

<https://doi.org/10.15407/frg2021.05.444>

УДК 633.34:631.81:631.53.011.2

## ВПЛИВ НАНОКАРБОКСИЛАТІВ БІОГЕННИХ МЕТАЛІВ НА ЕНЕРГІЮ ПРОРОСТАННЯ ТА ЛАБОРАТОРНУ СХОЖІСТЬ НАСІННЯ СОЇ

К.П. КУКОЛ<sup>1</sup>, П.П. ПУХТАЄВИЧ<sup>1</sup>, Л.І. РИБАЧЕНКО<sup>1</sup>, Л.Ю. СОБОЛЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

<sup>2</sup>Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
20300 Умань, вул. Садова, 2  
e-mail: katerinakukol@gmail.com

Проаналізовано вплив нанокарбоксилатів кобальту (Co), заліза (Fe), германію (Ge), міді (Cu), молібдену (Mo) та багатокомпонентного препарату аватар-2 із комплексом наночастинок мікроелементів у його складі на енергію проростання та лабораторну схожість насіння сої сортів Алмаз і Васильківська. Досліджено дію біогенних металів за обробки ними посівного матеріалу на показники маси сирі речовини, довжини сформованих проростків та накопичення сухої речовини. Виявлено стимулювальний вплив розчинів кобальту та комплексного препарату аватар-2 на енергію проростання насіння сої обох сортів, про що свідчить підвищення цього показника на 4,7–5,8 %. За дії нанокарбоксилату молібдену енергія проростання насіння сої сорту Алмаз знижувалась на 6,9 %, сорту Васильківська — 6,0 %. Встановлено відсутність інгібувального впливу більшості розчинів наночастинок біогенних металів та аватару-2 на лабораторну схожість насіння сої сортів Алмаз і Васильківська. Тенденцію до підвищення досліджуваного показника на 3,8–5,7 % виявлено за дії міді та аватару-2, якими обробляли насіння сої обох сортів, а також у варіанті з кобальтом і залізом за впливу їхніх наночастинок на проростання насіння сої сорту Алмаз. Зафіксовано зменшення порівняно з контролем маси 8-добових проростків сої залучених у роботу сортів за попередньої обробки насіння розчинами наночастинок заліза (на 6,5 і 5,0 %) та міді (на 3,3 і 7,5 %). Встановлено підвищення цього показника на 4,0–6,7 % у варіантах досліду з обома сортами сої за дії кобальту та аватару-2. Обробка насіння сої сорту Алмаз нанокарбоксилатами заліза, германію, міді та молібдену призводила до зменшення довжини проростків порівняно з контролем на 4,1–11,7 %. За обробки насіння сорту Васильківська розчинами міді й молібдену цей показник знижувався на 6,6 та 4,6 % відповідно. Збільшення довжини проростків сої сортів Алмаз і Васильківська на 11,3 та 10,8 % у досліді забезпечувала попередня обробка посівного матеріалу багатокомпонентним мікроелементним препаратом аватар-2. Отже, ми встановили відмінності у дії однокомпонентних наночастинок біогенних металів і комплексного мікроелементного препарату аватар-2 на посівні якості насіння сої та морфометричні параметри сформованих проростків. Підвищення більшості досліджуваних показників у проростках сої сортів Алмаз і Васильківська зафіксовано за впливу хелатованої форми

Цитування: Кукол К.П., Пухтаєвич П.П., Рибаченко Л.І., Соболенко Л.Ю. Вплив нанокарбоксилатів біогенних металів на енергію проростання та лабораторну схожість насіння сої. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. 53, № 5. С. 444–454. <https://doi.org/10.15407/frg2021.05.444>

кобальту і препарату аватар-2, що вказує на доцільність вивчення ефективності їх застосування для передпосівної обробки насіння *Glycine max* (L.) Merr. в умовах вегетаційних і польових дослідів.

**Ключові слова:** *Glycine max* (L.) Merr., наночастинки металів, енергія проростання, лабораторна схожість, довжина і маса проростків.

Стратегічним пріоритетом соціального та економічного розвитку будь-якої держави є підвищення рівня її продовольчої безпеки на основі нарощування виробництва продуктів харчування, поліпшення їх якості та збалансованості за поживними елементами [1]. Наукові праці багатьох вітчизняних учених присвячені дослідженню проблеми підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва в сільськогосподарських підприємствах, оскільки саме ця галузь в Україні є надзвичайно важливою.

Відомо, що при кореновому живленні рослини поглинають із ґрунтового розчину велику кількість мінеральних елементів (понад 70). На практиці найчастіше вирощувані культури забезпечують трьома основними макроелементами (N, P, K) і недооцінюють важливість своєчасного внесення мікродобрив. При цьому традиційно проблему збагачення добрив мікроелементами вирішують додаванням солей важких металів і хелатних сполук, які мало відповідають біологічним потребам рослин і здатні акумулюватися у ґрунті. Одним зі способів вирішення цієї проблеми може бути застосування нанопрепаратів у рослинництві [2]. Їх використання як мікродобрив індукує підвищення стійкості рослин до несприятливих погодних умов та інших стресових чинників, забезпечує зниження хімічного навантаження на ґрунт і збільшення врожайності майже усіх продовольчих і технічних культур [3].

Згідно з даними літературних джерел, актуальною темою стало всебічне дослідження наночастинок біогенних металів для визначення перспектив їх практичного застосування у сільському господарстві [4–6]. Отримані науковцями результати показали, що наночастинки металів і їхні оксиди здатні впливати на ріст, розвиток та урожайність культурних рослин, вони діють на клітини на фізіологічному, біохімічному та молекулярному рівнях. При цьому інтенсивність зазначеного впливу залежить як від типу наночастинок, так і від виду рослин, фаз їх розвитку, коли відбувається цей вплив, способу і тривалості його дії [6, 7].

На вітчизняному аграрному ринку вже багато років соя разом із зерновими культурами займає провідні позиції в експорті й переробці на харчову та кормову продукцію, має стратегічно важливе значення у забезпеченні продовольчої та економічної безпеки країни. Одним із найважливіших елементів технологічного процесу вирощування зернобобових культур, який сприяє підвищенню врожаю та якості отриманої продукції, є передпосівна обробка насіння [8]. При цьому слід враховувати, що усі чинники природного й антропогенного походження, які впливають на проростання насіння, викликають глибокі зміни у фізіолого-біохімічних процесах уже на ювенільних етапах розвитку насінини. Вони коригують енергію і швидкість про-

ростання, схожість насіння. У майбутньому ці якісні показники визначають дружність і густоту сходів, формування габітусу рослин, перебіг процесів диференціації, утворення генеративних органів і в кінцевому результаті продуктивність посіву [9]. Ефективним методом оцінювання нових видів добрив є фітотестування, яке широко використовують як спосіб визначення токсичності або біоактивності різних сполук, хімікатів, промислових відходів тощо [10]. Розчини хелатованих мікро- та ультрамікроелементів також застосовують для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур.

Отже, з урахуванням вищезазначеного, актуальним є дослідження впливу однокомпонентних розчинів біогенних металів, хелатованих природними карбоновими кислотами, та комплексного препарату аватар-2 (з різними елементами у його складі) на енергію проростання й лабораторну схожість насіння сої. Отримані результати дадуть змогу встановити доцільність вивчення ефективності їх застосування для передпосівної обробки насіння *Glycine max* (L.) Merr. в умовах вегетаційних та польових дослідів.

### Методика

Об'єктами дослідження були сорти сої Алмаз та Васильківська, які належать до різних екотипів і груп стиглості (табл. 1). У роботі ми використовували розчини однокомпонентних нанокарбоксилатів Co, Fe, Ge, Cu і Mo (1 : 1000) та комплексне мікродобриво аватар-2, до складу якого входять біогенні мікро-та ультрамікроелементи (Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Mo, La, Ce, Ni, V, Ti, Se, Ge, Ag, Si, K, S, I, B), хелатовані природними ди- і трикарбоновими органічними кислотами — лимонною, бурштиною, винною та яблучною.

Для проведення дослідження насіння сої обробляли у зазначених розчинах хелатованих металів упродовж 1 год. Витрату робочих розчинів нанокарбоксилатів визначали з розрахунку 10 л/1 т насіння з урахуванням маси 1000 зернин залучених у роботу сортів сої. У контролі насіння обробляли стерильною водою.

Енергію проростання і лабораторну схожість визначали методом пророщування насіння у вологій камері в чашках Петрі. Для цього на вологий фільтрувальний папір розкладали по 20 насінин сої у кожен чашку Петрі у 8-разовій повторності. Насіння інкубували за контрольованої температури +22 °С.

ТАБЛИЦЯ 1. Характеристика сортів сої, залучених у дослідження [12]

Сорт	Оригіатор	Рік реєстрації	Рекомендована зона для вирощування	Група стиглості
Алмаз	Полтавська державна аграрна академія	2007	Лісостеп	Ранньостиглий
Васильківська	Селекційно-генетичний інститут, Інститут землеробства НААН України, Інститут фізіології рослин і генетики НАН України	2003	Степ, Лісостеп, Полісся	Середньоранній

Обліки показників енергії проростання та схожості насіння сої проводили на 5-й та 8-й день згідно з Державним стандартом України 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [11]. Визначали біометричні показники — довжину, масу сирої речовини 8-добових проростків та масу накопиченої ними сухої речовини гравіметричним методом після висушування у сушильній шафі.

Отримані експериментальні дані оброблено статистично із залученням пакета програм Microsoft Excel 2019. У таблицях наведено середньоарифметичні дані та їхні стандартні похибки.

### Результати та обговорення

Енергія проростання й лабораторна схожість — основні інтегральні показники процесів росту та розвитку при перетворенні зародка у насінині на проросток. У результаті наших досліджень виявлено стимулювальний вплив розчинів кобальту та комплексного препарату аватар-2 на енергію проростання насіння сої обох сортів, про що свідчило підвищення досліджуваного показника на 4,7—5,8 %. Встановлено зниження енергії проростання насіння на 6,9 % у сої сорту Алмаз та на 6,0 % у сої сорту Васильківська за дії нанокарбоксилату молібдену (табл. 2).

Дослідники оцінюють енергію проростання насіння як головний показник його біологічної якості. У технологічному контексті цього питання те насіння, яке проросло до першого строку запланованих обліків, є найбільш життєздатним і може формувати дружні сходи в польових умовах на різних ґрунтах, а також за збільшеної глибини загортання. Крім цього, енергія проростання впливає не лише на інтенсивність і швидкість обміну речовин та активність плазми клітин, вона характеризує ступінь стійкості до хвороб і несприятливих погодних чинників у польових умовах [9]. У нашій роботі в лабораторних умовах за впливу всіх залучених у дослідження неіонних колоїдних розчинів біогенних металів на 5-й день обліку проросло більш як 80 % насіння, що вказує на його високу здатність до формування дружніх сходів.

Підвищення лабораторної схожості насіння сої сорту Алмаз на 4,3 та 5,3 % порівняно з контролем виявлено за обробки розчинами кобальту та аватару-2. За дії на посівний матеріал хелатів заліза і міді лабораторна схожість була вищою на 3,7 і 4,5 % відповідно. У варіанті з обробкою насіння сої цього сорту нанокарбоксилатами германію і молібдену досліджуваний показник був на рівні контрольного варіанта. Підвищити лабораторну схожість насіння сої сорту Васильківська на 4,6 і 5,7 % вдалося за обробки розчинами нанокарбоксилатів міді та аватару-2. Дія наночастинок заліза і молібдену за обробки насіння цього ж сорту спричинювала зниження досліджуваного показника на 3,8 і 4,6 % відповідно (див. табл. 2).

Високі значення енергії проростання і лабораторної схожості насіння сої в нашому досліді можна пояснити тим, що в роботі використано зерно минулорічного врожаю, яке було зібране з дотриманням усіх вимог і зберігалось в герметичній тарі за оптимального температурного режиму.

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив однокомпонентних нанокарбоксилатів біогенних металів та комплексного препарату аватар-2 на енергію проростання й лабораторну схожість насіння сої

Варіант	Енергія проростання, %	Лабораторна схожість, %
Сорт Алмаз		
Контроль (вода)	91,2±4,0	94,0±2,0
Со	95,5±3,1	98,0±1,0
Fe	86,7±3,8	97,5±2,0
Ge	88,9±2,9	92,5±2,5
Сu	85,5±3,7	98,2±1,0
Мо	84,9±4,5	91,8±2,0
Аватар-2	96,3±3,5	99,0±1,0
Сорт Васильківська		
Контроль (вода)	86,0±3,8	92,0±3,0
Со	90,5±3,5	93,8±4,2
Fe	82,7±4,0	88,5±3,0
Ge	84,5±3,2	90,5±3,5
Сu	83,4±3,3	96,2±3,0
Мо	80,8±4,8	87,8±3,8
Аватар-2	91,0±3,0	97,2±3,5

Відомо, що для довгострокового зберігання слід закладати насіння сої, зібране з найменшим травмуванням насінневої оболонки та сім'ядолей. Саме під час обмолоту частина зерна може деформуватися, внаслідок чого травмуються як оболонка, так і сім'ядолі, у результаті його польова схожість знижується на 15—30 %. При висіванні насіння, в якому механічно пошкоджено 10 % маси, врожайність знижується більш як на 1 ц/га [13].

У літературі є також дані з вивчення ефективності комплексного застосування нанопорошків міді, заліза і цинку із засобами захисту рослин для передпосівної обробки насіння. У дослідях із цукровими і столовими буряками захисні властивості наноматеріалів виявлені за відношенням до збудників грибних хвороб і пошкодженням рослин довгоносиками на ранніх стадіях росту і розвитку. Обробка насіння нанопорошками у комплексі з протруйником інсектицидної дії адіфур забезпечувала захист сходів від коренеїда за умов штучного зараження на рівні препарату із фунгіцидним ефектом тетраметилтіурамдисульфід (ТМТД). У дослідях із рослинами ячменю за впливу на посівний матеріал наночастинок міді, заліза і цинку урожайність дещо підвищувалась [14]. Тому можна припустити наявність подібних механізмів дії наночастинок біогенних металів проти збудників хвороб і фітофагів за умов застосування у технологіях вирощування інших сільськогосподарських культур.

Ми виявили, що маса 8-добових проростків за обробки насіння сої сортів Алмаз і Васильківська розчинами нанокарбоксилатів заліза була меншою на 6,5 і 5,0 %, нанокарбоксилатів міді — на 3,3 і 7,5 %

порівняно з контролем (табл. 3). Підвищення цього показника на 4,0—6,7 % у варіантах досліду з обома сортами встановлено за дії кобальту та аватару-2. Маса сухої речовини у проростків сої сорту Алмаз за впливу Со, Ge, Мо та аватару-2 була нижчою порівняно з контролем на 5,0—12,2 %. При цьому виявлено збільшення маси сухої речовини у проростках сої цього сорту на 4,4 % за дії нанокарбоксилату міді. У результаті аналізу 8-добових проростків сої сорту Васильківська у варіантах з обробкою насіння Со, Си і Мо підвищення досліджуваного показника становило 4,1, 6,5 та 9,8 % відповідно.

Виявлено вплив обробки насіння *Glycine max* (L.) Merr. розчинами біогенних металів на довжину проростків. Так, за замочування насіння сої сорту Алмаз розчинами нанокарбоксилатів заліза, міді і молібдену довжина проростків була меншою порівняно з рослинами контрольного варіанта на 11,7, 10,5 і 5,2 % відповідно. За обробки насіння сої сорту Васильківська розчинами Си і Мо цей показник знижувався на 6,6 і 4,6 %. Збільшення довжини проростків сої обох сортів на 11,3 і 10,8 % у досліді забезпечила обробка посівного матеріалу комплексним препаратом аватар-2 (див. табл. 3).

Із літературних джерел відомо, що замочування насіння зернобобових культур на 1 добу розчинами наночастинок молібдену і мангану сприяло підвищенню його посівних якостей [4]. При цьому лабораторна схожість насіння сої сорту Султана зростала на 5 %, квасолі сорту Мавка — на 7 %, сочевиці сорту Лінза — на 12 %.

Слід зауважити, що передпосівна обробка насіння цих культур колоїдними неіонними розчинами наночастинок церію, германію,

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив нанокарбоксилатів біогенних металів на маси сирі і сухої речовини та довжину 8-добових проростків сої сортів Алмаз і Васильківська

Варіант	Маса сирі речовини 10 проростків, г	Маса сухої речовини 10 проростків, г	Довжина проростка, мм
Сорт Алмаз			
Контроль (вода)	5,81±0,29	1,80±0,08	95,6±4,1
Со	6,17±0,30	1,70±0,06	104,3±5,9
Fe	5,43±0,20	1,74±0,05	84,4±3,7
Ge	5,83±0,27	1,71±0,06	91,7±3,9
Си	5,62±0,22	1,88±0,07	85,6±4,2
Мо	5,56±0,25	1,58±0,05	90,6±4,9
Аватар-2	6,04±0,26	1,66±0,04	106,4±6,0
Сорт Васильківська			
Контроль (вода)	4,78±0,26	1,23±0,05	98,7±4,7
Со	4,99±0,23	1,28±0,06	98,0±4,5
Fe	4,54±0,21	1,23±0,05	97,4±4,1
Ge	4,62±0,22	1,19±0,04	102,8±5,2
Си	4,42±0,23	1,31±0,07	92,2±3,8
Мо	4,91±0,24	1,35±0,06	94,2±4,0
Аватар-2	5,10±0,17	1,09±0,04	109,4±5,6

селену та міді приводила до пригнічення проростання, внаслідок чого лабораторна схожість насіння була на рівні контролю або знижувалася на 1–7 % [4]. Доведено також підвищення посівних якостей насіння нуту і сої за впливу наночастинок одновалентної міді, молібдену і срібла за їх концентрації 0,003 %. За підвищення концентрації робочого розчину наночастинок біогенних металів заліза і мангану з 0,001 до 0,003 % енергія проростання насіння сої сорту Аннушка знижувалась до 3–7 %, а лабораторна схожість насіння досліджуваних бобових культур — до 20–30 % [15]. Інші вчені також встановили, що за передпосівної обробки насіння сої наночастинками заліза, кобальту і міді, синтезованими методом водно-хімічного відновлення, у лабораторних і польових дослідках найбільший позитивний вплив на схожість насіння, ріст кореня і пагона чинив нанопорошок кобальту за його внесення 0,08 г/га. Серед цих трьох металів наномідь за використання 0,20 та 0,32 г/га чинила найбільший інгібувальний вплив на досліджувані показники [16].

Загалом показано, що наночастинок й оксиди металів по-різному можуть впливати на проростання насіння сільськогосподарських культур, при цьому зазначено відмінність цієї дії залежно від виду нанопрепарату, застосованої дози і навіть розміру частинок, однак механізми впливу на проростання насіння вивчені ще недостатньо, особливо в умовах польових дослідів [7]. Отже, основними критеріями, які визначають вплив наноматеріалів на проростання насіння, є їх тип, концентрація металів у розчині, тривалість дії та якість насіння, яке висівають.

Окрім цього, дослідники довели можливість регуляції вмісту фармакологічно цінних речовин у насінні сої елементами мінерального живлення. При цьому зазначено, що біофортифікація наночастинками металів сприяє підвищенню вмісту харчових і фармакологічно цінних сполук фенольної природи в насінні сої. Зокрема, передпосівна обробка неіонними колоїдними розчинами наночастинок металів на основі срібла, молібдену, мангану та заліза сприяла підвищенню вмісту лейкоантоціанів; вміст ізофлавононів збільшився в середньому на 30 % відносно контролю. Встановлено вірогідне зростання вмісту поліфенолів, що може свідчити про позитивний вплив передпосівної обробки неіонними колоїдними розчинами наночастинок металів на синтез та акумуляцію сполук фенольної природи в насінні сої [17].

Наведено також дані, що реакційна здатність або токсичність наноматеріалів може залежати від фізичної природи, способу отримання, розмірів, структури наночастинок чи нанокластерів та від біологічного об'єкта, на який вони діють [18, 19].

Перед застосуванням препаратів із наночастинками у їх складі в технологіях вирощування сільськогосподарських культур, у тому числі й сої, бажано попередньо дослідити безпечність та ефективність їх використання у польових умовах на основі аналізу низки фізіологічних, біохімічних показників та продуктивності. Так, працюючи над вивченням особливостей застосування у виробничих умовах препаратів на основі наночастинок заліза, кобальту і міді для передпосівної обробки насіння сої, науковці виявили, що біопрепарат з міддю збільшував висоту рослин у фазу галушення (на 9,7 %) і ма-

су вегетативної частини рослин (на 26,4 %). За використання біопрепарату з наночастинками кобальту збільшилася маса коренів вегетуючих рослин на 17,7 %, урожайність зерна сої підвищилася на 20 %, вміст білка в зерні — на 4,9 % порівняно з контролем [20].

Отже, в умовах лабораторних дослідів ми встановили відмінності у дії однокомпонентних наночастинок біогенних металів і комплексного мікроелементного препарату аватар-2 на посівні якості насіння сої та морфометричні показники сформованих проростків. Підвищення більшості досліджуваних показників у сої сортів Алмаз і Васильківська фіксували за впливу хелатованої форми кобальту і препарату аватар-2, що вказує на доцільність детальнішого вивчення ефективності їх застосування для передпосівної обробки насіння *Glycine max* (L.) Merr. в умовах вегетаційних і польових дослідів.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Нестерчук Ю.О. Споживання населенням України продуктів харчування рослинного походження: стан та напрями покращення. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Сер. Економічні науки*. 2019. **206**. С. 342—353.
2. Таран Н.Ю., Бацманова Л.М., Лопатько К.Г., Каленська С.М. Технологія екологічно безпечного використання нанопрепаратів у адаптивному рослинництві. *Фізика живого*. 2011. **19**, № 2. С. 54—58.
3. Прунцева Г.О. Нанотехнології як фактор підвищення рівня виробництва сільськогосподарської продукції у контексті забезпечення продовольчої безпеки країни. *Регіональна економіка*. 2018. № 3. С. 88—96.
4. Каленська С.М., Новицька Н.В., Максін В.І., Карпенко Л.Д., Каплуненко В.Г., Доктор Н.М. Посівні якості насіння зернобобових культур за впливу наночастинок металів, мікродобрив та імуномодуляторів. *Зрошуване землеробство*. 2018. **70**. С. 17—20.
5. Письменна Ю.М., Панюта О.О., Таран Н.Ю. Вплив передпосівної обробки насіння наночастинками срібла та міді на ріст і водоутримуючу здатність проростків озимої пшениці. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2018. **14**, № 1. С. 26—31.
6. Zhao L., Lu L., Wang A., Zhang H., Huang M., Wu H., Xing B., Wang Z., Ji R. Nanobiotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. *J. Agric. Food Chem.* 2020. **68**, N 7. P. 1935—1947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615>
7. Rizwan M., Ali S., Qayyum M.F., Ok Y.S., Adrees M., Ibrahim M., Rehman Z.U., Farid M., Abbas F. Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 2017. **322**. P. 2—16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.061>
8. Заболотний Г.М., Мазур В.А., Циганська О.І., Дідур І.М., Циганський В.І., Панцирева Г.В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності. Монографія. Вінниця: ТОВ Твори, 2020. 276 с.
9. Драган М.І., Грищенко Р.Є., Любчич О.Г., Ларіна С.В., Діденко Л.С. Посівні властивості насіння сільськогосподарських культур у кислому середовищі. *Збірник наукових праць Національного наукового центру Інститут землеробства УААН*. 2007. **2**. С. 83—88.
10. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения. *Доклады по экологическому почвоведению*. 2010. **13**, № 1. С. 1—18.
11. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
12. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік. URL: <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin> (09.10.2021).



13. Погоріла Л.Г. Посівні якості насіння сої залежно від періоду його зберігання. *Корми і кормовиробництво*. 2015. **81**. С. 78–81.
14. Паничкин Л.А., Райкова А.П. Использование нанопорошков металлов для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур. *Известия ТСХА*. 2009. **1**. С. 59–64.
15. Новицька Н., Барзо І. Посівні якості насіння бобових культур за впливу наночастинок біогенних металів. *Сборник научных трудов SWorld*. 2014. **28**, № 2. С. 30–34.
16. Ngo Q.B., Dao T.H., Nguyen H.C., Tran X.T., Van Nguyen T., Khuu T.D., Huynh T.H. Effects of nanocrystalline powders (Fe, Co and Cu) on the germination, growth, crop yield and product quality of soybean (Vietnamese species DT-51). *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2014. **5**, N 1. 015016. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/5/1/015016>
17. Ситар О.В., Новицька Н.В. Вміст біологічно активних речовин фенольної природи у насінні сої (*Glycine max* (L.) Merr.) за дії неіонних колоїдних розчинів наночастинок металів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 3. С. 61–66. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.03.10>
18. Singh A.K. Engineered nanoparticles: structure, properties and mechanisms of toxicity. Academic Press, 2015. 527 p.
19. Churilov G.I., Polischuk S.D., Kuznetsov D., Borychev S.N., Byshov N.V., Churilov D.G. (2018). Agro ecological grounding for the application of metal nanopowders in agriculture. *International Journal of Nanotechnology*. 2018. **15**, N 4–5. P. 258–279. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2018.094786>
20. Назарова А.А., Полищук С.Д., Чурилов Д.Г., Гуреева Е.В., Чурилов Г.И. Нано-биопрепараты в технологии возделывания сои сорта Светлая. *Зерновое хозяйство России*. 2017. **4**. С. 10–14.

Отримано 25.10.2021

#### REFERENCES

1. Nesterchuk, Yu.O. (2019). Consumption of food products of plant origin by the population of Ukraine: state and directions of improvement. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva. Ekonomichni nauky*, Iss. 206, pp. 342-353 [in Ukrainian].
2. Taran, N.Yu., Batsmanova, L.M., Lopatko, K.G. & Kalenska, S.M. (2011). Technology of ecologically safe using of nanopreparation in adaptive crop cultivation. *Fizyka zhyvoho*, 19, No. 2, pp. 54-58 [in Ukrainian].
3. Pruntseva, G.O. (2018). Nanotechnology as a factor in increasing the level of agricultural production in the context of ensuring food security of the country. *Rehionalna ekonomika*, No. 3, pp. 88-96 [in Ukrainian].
4. Kalenska, S.M., Novytska, N.V., Maksin, V.I., Karpenko, L.D., Kaplunenko, V.H. & Doktor, N.M. (2018). Planting crops of grain and leguminous crops by pumping metal nanoparticles, fertilizing nanoparticles and immunomodulators. *Irrigated Farming*, 70, pp. 17-20 [in Ukrainian].
5. Pysmenna, Yu.M., Panyuta, O.O. & Taran, N.Yu. (2018). The effect of pre-sowing seed treatment with nonionic colloidal solutions of silver and copper metal nanoparticles on growth and water-retaining ability of winter wheat seedlings. *Chornomors'k. bot. z.*, 14, No. 1, pp. 26-31 [in Ukrainian].
6. Zhao, L., Lu, L., Wang, A., Zhang, H., Huang, M., Wu, H., Xing, B., Wang, Z. & Ji, R. (2020). Nano-biotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. *J. Agric. Food Chem*, 68, No. 7, pp. 1935-1947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615>
7. Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Adrees, M., Ibrahim, M., Rehman, Z. U., Farid, M. & Abbas, F. (2017). Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 322, pp. 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.061>
8. Zabolotnyi, G.M., Mazur, V.A., Tsyhanska, O.I., Didur, I.M., Tsyhanskyi, V.I. & Pantsyreva, H.V. (2020). Agrobiological bases of soybean cultivation and ways of maximum realization of its productivity. *Vinnitsa: Tvory* [in Ukrainian].

9. Dragan, M.I., Grishchenko, R.E., Lyubchich, O.G., Larina, S.V. & Didenko, L.S. (2007). Sowing qualities of seeds of agricultural crops in an acidic medium. Collection of scientific works of the National Scientific Center Institute of Agriculture of NAAS, 2, pp. 83-88 [in Ukrainian].
10. Lisovitskaya, O.V. & Terekhova, V.A. (2010). Phytotest: main approaches, problems of laboratory method and actual solutions. Interactive Journal of Ecological Soil Science, 13, No. 1, pp. 1-18 [in Russian].
11. DSTU 4138-2002. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003 [in Ukrainian].
12. State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine in 2021 (2021). Kyiv, 531 p. Retrieved from <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin>
13. Pohorila, L.H. (2015). Sowing qualities of soybean seed depending on the period of its storage. Feeds and Feed Production, 81, pp. 78-81 [in Ukrainian].
14. Panichkin, L.A. & Raikova, A.P. (2009). The use of metal nanopowders for pre-sowing seed treatment of agricultural products cultures. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy, 1, pp. 59-64 [in Russian].
15. Novitskaya, N. & Barzo, I. (2014). Sowing qualities of seeds of legumes on the effect of biogenic nanoparticles of metals. Sbornik nauchnykh trudov SWorld, 28, No. 2, pp. 30-34 [in Ukrainian].
16. Ngo, Q.B., Dao, T.H., Nguyen, H.C., Tran, X.T., Van Nguyen, T., Khuu, T.D. & Huynh, T.H. (2014). Effects of nanocrystalline powders (Fe, Co and Cu) on the germination, growth, crop yield and product quality of soybean (Vietnamese species DT-51). Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 5, No. 1, 015016. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/5/1/015016>
17. Sitar, O.V. & Novitska, N.V. (2014). Content of biologically active substances of phenolic nature of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) for the actions of non-ionic colloidal solutions of nanoparticles of metals. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, No. 3, pp. 61-66 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.03.10>
18. Singh, A.K. (2015). Engineered nanoparticles: structure, properties and mechanisms of toxicity. Academic Press.
19. Churilov, G.I., Polischuk, S.D., Kuznetsov, D., Borychev, S.N., Byshov, N.V. & Churilov D.G. (2018). Agro ecological grounding for the application of metal nanopowders in agriculture. International Journal of Nanotechnology, 15, No. 4-5, pp. 258-279. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2018.094786>
20. Nazarova, A.A., Polischchuk, S.D., Churilov, D.G., Gureeva, E.V. & Churilov, G.I. (2017). The use of nano-bio-preparations in the cultivation technology of the soybean variety 'Svetlaya'. Zernovoe hozyajstvo Rossii, No. 4, pp. 10-14 [in Russian].

Received 25.10.2021

#### INFLUENCE OF NANOCARBOXYLATES OF BIOGENIC METALS ON GERMINATION ENERGY AND ON LABORATORY GERMINATION OF SOYBEAN SEEDS

*K.P. Kukol<sup>1</sup>, P.P. Pukhtaievych<sup>1</sup>, L.I. Rybachenko<sup>1</sup>, L.Yu. Sobolenko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine  
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

<sup>2</sup>Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University  
2 Sadova St., Uman, Cherkasy region, 20300, Ukraine  
e-mail: katerinakukol@gmail.com

It was analyzed the influence of nanocarboxylates of cobalt (Co), iron (Fe), germanium (Ge), copper (Cu), molybdenum (Mo) and multicomponent preparation Avatar-2 with a complex of micronutrient nanoparticles in its composition on germination energy and laboratory germination of soybean seeds of Almaz and Vasylkivska varieties. The effect of biogenic metals at treatment of seed on the indices of fresh weight and length of formed seedlings, as well as the accumulation of fresh mass was investigated. The stimulating effect

of Co solutions and the complex preparation Avatar-2 on the germination energy of soybean seeds of both varieties was revealed, as evidenced by the increase of this index by 4.7–5.8 %. A decrease in seed germination energy by 6.9 % in soybean of Almaz variety and 6.0 % in soybean of Vasykivska variety was found under the effect of Mo nanocarboxylate. The absence of inhibitory effect of most solutions of nanoparticles of biogenic metals and Avatar-2 on laboratory germination of soybean seeds of Almaz and Vasykivska varieties was established. The tendency was revealed to increase the studied index by 3.8–5.7 % under the effect of Cu and Avatar-2 in the seeds of both soybean varieties, as well as in the variants with Co and Fe under the influence of nanoparticles on the germination of soybean Almaz variety. It was noted a decrease compared to the control of the mass of 8-day-old soybean seedlings at pre-treatment of seeds with solutions of Fe (by 6.5 and 5.0 %) and Cu (by 3.3 and 7.5 %) nanoparticles. An increase of this index by 4.0–6.7 % was found in the variants of the experiment with both soybean varieties under the effect of Co and Avatar-2. Treatment of soybean seeds of Almaz variety with nanocarboxylates of Fe, Ge, Cu and Mo led to a reduction in seedling length compared to the control by 4.1–11.7 %. The decrease of this index was 6.6 and 4.6 % respectively at treating seeds of Vasykivska variety with Cu and Mo solutions. The increase in the length of soybean seedlings of Almaz and Vasykivska varieties by 11.3 and 10.8 % in the experiment was provided by pre-treatment of seed material with multicomponent microelement preparation Avatar-2. Thus, we founded differences in the effect of one-component nanoparticles of biogenic metals and the complex microelement preparation Avatar-2 on sowing qualities of soybean seeds and morphometric parameters of the formed seedlings. The increase in most of the studied indices in soybean of Almaz and Vasykivska varieties was noted under the influence of chelated form of Co and the preparation Avatar-2, which indicates the feasibility of studying the effectiveness of their use for pre-sowing treatment *Glycine max* (L.) Merr. in terms of vegetation and field experiments.

*Key words:* *Glycine max* (L.) Merr., metal nanoparticles, germination energy, laboratory germination, length and mass of seedlings.