

КАЦАН В.А.<sup>1✉</sup>, ПОТОПАЛЬСЬКИЙ А.І.<sup>1,2</sup>, ЗАДОРЖНИЙ Б.О.<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Інститут молекулярної біології і генетики НАНУ,

Україна, 03680, м. Київ, вул. Акад. Заболотного, 150, e-mail: val.katsan@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут оздоровлення і відродження народів України,

Україна, 0368, м. Київ, вул. Акад. Заболотного, 150

✉ val.katsan@gmail.com

## ВПЛИВ НАНОСРІБЛА РІЗНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ НА РІСТ, ЗЕРНОВУ ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИН ВІВСА СОРТУ НЕЗЛАМНИЙ ТА НА ВМІСТ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ НА СТАДІЇ ВИКИДАННЯ ВОЛОТЕЙ

Наносрібло здатне спричинювати широкий спектр біологічних ефектів, який зумовлюється індукуванням оксидативного стресу і залежить від розмірів його часточок, їх форми, поверхневого заряду, сольватації, концентрації, тривалості дії, від вмісту певних іонів і органічних сполук у середовищі та інших умов обробки; прояв таких ефектів визначається також станом організму, типом клітин та біомолекул, що стають його мішенями [1, 2]. У зв'язку з його сильними антимікробними властивостями та меншою токсичністю для людини і тварин порівняно з іонами срібла, наносрібло набуває все більшого застосування в медицині та різноманітних галузях промисловості [2]. У зв'язку з потраплянням такого наносрібла в довкілля, в свою чергу, постає завдання поглибленого вивчення його впливу на живі організми, зокрема на рослини. Здатність наносрібла впливати на стресові сигнальні шляхи робить його привабливим для використання з метою підвищення адаптаційного потенціалу рослин, що дуже важливо для сьогодення. Раніше нашими дослідженнями показано здатність невисоких концентрацій наносрібла позитивно впливати на ріст та зернову продуктивність вівса сорту Незламний, отриманого в нашій лабораторії, та спричинювати зміни вмісту фотосинтетичних пігментів у його листках на початку викидання волотей [3, 4]. Мета цього дослідження – вивчити вплив наносрібла на зазначені параметри в широкому діапазоні його концентрації в розчинах для обробки насіння вівса.

### Матеріали і методи

В нашому дослідженні використано препарат наносрібла SS1000 (S), розроблений в Інституті надтвердих матеріалів ім. М.В. Бакуля

НАНУ [5] і люб'язно наданий нам. Розчинами препарату в широкому діапазоні концентрацій (10–60 мг/л та 600 мг/л) діяли на насіння протягом доби; рослини вирощували у відкритому ґрунті на невеликих ділянках. Інтенсивність ростових процесів оцінювали за висотою стебла при виході в трубку ( $L_{s-1}$ ). Висоту стебла при завершенні розвитку ( $L_s$ ) та елементи зернової продуктивності визначали після збирання врожаю, серед них: довжина головної волоті, **L**; кількість зерен у волоті, **G**; вага зерна з головної волоті, **W**; вага 1000 зерен, **1000W**.

На стадії викидання волотей здійснювали спектрофотометричне визначення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках одного віку: хлорофілу *a*,  $C_a$ ; хлорофілу *b*,  $C_b$ ; сумарного вмісту хлорофілів *a* та *b*,  $C_{a+b}$ ; сумарного вмісту каротиноїдів,  $C_{car}$ ; а також величини співвідношень  $C_a : C_b$  та зелених і жовтих пігментів  $C_{a+b} : C_{car}$ . У кожному з варіантів для таких аналізів відбирали по 12 рослин, кожне визначення здійснювали в 2–3 повторах. Пігменти виділяли на холоді 80 % ацетоном кваліфікації «екстра чистий» фірми Merck, спектри поглинання їх екстрактів реєстрували за допомогою спектрофотометра BioMate 5 (Thermo Scientific), вміст хлорофілів (мг/г тканини листка) визначали за формулами Вернона, каротиноїдів – Веттштейна.

### Результати та обговорення

Виявлено стимулювання ростових процесів вівса при виході в трубку (збільшення  $L_{s-1}$ ) як за максимальної концентрації **S** на 8,8 % (рис. 1,  $P < 0,001$ ), так і в 50 % варіантів із його меншою концентрацією на 4,3–5,6 % ( $P < 0,02$ ;  $P = 0,05$ ). Довжина стебла дослідних рослин при завершенні розвитку ( $L_s$ ) була значно меншою: на 12,8 % ( $P < 0,001$ ) в разі використання макси-

мальної концентрації та у 50 % варіантів з нижчими концентраціями – на 9,3–11,3 % ( $P<0,001$ ), ще в одного з них було виявлено тенденцію до зниження  $L_s$ .

Найвища концентрація  $S$  спричинювала зменшення довжини головної волоті, кількості та ваги зерен у ній (рис. 2):  $L$  знижувалася на 12,3 % ( $P<0,01$ );  $G$  – на 35,8 % ( $P<0,001$ );  $W$  – на 42,8 % ( $P<0,001$ ). За нижчих концентрацій  $S$  достовірного пригнічення довжини волоті не спостерігали; водночас у третини таких варіан-

тів було виявлено тенденцію до зниження  $G$  та ще в одному варіанті – достовірне зниження  $G$  на 19,4 % ( $P<0,05$ ); достовірне зниження  $W$  на 21,2–26,8 % проявилось в половині варіантів із нижчими концентраціями  $S$  ( $P<0,01$ ;  $P<0,05$ ) та в третини з них – тенденція до зниження цього параметра. Жодна з досліджених концентрацій  $S$  не впливала на  $1000W$ , отже, зниження врожаю зерна з волоті, про яке повідомлялося вище, зумовлюється зменшенням кількості зерен у волоті.

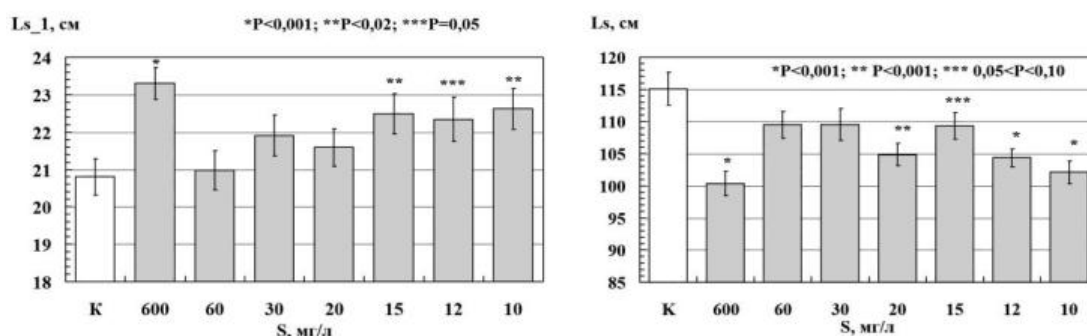


Рис. 1. Вплив концентрації наносрібла SS1000 в розчинах для обробки насіння на довжину стебла вівса сорту Незламний на стадії початку викидання волотей ( $Ls_1$ ) та під час завершення розвитку ( $Ls$ );  $n \geq 30$ .

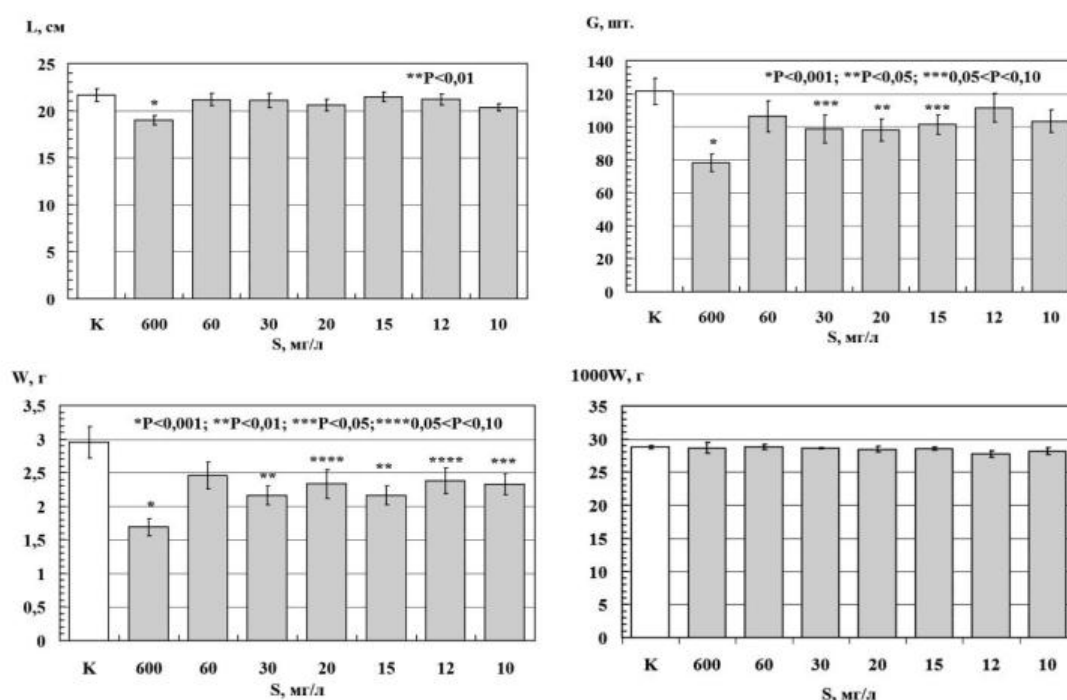


Рис. 2. Вплив концентрації наносрібла SS1000 в розчинах для обробки насіння на елементи зернової продуктивності вівса сорту Незламний; довжина головної волоті –  $L$ ; кількість зерен у волоті –  $G$ ; вага зерна з головної волоті –  $W$ ; вага 1000 зерен –  $1000W$ . Для  $L$ ,  $G$ ,  $W$   $n=20$ ; для  $1000W$   $n=6$ .

Отримані дані дають можливість зробити висновок про те, що наносрібло SS1000 здатне спричинювати стимуляцію ростових процесів

вівса при виході в трубку під час застосування його для обробки насіння перед висівом у ґрунт. Такий стимулюючий ефект виявляється менш

стабільно в діапазоні концентрацій **S**, нижчих у 10–60 разів, ніж обрана для досліджень максимальна (600 мг/л). У ході завершення розвитку рослин довжина стебла достовірно знижувалася, що є сприятливим для більшої стійкості до вилягання, і такий ефект був притаманний максимальній концентрацією **S** та половині варіантів, де **S** була нижчою в 10–60 разів. Водночас на врожай зерна з волоті наносрібло SS1000 може впливати негативно внаслідок зменшення довжини волотей та кількості зерен у них, і такий негативний вплив залежить від його концентрації в розчинах, виявляючись менш стабільно за зниження її в 10–60 разів. На виявлення біологічних ефектів наносрібла при рості рослин у відкритому ґрунті, очевидно, може впливати також комплекс наявних стресорів довкілля, особливо погодні умови, оскільки в дослідженні, проведеному раніше за значно сприятливішого літа, одна з концентрацій **S**, використаних

у цьому дослідженні, сприяла поліпшенню зернової продуктивності вівса [3].

В рослин, вирощених із обробленого насіння, спостерігали також багато змін щодо вмісту хлорофілів, каротиноїдів і співвідношеннями вмісту окремих пігментів та їх груп у листках на початку викидання волотей.

Найвища концентрація **S** (600 мг/л) спричинювала достовірне зниження вмісту хлорофілів у листках (рис. 3):  $C_a$  – на 17,1 % ( $P<0,02$ );  $C_b$  – на 18,4 % ( $P<0,001$ );  $C_{a+b}$  – на 17,1 % ( $P<0,01$ ) та тенденцію до зниження  $C_{car}$ . Зниження вмісту хлорофілів у листках виявлено в 2/3 варіантів із нижчими концентраціями **S** (60÷10 мг/л):  $C_a$  – на 16,6–19,9 % ( $P<0,01$ ;  $P<0,001$ );  $C_b$  – на 15,1–19,5 % ( $P<0,001$ ;  $P<0,01$ );  $C_{a+b}$  – на 15,6–19,9 % ( $P<0,02$ ;  $P<0,01$ ;  $P<0,001$ ); зниження  $C_{car}$  спостерігали в 83,3 % варіантів із нижчими концентраціями **S** – на 17,0–19,1 % ( $P<0,01$ ;  $P<0,001$ ).

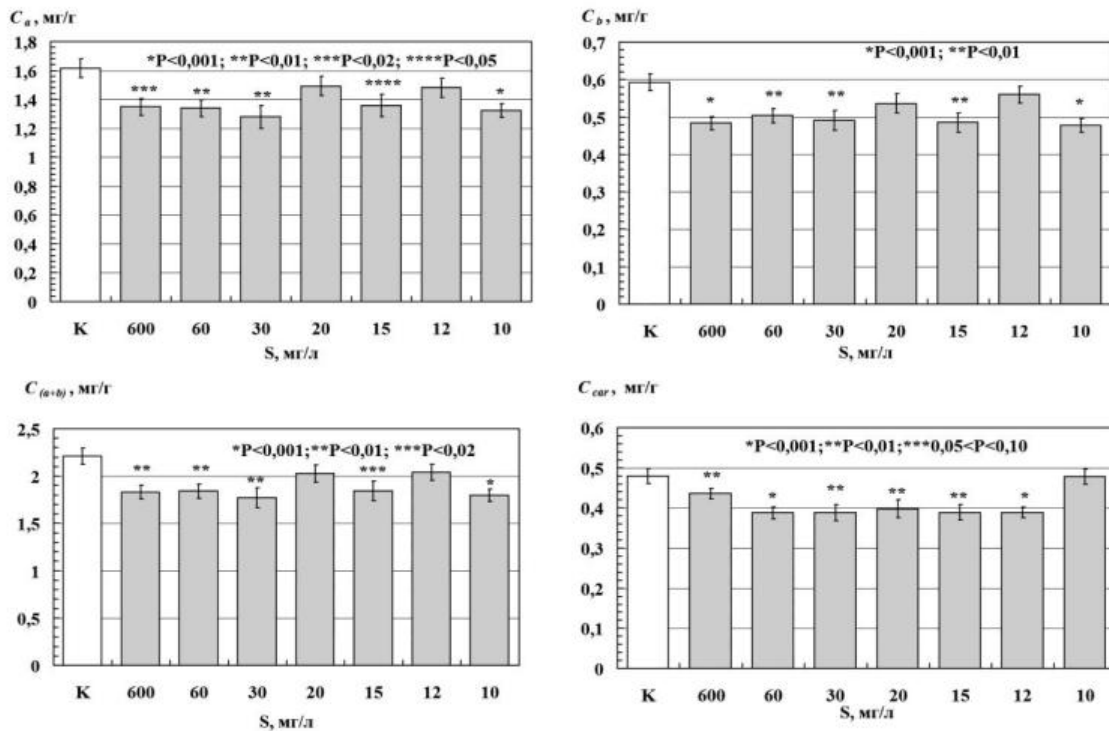


Рис. 3. Вплив концентрації наносрібла SS1000 в розчинах для обробки насіння на вміст фотосинтетичних пігментів у листках вівса сорту Незламний на стадії початку викидання волотей: хлорофілу *a*,  $C_a$ ; хлорофілу *b*,  $C_b$ ; сумарного вмісту хлорофілів *a* та *b*,  $C_{a+b}$ ; сумарного вмісту каротиноїдів  $C_{car}$ ;  $n=12$ .

Достовірно зменшення частки хлорофілів у пулі фотосинтетичних пігментів на 9,0 % ( $P<0,01$ ) спричинювала найвища концентрація **S**, в той час як одна з мінімальних концентрацій

– достовірно збільшення цього показника – на 13,6 % ( $P<0,001$ ).

Особливої уваги заслуговують зміни співвідношень вмісту хлорофілів *a* та *b*, виявлені за використання **S** в діапазоні концентрацій 60÷10

мг/л (рис. 4): достовірне збільшення частки хлорофілу  $\nu$  у третини таких варіантів на 3,05–4,97 % ( $P < 0,01$ ;  $P = 0,05$ ) та ще в одному варіанті – тенденція до збільшення частки хлорофілу  $\nu$ .

Отже, наносрібло SS1000, використане для обробки насіння вівса перед висіванням його в ґрунт, здатне спричинювати як зниження вмісту окремих фотосинтетичних пігментів, так і зміни співвідношень їх вмісту в пулі в листках вівса на початку формування врожаю. Найбільш пригнічувала вміст хлорофілів найвища з вико-

ристаних концентрацій  $S$ ; при зниженні її в 10–60 разів негативний ефект виявлявся тільки в 2/3 варіантів досліду, і він був менш вираженим; водночас такі концентрації  $S$  можуть індукувати збільшення частки хлорофілу  $\nu$  серед основних форм хлорофілу, що може свідчити про збільшення розмірів СЗК у фотосистемах таких рослин.

Отримані результати раніше були опубліковані як тези у збірнику Міжнародної конференції [6, 7].

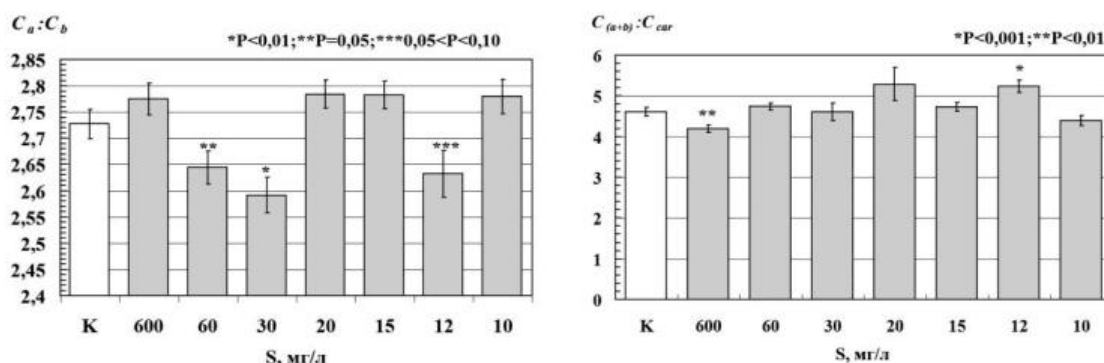


Рис. 4. Вплив концентрації наносрібла SS1000 в розчинах для обробки насіння на співвідношення вмісту основних груп фотосинтетичних пігментів у листках вівса сорту Незламний на стадії початку викидання волотей: величини співвідношень  $C_a : C_b$  та зелених і жовтих пігментів  $C_{a+b} : C_{car}$ ;  $n=12$ .

## Висновки

1. Наносрібло SS1000 здатне стимулювати ростові процеси вівса на стадії виходу в трубку, і такий стимулюючий ефект виявлявся найбільш стабільно за його концентрації в розчинах для обробки насіння 600 мг/л; при зниженні концентрації в 10–60 разів така стимуляція була менш вираженою і виявлялася в 50 % варіантів досліду.

2. Під час завершення розвитку рослин довжина стебла достовірно знижувалася, що є сприятливим для більшої стійкості до вилягання, і такий ефект був притаманний максимальній концентрації SS1000 та половині варіантів, де вона була нижчою в 10–60 разів.

3. Найвища концентрація SS1000 (600 мг/л) в цьому дослідженні негативно впливала на елементи зернової продуктивності вівса – спричинювала зменшення довжини головної волоті, кількості та ваги зерен у ній. При зниженні концентрації SS1000 в 10–60 разів такий негативний вплив був менш вираженим, зокре-

ма, достовірно зниження ваги зерна з волоті спостерігали в 50 % варіантів досліду.

4. У рослин, вирощених із обробленого насіння, спостерігали також багато змін щодо вмісту хлорофілів, каротиноїдів та співвідношеннями вмісту окремих пігментів та їх груп у листках на початку викидання волотей.

5. Достовірно зниження вмісту хлорофілів  $a$  та  $b$  у листках було притаманним для найвищої концентрації SS1000 (600 мг/л) та 2/3 варіантів із нижчими концентраціями SS1000 (60–10 мг/л).

6. Достовірно зниження вмісту каротиноїдів виявлено у листках у 83,3 % варіантів із нижчими концентраціями SS1000 (60–10 мг/л).

7. На проявлення біологічних ефектів наносрібла упродовж росту рослин у відкритому ґрунті, очевидно, може впливати також комплекс наявних стресорів довкілля, особливо погодні умови, оскільки механізм дії наносрібла, як і для чинників довкілля, полягає в індуванні оксидативного стресу, який (залежно від рівня) може виявляти стимулюючий чи деструктивний вплив.

## Література

1. Bartłomiejczyk T., Lankoff A., Kruszewski M., Szumiel I. Silver Nanoparticles – Allies or Adversaries? // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. – 2013. – 20, № 1. – P. 48–54.
2. Kaiser J.P., Roesslein M., Diener L., Wichser A., Nowack B., Wick P. Cytotoxic effects of nanosilver are highly dependent on the chloride concentration and the presence of organic compounds in the cell culture media [Electronic resource] // *J. Nanobiotechnology*. – 2017. – 15 (1). – Mode of access: <https://jnanobiotechnology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12951-016-0244-3>.
3. Кацан В.А., Юркевич Л.Н., Потопальський А.І. Ізатізон та наносрібло здатні індукувати зміни ростових процесів та продуктивності вівса сорту Незламний, які зберігаються в наступних поколіннях // *Фактори експериментальної еволюції організмів: зб. наук. праць*. – К.: Логос, 2015. – Т. 6 – С. 114–119.
4. Кацан В.А., Потопальський А.І., Юркевич Л.Н. Вплив Ізатізону і Наносрібла на вміст фотосинтетичних пігментів у вівса сорту Незламний в першому та другому поколіннях після обробки // *Фактори експериментальної еволюції організмів: зб. наук. праць*. – К.: Логос, 2016. – Т. 19. – С. 133–138.
5. Кістерська Л.Д., Співак М.Я., Перевертайло В.М., Лазаренко Л.М. та ін. Нанодисперсні суспензії срібла та їх протівірусні властивості // *Наноструктурное материаловедение*. – 2010. – № 3. – С. 62–69.
6. Potopalsky A., Yurkevich L., Katsan V. Influence of Nanosilver at Different Concentrations on the Growth and the Grain Productivity of the Oat Plant Cultivar Neznamny // *Proceedings of International conference “Advances in Cell Biology and Biotechnology”*. October 11–13, 2015, Lviv, Ukraine. – P. 132.
7. Potopalsky A., Yurkevich L., Katsan V. Influence of Nanosilver at Different Concentrations on the Photosynthetic Pigments Content in the Leaves of the Oat Plant Cultivar Neznamny in the Onset of Panicle Formation // *Proceedings of International conference “Advances in Cell Biology and Biotechnology”*. October 11–13, 2015, Lviv, Ukraine. – P. 133.

**KATSAN V.A.<sup>1</sup>, POTOPALSKY A.I.<sup>1,2</sup>, ZADOROZHNY B.O.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Molecular Biology and Genetics of Natl. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Zabolotnogo str., 150, e-mail: val.katsan@gmail.com*

<sup>2</sup> *Institute of health improvement and rebirth of the peoples of Ukraine, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Zabolotnogo str., 150*

## **INFLUENCE OF THE NANOSILVER DIFFERENT CONCENTRATIONS ON THE GROWTH, THE GRAIN PRODUCTIVITY OF THE OAT CULTIVAR NEZLAMNY AND ON THE PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT IN THE LEAVES IN THE ONSET OF PANICLE FORMATION**

**Aim.** The aim of this study is the investigations of the influence of different concentrations of the nanosilver SS1000 (S), elaborated in Institute for Superhard materials V.M. Bakul NAS of Ukraine and kindly given to us, on the growth, the grain productivity and on the photosynthetic pigments contents in the leaves of the oat cultivar Neznamny. **Methods.** The oat seeds were treated by the water solutions of S, the plants were grown in the field. The plant growth intensity was estimated by the stem length in booting. The grain productivity elements were performed after the gather in the harvest. The chlorophylls (*chl a* and *b*), the carotenoids content and the ratios *chl a/b*, chlorophylls/carotenoids were estimated in the even-aged leaves in the onset of panicles formation. **Results.** SS1000 stimulated the oat growth in booting; same time it may influence negatively on the corn crop, owing to the reduction of the panicles length and the grains number in them and such unfavorable impact depend on its content in solutions, shown less stable, when the content decreased 10–60 times. The most stable suppression of the chlorophylls content was observed also for the maximal S concentration.

**Keywords:** nanosilver SS1000, oat, growth, grain productivity, chlorophylls *a*, *b*, carotenoids.