilver 0,01 -1,0 mg/dm<sup>3</sup>.

The maximum increase of dry mass of roots was observed at concentration of silver nanoparticles 0,01 mg/dm<sup>3</sup> and was 11,8 % whereas for aboveground parts it was 5,7 %. With further increase in the concentration of silver this effect was reduced and finally at concentration 10,0 mg/dm<sup>3</sup> inhibition of growth processes were observed. In all variants of the experiment maximal stimulation of biomass accumulation was observed in the roots. It can be assumed that the reduction of the positive effect is due to the silver overaccumulation in the seeds (more than 0,26 mg/kg of dry mass) which leads to the inhibition of growth processes.

**Keywords:** nanoparticles, silver, wheat, accumulation.

#### References

1. Brunner T.I., Wick P., Manser P., Spohn P. In vitro cytotoxicity of oxide nanoparticles: comparison to asbestos, silica and effect of particle solubility, *Environ. Sci. and Tech.*, **40**, 4347–4381 (2006).
2. Bovsunovskiy A.M., Vyalyiy S.O., Kaplunenko V.G. Nanotechnology kak dvizhushchaya sila agrarnoy revolyutsii, *Zerno*, **11** (31), 80–83 (2008).
3. Taran N.Yu. Tehnologiya ekologichno bezpechnogo vikoristannya nanopreparativ u adaptivnomu roslinnitstvi, *Flzika zhivogo*, **19** (2), 54–58 (2011).
4. Chen X., Schlusener H.J. Nanosilver: nano product in medical application, *Toxicol. Lett.*, **76**, 1-12 (2008).
5. Balantrapu K., Goia D. Silver nanoparticles for printable electronics and biological applications, *J. Mater Res.*, **24** (9), 2828–2836 (2009).
6. Singh R., Singh N.H. Medical Application of nanoparticles in Biological Imaging. Cell Labelling, Antimicrobial Agents and Anticancer Nanodrugs, *J. Biomed. Nanotechnol.*, **7** (4), 489–503 (2011).
7. Jiang H., Li M., Chang F.Y., Li W., Yin L.V. Physiological analysis of silver nanoparticles and AgNO<sub>3</sub> toxicity to *Spirodela polyrhiza*, *Environ Toxicol Chem.*, **31** (8), 1880–1886 (2012).
8. Choi O., Deng K.K., Kim N.J., Ross J.L., Surampalli R.Y., Hu Z. The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions and silver chloride colloids on microbial growth, *Water Res.*, **42**, 3066–3074 (2008).
9. Chaudhuri A., Kar R.K. Effect of Ethylene Synthesis and Perception Inhibitor and ABA on Seed Germination of *Vigna radiata*, *World J. of Agricultural Sciences*, **4** (S), 879–883 (2008).
10. Chekman I.S., Serdyuk A.M., Kundiev Yu.I. Nanotoksikologiya: napryamki doslidzhen (oglyad), *Dovkillya ta zdorov'ya* **48** (1), 3–7 (2009).
11. Irychuk I.D., Pliska, V.V. Fiziologichni aspekti vzaemodiyi nanomaterialiv z klitinami, *Ukrayinskiy naukovo-metodichniy zhurnal*, **4**, 168–169 (2011).
12. Yin L., Colman B.P., McGill B.M., Wright J.P., Bernhardt E.S. Effect of silver nanoparticle exposure on germination and early growth of eleven wetland plants, *PLoS One*, **7** (10), 8636–8648 (2012).
13. Stampoulis D., Sinha S.K., White J.C. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants, *Environ Sci Technol.*, **43**, 9473–9479 (2009).



14. Kuamri M., Mukherjee A., Chandrasekaran N. Effect of silver nanoparticle (SNPs) on protein and DNA content to tomato seed (*L. esculentum*), cucumber (*Cucumis sativus*) and maize (*Zea mays*), *IJHGMBMS*, **1** (1), 7–15 (2012).
15. Salama H. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.), *J. Biotechnology*, **3** (10), 190–197 (2012).
16. Pat. 10539 Ukraina, MKI7 A 61 K 33/38, A 61 K 31/715. Sposib otrimannya vodorozchinnoi bakteritsidnoi kompozitsii, shcho mistit nanochastinki sribla / Yurkova I. M., Estrela-Llopis V. R., Ryabushko V.I., Ryabushko L. I. ; zayavnik ta vlasnik patentu Tavriyskiy natsionalniy universitet imeni V. I. Vernadskogo. – № u200504475 ; zayavl. 13.05.05 ; opubl. 15.11.05. Byul. № 11.
17. Voskresenskaya O.L., Grosheva N.P., Skochilova E.A. *Fiziologiya rasteniy. Uchebnoe posobie* (Yoshkar-Ola, Mar. gos. Universitet, 2008).
18. Lakin, G.F. *Biometriya* (Moscow, High School, 1990).
19. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. Fiziologo-biokhimicheskiye mekhanizmy prorastaniya zernovok pshenitsy, *Vestnik Altayskogo agrarnogo universiteta*, **8** (82), 17–21 (2011).
20. Omel'chenko A.V., Yurkova I.N. Bugara I.A., Papiya O.M. The investigacion of influence of nanobiosilver on wheat germination and silver accumulation in grains, *Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry*, **26** (1), 146-152 (2013).
21. Labraba X. Effect of foliar applications of silver nitrate and ear removal on dioxide assimilation in wheat flag leaves during grainfilling, *Field Crops Res.*, **28**, 149-162 (1991).
22. Yakushkina N.I. *Rol fitogormonov v adaptatsii rasteniy k usloviyam sredy* (Moskva, MOPI, 1985).
23. Puzin T.I, Kirillov I.G, Yakushkina N.I. Dynamics of indoleacetic acid in the organs of potato at different stages of ontogeny and for its role in the regulation of growth of the tuber, *Bulletin of the Academy of Sciences. Biology Series*, **2**, 170–177 (2000).

Поступила в редакцию 25.01.2014 г.