



Получено: 31.07.2023 г. | Принято: 10.08.2023 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.6.354.361>

Научная статья

## ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ КРЕСС-САЛАТА

О.А.Фарус<sup>1</sup>, к.х.н., доц., ORCID: 0000-0002-1426-6534 / [farusok@yandex.ru](mailto:farusok@yandex.ru)

**Аннотация.** Работа посвящена вопросам оценки степени стимулирующего воздействия наночастиц серебра (AgNPs) на семена и проростки кресс-салата. В рамках проводимого исследования для стимулирования использовался раствор наночастиц серебра, полученных в матрице поливинилового спирта, в качестве восстанавливающего реагента применялась аскорбиновая кислота, что позволяет отнести синтезированные растворы к "зеленым нанотехнологиям". Применение наночастиц серебра в сельском хозяйстве позволяет повысить иммунитет растений. Данный эффект обусловлен бактерицидными, бактериостатическими, фунгицидными и противовирусными свойствами наночастиц серебра. Помимо этого, наночастицы серебра относятся к экзогенным элиситорам, следовательно, они обладают ростостимулирующим действием. Результаты проведенного исследования показывают, что применяемые растворы наночастиц серебра повышают энергию прорастания и всхожести семян, увеличивают биомассу сухого вещества, и концентрацию витамина С в наземной части кресс-салата. Наибольшая степень накопления серебра в случае кресс-салата наблюдается в корнях. При этом превышение допустимой концентрации серебра не наблюдается.

**Ключевые слова:** наночастицы серебра, кресс-салат, элиситор, зеленые технологии

**Для цитирования:** О.А. Фарус. Оценка действия наночастиц серебра на рост и развитие кресс-салата. НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № 6. С. 354–361. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.6.354.361>

Received: 31.07.2023 | Accepted: 10.08.2023 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.6.354.361>

Original paper

## EVALUATION OF THE EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF CRESS

О.А. Farus<sup>1</sup>, Cand. of Sci. (Chemical), Docent, ORCID: 0000-0002-1426-6534 / [farusok@yandex.ru](mailto:farusok@yandex.ru)

**Abstract.** The work is devoted to the issues of assessing the degree of stimulating effect of silver nanoparticles (AgNPs) on cress seeds and seedlings. As part of the study, a solution of silver nanoparticles obtained in a polyvinyl alcohol matrix was used for stimulation, ascorbic acid was used as a reducing agent, which makes it possible to classify the synthesized solutions as "green nanotechnologies". The use of silver nanoparticles in agriculture can improve the immunity of plants. This effect is due to bactericidal, bacteriostatic, fungicidal and antiviral properties of silver nanoparticles. In addition, silver nanoparticles are exogenous elicitors; therefore, they have a growth-stimulating effect. The results of the study show that the applied solutions of silver nanoparticles increase the energy of germination and seed germination, increase the biomass of dry matter, and the concentration of vitamin C in the ground part of cress. The greatest degree of accumulation of silver in the case of cress is observed in the roots. In this case, the excess of the permissible concentration of silver is not observed.

**Keywords:** silver nanoparticles, cress seeds, elicitor, green technologies

**For citation:** O.A. Farus. Evaluation of the effect of silver nanoparticles on the growth and development of cress. NANOINDUSTRY. 2023. V. 16, no. 6. PP. 354–361. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.6.354.361>.

<sup>1</sup> Оренбургский государственный педагогический университет, Оренбург, Россия / Orenburg State Pedagogical University, Orenburg, Russia



## ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнологии считаются одной из самых быстроразвивающихся отраслей современной науки. В настоящий момент нанотехнологии внедрились практически во все сферы современной жизни. Расширение областей применения наночастиц и наноматериалов на их основе приводит к увеличению объемов их промышленного производства. При этом необходимо помнить, что активное внедрение любых технологий в бытовую сферу жизни требует значительного расширения числа исследований по определению мер их безопасного применения. Нанотехнологии не являются исключением. Безопасность применения наночастиц связана с необходимостью оценки их воздействия на окружающую среду и живые организмы. При этом необходимо отметить, наличие противоречивой информации по результатам исследования зависимости ответных реакций тест-объектов на присутствие наночастиц в среде обитания.

Наиболее широкое применение наночастицы нашли в растениеводстве в виде коллоидного серебра. Коллоидное серебро было впервые зарегистрировано в растениеводстве в 2014 году. Данное вещество является многофазной гетерогенной системой, которая содержит частицы серебра размером от 1 до 100 нм, то есть коллоидное серебро является препаратом на основе наночастиц серебра. В настоящее время известно несколько препаратов на основе наночастиц серебра, применяемых в растениеводстве, например, "AgБион-2", "Зерокс", Серебромедин. Число подобных препаратов стремительно растет. Широкое применение наночастиц серебра не случайно. Наночастицы серебра получили очень широкое распространение в связи с тем, что они обладают бактерицидными, бактериостатическими, фунгицидными и противовирусными свойствами [1, 5-12]. При этом важно отметить, что у микроорганизмов не вырабатывается иммунитет против данных препаратов, в отличие от антибиотиков.

Проведенные современные исследования показывают, что в отношении растений активность наночастиц серебра не ограничивается описанными выше действиями. Наночастицы серебра для растений выступают в качестве экзогенного элиситора. Под элиситорами понимают факторы, вызывающие в растениях ряд неспецифических защитных реакций. Данное явление также называют неспецифическим адаптационным синдромом. Запуск данных реакций позволяет растению заранее подготовиться к отражению будущей атаки. Наночастицы серебра как элиситоры стимулируют процесс выработки активных форм кислорода (АФК), таких как пероксид водорода  $H_2O_2$ , супероксидный анион-радикал  $O_2^-$ , гидроксильный радикал  $OH$ . АФК способствуют не

## INTRODUCTION

Nanotechnology is considered to be one of the fastest growing branches of modern science. Nowadays, nanotechnology has been introduced into all spheres of modern life practically. Expanding application areas of nanoparticles and nanomaterials based on them leads to an increase in their industrial production. At the same time, it should be remembered that active introduction of any technology into the domestic life requires significant increase in the number of studies to determine measures for their safe use. Nanotechnology is no exception. The safe use of nanoparticles is associated with the need to assess their impact on the living organisms environment. At the same time, it should be noted that there is contradictory information on the results of study on response of test objects on nanoparticles presence in our environment.

The most widespread use of nanoparticles has been in crop production in the form of colloidal silver. Colloidal silver was first registered in crop production in 2014. This substance is a multiphase heterogeneous system that contains silver particles ranging in size from 1 to 100 nm, i.e. colloidal silver is a silver nanoparticle-based preparation. Now, several silver nanoparticle-based preparations are known to be used in crop production, such as AgBion-2, Zerox, and Serebromedin. The number of such preparations is growing rapidly. The wide application of silver nanoparticles is not accidental. Silver nanoparticles have become very widespread due to the fact that they have bactericidal, bacteriostatic, fungicidal and antiviral properties [1, 5-12]. It is important to note that microorganisms do not develop immunity against these drugs, unlike antibiotics.

Current studies show that, with respect to plants, silver nanoparticles activity is not limited to the actions described above. Silver nanoparticles for plants act as an exogenous elicitor. Elicitors are defined as factors that induce a number of non-specific defense responses in plants. This phenomenon is also called nonspecific adaptation syndrome. The triggering of these reactions allows plants to prepare in advance to repel future attack. Silver nanoparticles as elistors stimulate reactive oxygen species (ROS) production, such as hydrogen peroxide  $H_2O_2$ , superoxide anion radical  $O_2^-$ , hydroxyl radical  $OH$ . ROSs contribute not only to plants systemic resistance development, but also directly affect bacterial and fungal pathogens.

In addition to elicitor action, silver nanoparticles are powerful growth stimulators. The



только выработке системной устойчивости у растений, но и напрямую воздействуют на возбудителей бактериальных и грибных заболеваний.

Наночастицы серебра, помимо элиситорного действия, являются мощными стимуляторами роста. Ростостимулирующее действие обусловлено блокированием этиленовых рецепторов. Этилен ( $C_2H_4$ ) для растений является гормоном старения, стресса и созревания. Блокировка этиленовых рецепторов приводит к продлению вегетационного периода у растений. Достаточно часто эффекты с применением наночастиц серебра сравнивают с вакцинацией.

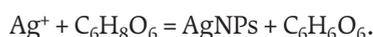
С другой стороны, серебро относится к тяжелым металлам. Согласно санитарным нормам России серебро относится к веществам второго класса опасности, то есть "высокоопасное вещество" и его чрезмерное накопление в живых организмах может привести к их гибели или к существенному угнетению развития [9].

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поэтому важно проводить экспериментальную оценку воздействия наночастиц серебра на различные виды растений. Для оценки действия наночастиц серебра на растения был выбран кресс-салат. Кресс-салат относится к растениям – биоиндикаторам. Он является однолетним овощным растением, обладающим повышенной чувствительностью к загрязнениям почвы тяжелыми металлами, а также к загрязнению воздуха газообразными выбросами автотранспорта.

Как биоиндикатор он удобен тем, что действие стрессов можно изучать одновременно на большом числе растений при небольшой площади рабочего места, при этом он имеет очень маленькие сроки прорастания и созревания, а также обладает почти стопроцентной всхожестью, которая очень сильно зависит от степени загрязнения окружающей среды. Кроме того, побеги и корни этого растения под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям (задержка роста и искривление побегов, уменьшение длины и массы корней, а также числа и массы семян).

Наночастицы серебра получали по золь-гель технологии путем восстановления ионов серебра аскорбиновой кислотой в среде поливинилового спирта [12]:



Данный способ получения наночастиц условно может быть отнесен к "зеленым нанотехнологиям". В данном синтезе в качестве восстановителя используется аскорбиновая кислота (витамин С). Витамин С является катализатором для окислительно-восстановительных процессов, протекающих в тканях

growth-stimulating effect is due to blocking of ethylene receptors. Ethylene ( $C_2H_4$ ) is an aging, stress and maturation hormone for plants. Blocking ethylene receptors leads to prolongation of growing season in plants. The effects of silver nanoparticles are often compared to vaccination.

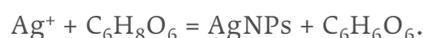
On the other hand, silver is a heavy metal. According to Russian sanitary norms, silver belongs to the second class of hazardous substances, i.e. "highly hazardous substance" and its excessive accumulation in living organisms can lead to their death or to a significant inhibition of development [9].

### RESEARCH METHODS

Therefore, it is important to experimentally evaluate the effects of silver nanoparticles on different plant species. Cress was selected to evaluate the effect of silver nanoparticles on plants. Cress belongs to bioindicator plants. It is an annual vegetable plant with increased sensitivity to soil contamination by heavy metals, as well as to air pollution by gaseous emissions from motor vehicles.

As a bioindicator, it is convenient because the effect of stresses can be studied simultaneously on a large number of plants with a small working area, and it has a very short germination and maturation time, as well as has almost one hundred percent germination rate, which is very dependent on the degree of environmental pollution. In addition, shoots and roots of this plant under pollutants influence undergo noticeable morphological changes (stunted growth and curvature of shoots, reduction of length and weight of roots, as well as number and weight of seeds).

Silver nanoparticles were prepared by sol-gel technology by reducing silver ions with ascorbic acid in polyvinyl alcohol medium [12]:



This nanoparticles production method can be conditionally referred to "green nanotechnology". In this synthesis, ascorbic acid (vitamin C) is used as a reducing agent. Vitamin C is a catalyst for redox processes occurring in plant tissues, performing proton transfer function from the cell to the intercellular fluid. Ascorbic acid increases plant resistance to infections, stress and helps in the fight against chlorosis.

Polyvinyl alcohol, used in synthesis as a stabilizer of nanoparticles, is used in agriculture in the form of hydrogels that act as a moisture-retaining sorbent [3]. The study evaluated the effect of silver nanoparticles on cress in four ways:



растений, выполняя функцию переноса протонов из клетки в межклеточную жидкость. Аскорбиновая кислота повышает сопротивляемость растений к инфекциям, стрессам и помогает при борьбе с хлорозом.

Поливиниловый спирт, применяемый в синтезе в качестве стабилизатора наночастиц, используется в сельском хозяйстве в виде гидрогелей, которые выполняют функцию влагоудерживающего сорбента [3]. В рамках исследования оценка влияния наночастиц серебра на кресс-салат проводилась по четырем направлениям:

1. на скорость прорастания семян и длину корневой системы;
2. на накопление биомассы сухого вещества;
3. на накопление серебра в частях проростка кресс-салата и его сравнение с допустимой концентрацией серебра;
4. на накопление витамина С в наземной части проростков кресс-салата.

Содержание серебра определялось в наземной части и корнях методом атомно-адсорбционного анализа по методике ГОСТ 28353.3-2017 "Серебро" на атомно-адсорбционном спектрометре "Спектр-5-3". Содержание витамина С проводили только в наземной части растения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе "Орлант".

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках экспериментального исследования была проведена оценка влияния растворов, содержащих наночастицы серебра, на прорастание семян кресс-салата. Для этого были заложены три опытные площадки. В три чашки Петри был помещен ватный диск, смоченный 5 мл следующих растворов:

- № 1 – дистиллированная вода (контроль);
- № 2 – 1% раствор аскорбиновой кислоты в поливиниловом спирте (АК/ПВС);
- № 3 – раствор наночастиц серебра (AgNPs).

В каждую чашку заложили по 50 семян кресс-салата и сверху накрыли ватным диском с аналогичным раствором. Прорастание семян вели в течение семи дней с постоянным фиксированием результатов. Для получения достоверных результатов закладывалось по три пробы. По данным наблюдения были определены энергия прорастания (третьи сутки) и всхожесть (седьмые сутки) семян кресс-салата (табл.1).

Наблюдения показывают, что наибольшая скорость набухания семян была в чашке с раствором наночастиц серебра AgNPs. Большинство семян (92,67%) раскрылись и начали прорастать в чашке № 3 на третьи сутки наблюдения, при этом в чашке № 2 раскрытие наблюдалось у 64,67%

1. seed germination rate and root system length;
2. dry matter biomass accumulation;
3. accumulation of silver in parts of cress seedlings and its comparison with permissible silver concentration;
4. accumulation of vitamin C in the above-ground parts of cress seedlings.

Silver content was determined in above-ground part and roots by atomic-adsorption analysis according to the method GOST 28353.3-2017 "Silver" on an atomic-adsorption spectrometer "Spectr-5-3". Vitamin C content was analyzed only in ground part of the plant by high-performance liquid chromatography on the "Orlant" unit.

## RESULTS AND DISCUSSION

As part of experimental study, the effect of solutions containing silver nanoparticles on the germination of cress seeds was evaluated. For this purpose, three experimental sites were laid out. A cotton disk moistened with 5 ml of the following solutions was placed in three Petri dishes:

- No. 1 – distilled water (control);
- No. 2 – 1% solution of ascorbic acid in polyvinyl alcohol (AC/PVA);
- No. 3 – silver nanoparticles solution (AgNPs).

Each cup was filled with 50 cress seeds and covered with a cotton disk with the same solution. The seeds were germinated for 7 days with constant recording of the results. To obtain reliable results, 3 samples were planted each. According to the observation data, germination energy (3 days) and germination (7 days) of cress seeds were determined (Table 1).

Observations shows that the highest rate of seed swelling was in the cup with AgNPs silver nanoparticles solution. Most of the seeds (92.67%) opened and started germination in cup number 3 on the 3rd day of observation, while 64.67% of the seeds opened in cup number 2 and 58% of the seeds opened in the first cup. Increase in germination energy and germination of seeds is a confirmation of elicitor action of silver nanoparticles. After seven days of observation, the root system of each seedling was measured and the results were plotted in the diagram (Fig.1).

The average root growth of seedlings in a Petri dish with distilled water was 0.71 cm, in a dish with ascorbic acid solution in polyvinyl alcohol was 1.24 cm, and in a Petri dish with silver nanoparticle solution was 1.87 cm.

The analysis of experimental data shows that the use of colloidal solution of silver nanoparticles AgNPs increases the germination energy and germination of cress seeds. It should be noted that



Таблица 1. Процент энергии прорастания и всхожести семян кресс-салата

Table 1. Germination energy percentage and germination of cress seeds

Условия прорастания Germination conditions	Проба I Sample I		Проба II Sample II		Проба III Sample III		Среднее значение Average value	
	Энергия прорастания, % Germination energy	Всхожесть, % Germination						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль Control	56	80	60	86	58	84	58	83,33
АК/ПВС AC/PVA	70	92	64	100	60	96	64,67	96
AgNPs	94	100	92	100	92	98	92,67	99,33

семян, а в первой чашке у 58% семян. Повышение энергии прорастания и всхожести семян является подтверждением элиситорного действия наночастиц серебра. После семи дней наблюдений были произведены замеры корневой системы каждого проростка и результаты помещены на диаграмму (рис.1).

Средний рост корней проростков в чашке Петри с дистиллированной водой – 0,71 см, в чашке с раствором аскорбиновой кислоты в поливиниловом спирте – 1,24 см, а чашке Петри с раствором наночастиц серебра – 1,87 см.

Анализ экспериментальных данных показывает, что при использовании коллоидного раствора наночастиц серебра AgNPs повышается энергия прорастания и всхожесть семян кресс-салата. При этом необходимо отметить, что идет активный рост зеленой массы. В чашке Петри с аскорбиновой кислотой, так же происходит увеличение интенсивности всхожести семян, что ожидаемо, так как аскорбиновая кислота для растений считается регулятором водного обмена и метаболизма, влияет на рост и сопротивляемость болезням.

Для оценки влияния наночастиц серебра на процессы накопления биомассы была осуществлена высадка семян кресс-салата в лотки для микрозелени, проращивание осуществлялось на кокосовом коврикe. В каждый лоток помещалось по две пачки семян и по 50 мл растворов, используемых в проращивании семян:

- №1 – дистиллированная водой (контроль);

there is an active growth of green mass. In a Petri dish with ascorbic acid, there is also an increase in seed germination intensity, which is expected, as ascorbic acid for plants is considered a regulator of water balance and metabolism, affects growth and disease resistance.

To evaluate the effect of silver nanoparticles on biomass accumulation processes, cress seeds were planted in microgreens trays, germination was carried out on a coconut mat. Two packets of seeds and 50 ml of solutions used in seed germination were placed in each tray:

- No. 1 – distilled water (control);
- No. 2 – 1% solution of ascorbic acid in polyvinyl alcohol (AC/PVA);
- No. 3 – silver nanoparticles solution (AgNPs).

The samples were watered with similar solutions. Germination period of cress microgreens under experimental conditions was 14 days. After two weeks, the samples were weighed and their silver and vitamin C content was determined (Table 2).

When visually evaluating the seedlings, it should be noted that all samples have a high degree of germination, but in packet No.3 the growth of samples was more intense.

Analysis of experimental data shows that in packet No.3 there is a regular increase in silver concentration both in aboveground part of cress and roots. In the roots accumulates silver ions tens of times more, compared to the above-ground part of



- № 2 – 1% раствор аскорбиновой кислоты в поливинилоном спирте (АК/ПВС);
- № 3 – раствор наночастиц серебра (AgNPs).

Полив образцов осуществлялся аналогичными растворами. Период проращивания микрозелени кресс-салата в условиях эксперимента составлял 14 дней. Через две недели осуществлялось взвешивание образцов и определение содержания в них серебра и витамина С (табл.2).

При визуальной оценке проростков необходимо отметить, что все образцы имеют высокую степень всхожести, но в лотке № 3 рост образцов был более интенсивным.

Анализ экспериментальных данных показывает, что в лотке № 3 наблюдается закономерное увеличение концентрации серебра, как в наземной части кресс-салата, так и в корнях. В корнях накапливается ионов серебра в десятки раз больше, по сравнению с наземной частью растения. Интересным является факт накопления серебра в растении и в случае применения дистиллированной воды. Полученные результаты позволяют сделать вывод о "добровольном" накоплении серебра растениями, и данный вывод подтверждается исследованиями других ученых [2, 6, 7]. Также необходимо отметить, что применение раствора аскорбиновой кислоты увеличивает степень усвоения серебра проростками кресс-салата. Данный факт можно объяснить переводом аскорбиновой кислоты серебра из субстрата в более доступную для растения форму.

Важно отметить, что применение раствора наночастиц серебра (AgNPs) способствует повышению выработки витамина С в кресс-салате.

Согласно современным требованиям концентрация серебра в пределах 0,03–2,0 мг/кг является

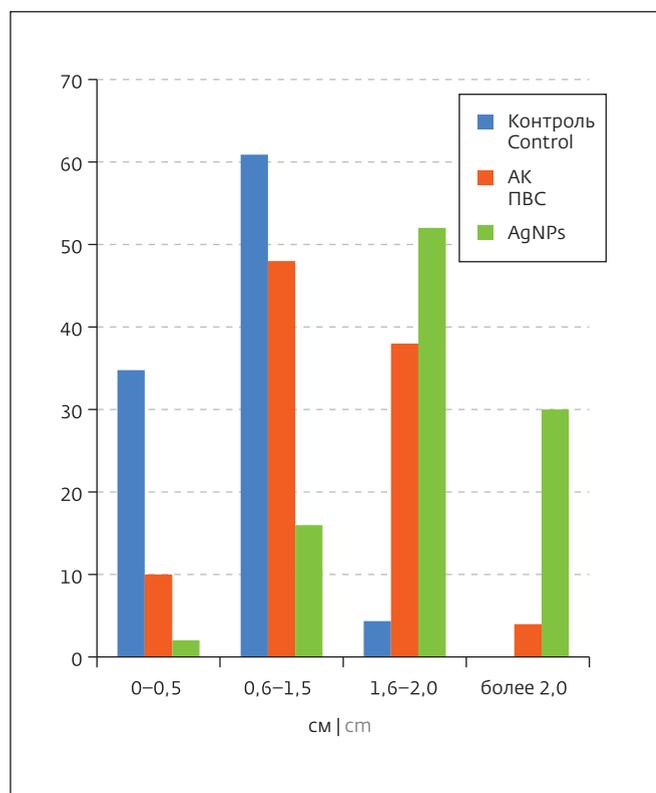


Рис.1. Диаграмма распределения проростков по значению длины корней

Fig.1. Diagram of sprouts distribution by root length value

the plant. Interesting is the fact of silver accumulation in plant and in case of distilled water application. The obtained results allow us to conclude about "voluntary" accumulation of silver in plant

Таблица 2. Оценка влияния условий проращивания кресс-салата на накопление биомассы, витамина С и серебра в проростках  
Table 2. Evaluation of the effect of cress germination conditions on biomass, vitamin C and silver accumulation in seedlings

№ лотка Packets number	Условия эксперимента Experiment conditions	Содержание серебра, мг/кг Silver content, mg/kg		Содержание витамина С, мг/100 г Vitamin C content, mg/100 g	Биомасса сухого вещества, г Dry matter biomass, g
		Наземная часть Above-ground part	Корни Roots		
1	2	3	4	5	6
1	Контроль Control	0,052	0,49	62,8	142,745
2	АК/ПВС AC/PVA	0,081	0,65	64,1	189,654
3	AgNPs	0,092	0,73	65,2	210,785



естественной концентрацией серебра в растениях, а содержание 0,5 мг/кг считается нормой [4, 8]. Важно отметить, что ни в одном образце не наблюдается превышение естественных концентраций серебра в проростках, а в наземной части проростков концентрация серебра находится на нижней границе нормы.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие общие выводы:

- применения растворов наночастиц серебра (AgNPs) в матрице поливинилового спирта, полученных путем восстановления ионов серебра аскорбиновой кислотой, способствуют увеличению скорости прорастания, накопления биомассы кресс-салатом;
- несомненно, что применение растворов наночастиц серебра (AgNPs) способствует повышенному накоплению серебра в растении, причем существенное накопление происходит в корневой части растения, в случае кресс-салата употребление наземной части безопасно для здоровья, поскольку концентрация серебра не превышает допустимые концентрации;
- применение растворов наночастиц серебра (AgNPs) для корнеплодов требует дополнительной осторожности;
- применение растворов наночастиц серебра (AgNPs) приводит к повышению концентрации витамина С в наземной части проростков кресс-салата, что является несомненным плюсом применения наночастиц серебра в агротехнике кресс-салата.

### ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

*Декларация о конфликте интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Удегова Е.С., Гильдеева К.А., Рукосуева Т.В., Съед Б. Антибактериальный эффект наночастиц металлов на антибиотикорезистентные штаммы бактерий // Инфекция и иммунитет. 2021. Т. 11, № 4. С. 771-776. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-MNA-1359>
2. Асанова А.А., Полонский В.И. Воздействие наночастиц серебра на фотосинтезирующие организмы // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 8. С. 12-15.

and this conclusion is confirmed by the studies of other scientists [2, 6, 7]. It should also be noted that ascorbic acid solution application increases the silver assimilation degree by cress seedlings. This fact can be explained by transfer by ascorbic acid of silver from the substrate into a more accessible form for the plant.

Importantly, silver nanoparticles (AgNPs) solution application enhanced vitamin C production in watercress.

According to modern requirements, silver concentration in the range of 0.03–2.0 mg/kg is the natural concentration of silver in plants, and content of 0.5 mg/kg is considered normal [4, 8]. It is important to note that in none of the samples exceeding of natural silver concentrations in seedlings is observed, and in the above-ground part of seedlings silver concentration is at the lower limit of the norm.

### CONCLUSIONS

Thus, the conducted research results allow us to draw the following general conclusions:

- application of silver nanoparticles (AgNPs) solutions in polyvinyl alcohol matrix, obtained by reduction of silver ions with ascorbic acid promotes increasing of germination rate and biomass accumulation by cress;
- there is no doubt that the use of silver nanoparticles solutions (AgNPs) contributes to increased accumulation of silver in plants, with significant accumulation occurs in the root part of the plant, in the case of cress, the use of ground part is safe for health, because the concentration of silver does not exceed permissible concentrations;
- using the silver nanoparticle solutions (AgNPs) for root crops requires extra caution;
- application of silver nanoparticles solutions (AgNPs) leads to an increase in concentration of vitamin C in the above-ground part of cress seedlings, which is an undoubted advantage of using silver nanoparticles in cress agrotechnics.

### PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

*Declaration of Competing Interest.* The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



3. Асулян Л.Д., Бояркина В.В., Агаева М.В. Гидрогели поливинилового спирта как влагоудерживающие сорбенты // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2021. № 1. С. 13-19. <https://doi.org/10.24412/2071-6176-2021-1-13-19>
4. Егорова М.В., Егорова О.В., Артемова О.В., Родионов А.С. Гигиеническая оценка условий применения коллоидного серебра в условиях сельского хозяйства // Медицина труда и экология человека. 2018. № 3(15). С. 59–63.
5. Фастовец И.А., Верховцева Н.В., Пашкевич Е.Б., Нетрусов А.И. Наночастицы серебра: токсическое действие на микроорганизмы и взаимодействие с высшими растениями // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 51–62.
6. Никишина М.Б., Иванова Е.В., Атрошенко Ю.М. Биологическая активность коллоидного серебра, синтезированного на основе водного экстракта соплодий хмеля обыкновенного // Бултеровские сообщения. 2022. Т. 72, № 10. С. 74–80. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/22-72-10-74>
7. Омельченко А.В., Юркова И.Н., Жижина М.Н. Стимулирующее действие наночастиц серебра на рост и развитие растений пшеницы // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия. 2014. Т. 27 (66), № 1. С. 127–135.
8. Ракитский В.Н., Синицкая Т.А., Федорова Н.Е., Егорова М.В. Гигиенические аспекты, связанные с применением коллоидного серебра в сельском хозяйстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №9-4 (40). С. 63–65.
9. Аكوпова Э.Г., Каде А.Х., Курносенкова Е.Ф. и др. Серебро – польза и вред // Кубанский научный медицинский вестник. 2007. № 1–2. С. 8–11.
10. Шумило М.В., Королев Д.В., Шулмейстер Г.А., Гареев К.Г. Синтез наночастиц коллоидного серебра для биомедицинского применения // Наука настоящего и будущего. 2019. Т. 3. С. 159–161.
11. Фарус О.А. Биоразлагаемые пленочные материалы на основе гидрогелей полимеров и наночастиц серебра // НАНОИНДУСТРИЯ. 2022. Т. 15, № 3–4 (114). С. 196–203. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.196.203>
12. Фарус О.А. Получение и сравнительный анализ свойств полимерных наноструктурированных пленок на основе различных органических полимеров и наночастиц серебра // Композиты и наноструктуры. 2019. Т. 11, № 3(43). С. 125–129.



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:**



Белоус А.И., Солодуха В.А.

## ОСНОВЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ. СТАНДАРТЫ, КОНЦЕПЦИИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. — 482 с.,  
ISBN 978-5-94836-612-8

**Цена 1960 руб.**

Эта книга фактически представляет собой научно-практическую энциклопедию по современной кибербезопасности. Здесь анализируются предпосылки, история, методы и особенности киберпреступности, кибертерроризма, киберразведки и киберконтрразведки, этапы развития кибероружия, теория и практика его применения, технологическая платформа кибероружия (вирусы, программные и аппаратные трояны), методы защиты (антивирусные программы, проактивная антивирусная защита, кибериммунные операционные системы). Впервые в мировой научно-технической литературе приведены результаты системного авторского анализа всех известных уязвимостей в современных системах киберзащиты — в программном обеспечении, криптографических алгоритмах, криптографическом оборудовании, в микросхемах, мобильных телефонах, в бортовом электронном оборудовании автомобилей, самолетов и даже дронов. Здесь также представлены основные концепции, национальные стандарты и методы обеспечения кибербезопасности критических инфраструктур США, Англии, Нидерландов, Канады, а также основные международные стандарты. Фактически в объеме одной книги содержатся материалы трех разных книг, ориентированных как на начинающих пользователей и специалистов среднего уровня, так и специалистов по кибербезопасности высокой компетенции, которые тоже найдут здесь для себя много полезной информации.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: [knigi@technosphere.ru](mailto:knigi@technosphere.ru); [sales@technosphere.ru](mailto:sales@technosphere.ru)