

ВПЛИВ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ І НЕМЕТАЛІВ, БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ «АВАТАР-2 ЗАХИСТ» ТА МІКРОБНОГО ПРЕПАРАТУ «АЗОГРАН» НА СТУПІНЬ УРАЖЕННЯ КАРТОПЛІ ІНФЕКЦІЙНИМИ ХВОРОБАМИ ТА ЧАСТОТУ ЇХ ВИЯВЛЕННЯ

А.В. Васильченко

*Інститут сільськогосподарської мікробіології
та агропромислового виробництва НААН (м. Чернігів, Україна)
e-mail: top.leader.number.1@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2263-8702*

Наведено результати дослідження впливу наночастинок (НЧ) металів і неметалів, багатокomпонентного мікроелементного препарату «Аватар-2 захист» та мікробного препарату «Азогран» на ураженість картоплі інфекційними хворобами в умовах in vivo. Ураженість хворобами картоплі сорту Сувенір чернігівський вивчали у двох дрібнодільнянкових дослідах, закладених на дерново-підзолистому ґрунті та чорноземі вилугованому. Візуально оцінювали симптоми ураження бульб паршею звичайною та сухою гниллю й розраховували ступінь ураження рослин цими хворобами та частоту їх виявлення. Методом крапельної аглютинації визначали ураження рослин вірусними хворобами та розраховували частоту виявлення. Встановлено, що на дерново-підзолистому ґрунті композиція НЧ Se+I значущо знижує ступінь ураження бульб картоплі як паршею звичайною, так і сухою гниллю на 20,00 і 17,50% відповідно. Щодо препаратів «Аватар-2 захист», «Азогран» та поєднання препарату «Азогран» із композицією НЧ Se+I знижує лише ступінь ураження сухою гниллю на 22,50%. Поєднання препарату «Азогран» з композицією НЧ Se+I значущо знижує частоту виявлення та ступінь ураження паршею звичайною, частоту виявлення та ступінь ураження сухою гниллю на чорноземі вилугованому на 40,00%; 30,00; 25,00 та 30,00% відповідно, препарат «Аватар-2 захист» — частоту виявлення вірусних хвороб на 33,33–66,67% на обох ґрунтах. Вплив композиції НЧ Se+I та препаратів «Аватар-2 захист» і «Азогран» на ураженість картоплі й інших сільськогосподарських культур інфекційними хворобами потребує подальших досліджень, зокрема необхідно дослідити чисельність груп мікроорганізмів у ризосфері рослин картоплі за передпосівної обробки цими НЧ й препаратами. Отримані результати можуть бути використані при розробленні методів контролю широкого спектра інфекційних хвороб сільськогосподарських культур.

Ключові слова: нанотехнології, мікроелементний препарат, мікробний препарат, хвороби картоплі, засоби захисту рослин, картопля.

ВСТУП

Однією з важливих проблем вітчизняного картоплярства є інфекційні хвороби картоплі. Бактеріальні та грибні хвороби здатні значно знижувати врожай картоплі та погіршувати якість продукції. Вірусні хвороби можуть спричинити втрати врожаю до 80–100%.

Традиційні засоби боротьби з бактеріальними й грибними хворобами картоплі представлені переважно органічними сполуками, які можуть бути токсичними

для людини, тварин та рослин. Збудники хвороб набувають резистентності до традиційних антимікробних препаратів. Проти вірусних хвороб картоплі наразі не існує препаратів, а заходи контролю зводяться переважно до боротьби з векторами передачі цих хвороб. Тому актуальним є пошук нових високоефективних та екологічних засобів контролю інфекційних хвороб картоплі.

Наночастинки (НЧ) та мікробні препарати розглядаються вченими як альтернатива традиційним засобам контролю

інфекційних хвороб рослин. Наночастинки та мікробні препарати не токсичні для людини й тварин, не викликають стрес у рослин. На відміну від традиційних антимікробних засобів, у мікроорганізмів не розвивається резистентність до наночастинок та мікробних препаратів [1].

Тому метою роботи було вивчити вплив НЧ металів і неметалів, багатоконпонентного мікроелементного препарату «Аватар-2 захист» та мікробного препарату «Азогран» на ураженість картоплі інфекційними хворобами в умовах *in vivo*.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останнім часом у всьому світі наночастинки та мікробні препарати активно досліджуються як перспективні засоби контролю хвороб рослин. Відомо, що НЧ Cu, Ag, Se і наноккомпозит Se-арабіногалактан володіють антибактеріальною та антифунгальною активністю, знижують ураженість сільськогосподарських культур хворобами, рівень стресу рослин за ураження та індукують резистентність рослин до збудників хвороб [2–4]. У наших попередніх працях встановлено, що композиція НЧ Se+I володіє антифунгальною активністю проти фітопатогенного штаму *Fusarium* sp. 072 в умовах *in vitro* [5].

Увагу вчених привертають й антивірусні властивості наночастинок. Так, НЧ Ag володіють антивірусною активністю щодо *Tomato mosaic virus* та *Potato virus Y* [6; 7]. Наночастинки ZnO проявляють антивірусну активність щодо *Tobacco mosaic virus* [8], НЧ TiO₂ — щодо *Broad bean stain virus* [9].

Мікробні препарати також знижують ураженість сільськогосподарських культур хворобами та володіють антагоністичною активністю щодо збудників хвороб рослин. Встановлено, що мікробний препарат «Азогран» знижує ураження рослин пшениці озимої кореневими гнилями й септоспоріозом листя та колосу [10]. Відомо, що штам *Bacillus subtilis* IMV V-7023 володіє антагоністичною активністю щодо фітопатогенних грибів *Fusarium graminearum*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. sambicinum*, *F.*

culmorum, *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria alternata* та *Gliocladium roseum*, а також щодо фітопатогенних бактерій *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, *P. fluorescens*, *Erwinia carotovora* subs. *carotovora*, *Xantomonas campestris* pv. *campestris* та *Clavibacter michiganense* в умовах *in vitro* [11].

Багатоконпонентні мікроелементні препарати є перспективними, як потенційні засоби захисту рослин від хвороб. Відомо, що препарат «Аватар-2 захист» володіє антиоксидантною та протекторною активністю та підвищує продуктивність сільськогосподарських культур [12]. Наявність у складі препарату НЧ металів і неметалів може забезпечувати антимікробну активність препарату.

Незважаючи на значну кількість публікацій, вплив НЧ Zn, Ti, композиції НЧ Se+I, багатоконпонентного мікроелементного препарату «Аватар-2 захист» та мікробного препарату «Азогран» на ураженість рослин картоплі інфекційними хворобами в умовах *in vivo* не вивчались.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідях використано НЧ Zn, НЧ Ti, композицію НЧ Se+I та багатоконпонентний мікроелементний препарат «Аватар-2 захист», які розроблені д-ром техн. наук, проф. В.Г. Каплуненком та надані В.А. Дімчевим (ТОВ «Науково-виробнича компанія «Аватар»), а також мікробний препарат «Азогран», що розроблений та наданий д-ром біол. наук, проф. Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, І.К. Курдишем.

Діючими речовинами препарату «Аватар-2 захист» є йони таких хімічних елементів, як S, Cu, I, Al, Ni, Bi та V, що отримані за допомогою нанотехнологій і знаходяться в органічних сполуках із лимонною кислотою. Також до складу препарату входять такі елементи, як Mg, Zn, Fe, Mn, Co, Mo, La, Ti, Se, Ge, Si, B та Ce. Колоїдні системи НЧ Zn, НЧ Ti та композиції НЧ Se+I містять НЧ відповідних елементів як дисперсну фазу й 1,5–2,5% розчин лимонної кислоти як дисперсійне середовище.

Біоагентами мікробного препарату «Азогран» є селекціоновані штами азотфіксуювальних бактерій *Azotobacter vinelandii* ІМВ В-7076 та фосфатмобілізувальних бактерій *Bacillus subtilis* ІМВ В-7023.

Ці два досліджувані препарати зареєстровані в Україні та мають сертифікати ТОВ «Органік Стандарт».

Ураженість хворобами картоплі сорту Сувенір чернігівський визначали у двох дрібноділянкових дослідах на земельних ділянках Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН із дерново-підзолистим ґрунтом та з чорноземом вилугованим. Відповідно до загальноприйнятих методик було обрано площу облікової ділянки 9,8 м² [13]. Загальна площа обох дослідів сягала 410 м². Повторність дослідів – чотирикратна. Розміщення варіантів – систематичне двоярусне та багатоярусне.

У різних варіантах дослідів застосовувались НЧ Zn, НЧ Ti, композиція НЧ Se+I, композиція НЧ Zn+Ti+Se+I, препарат «Аватар-2 захист», мікробний препарат «Азогран» та поєднання препарату «Азогран» з композицією НЧ Se+I. Досліджувані НЧ та препарати застосовували за допомогою методу передпосівної обробки.

Для визначення ступеня ураження рослин картоплі бактеріальними та грибними хворобами з кожної повторності будь-якого варіанта викопували по 10 окремо розташованих кущів [14] та обліковували загальну кількість бульб у кущі та кількість бульб, уражених паршею звичайною й сухою гниллю. Ступінь ураження у % розраховували за формулою:

$$x = \frac{n_y}{n_k} \times 100, \quad (1)$$

де x – ступінь ураження, %; n_y – кількість уражених бульб; n_k – загальна кількість бульб із куща.

Таким чином, розрахований показник ступеня ураженості відображує скільки відсотків бульб (від загальної кількості бульб) у кожному кущі мають ознаки ураження паршею звичайною або сухою гниллю. Якщо провести аналогію з 5-бальною

шкалою ураження рослин пшениці корневими гнилями за Коршуною [15], то 1 бал відповідатиме ураженню до 20% бульб у кущі, 2 бали – 20–40, 3 бали – 40–60, 4 бали – 60–80, 5 балів – ураженню 80–100% бульб у кущі.

Зі значень ступеня ураженості кущів у кожному варіанті дослідів формували вибірки, які надалі аналізували відповідними методами статистики: для відображення середніх значень розраховувалась медіана, рівень статистичної значущості визначався за U-критерієм Мана–Уїтні. До вибірок включали лише значення ступеня ураженості більш за 0%.

Згодом розраховували частоту виявлення парші звичайної та сухої гнилі. Для цього підраховували у кожній повторності будь-якого варіанта кількість кущів, які мали симптоми ураження та розраховували частоту виявлення за формулою:

$$x = \frac{n}{10} \times 100, \quad (2)$$

де x – частота виявлення даної хвороби у повторності, %; n – кількість кущів з симптомами ураження; 10 – загальна кількість кущів, що були обліковані.

З отриманих даних формували вибірки, які аналізували відповідними методами статистики.

Для обліку ураженості рослин вірусними хворобами відбирали верхівкові листки у фазі бутонізації та перевіряли наявність вірусів методом крапельної аглютинації. Загальну частоту виявлення вірусних хвороб розраховували за формулою:

$$x = \frac{n_y}{n_3} \times 100, \quad (3)$$

де x – частота виявлення вірусної хвороби; n_y – кількість усіх рослин у цьому варіанті передпосівної обробки, в яких був виявлений вірус за 3 роки; n_3 – загальна кількість обстежених рослин у цьому варіанті за 3 роки.

Статистичну обробку даних щодо частоти виявлення та ступеня ураженості рослин хворобами проводили у програмах Microsoft Office Excel і StatSoft STATISTICA за загальноприйнятими

методиками [16]. У переважній більшості вибірок розподіл даних відрізнявся від нормального за усіма статистичними тестами, тому для відображення середніх значень досліджуваних показників розраховували медіану, а для визначення рівня значущості використовували U-критерій Мана–Уїтні.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вплив НЧ та препаратів на ураженість бульб паршею звичайною та сухою гниллю. На дерново-підзолистому ґрунті найкращим варіантом виявилась композиція НЧ Se+I, оскільки вона значущо знижувала ступінь ураження як паршею звичайною,

так і сухою гниллю на 20,00% і 17,50% відповідно (табл. 1).

Наночастинки Ti не впливали на прояви хвороб. Решта досліджуваних НЧ та препаратів впливали лише на один із цих показників. Серед таких варіантів варто відмітити препарат «Аватар-2 захист» і «Азогран» та поєднання препарату «Азогран» з композицією НЧ Se+I, де ступінь ураження сухою гниллю значущо знижувався на 22,50% (див. табл. 1).

На відміну від дерново-підзолистого ґрунту на чорноземі вилугованому спостерігалось зниження не лише ступеня ураження паршею звичайною та сухою гниллю, а й частота виявлення цих хвороб (табл. 2). У цьому досліді були отримані

Таблиця 1. Ураження бульб картоплі сорту Сувенір чернігівський за передпосівної обробки на ділянці з дерново-підзолистим ґрунтом, %

Варіант	Ураження паршею звичайною		Ураження сухою гниллю	
	середня частота виявлення	середній ступінь ураження	середня частота виявлення	середній ступінь ураження
Контроль	85,00	50,00	45,00	42,50
НЧ Zn	65,00	30,00*	30,00	40,00
НЧ Ti	70,00	47,50	40,00	30,00
Композиція НЧ Se+I	40,00	30,00*	25,00	25,00*
Композиція НЧ Zn+Ti+Se+I	55,00	30,00*	20,00	30,00
Препарат «Аватар-2 захист»	55,00	30,00	30,00	20,00*
Препарат «Азогран»	80,00	30,00	25,00	20,00*
Препарат «Азогран» + композиція НЧ Se+I	80,00	40,00	25,00	20,00*

Примітка: * значуща різниця щодо контролю згідно з U-критерієм Мана–Уїтні за рівня значущості $p < 0,05$.

Таблиця 2. Ураження бульб картоплі сорту Сувенір чернігівський за передпосівної обробки на ділянці з чорноземом вилугованим, %

Варіант	Ураження паршею звичайною		Ураження сухою гниллю	
	середня частота виявлення	середній ступінь ураження	середня частота виявлення	середній ступінь ураження
Контроль	95,00	60,00	25,00	30,00
НЧ Zn	85,00	55,00*	<5,00*	17,50*
НЧ Ti	90,00	45,00*	<5,00*	15,00
Композиція НЧ Se+I	60,00*	40,00*	<5,00*	25,00
Композиція НЧ Zn+Ti+Se+I	75,00	50,00*	<5,00*	15,00
Препарат «Аватар-2 захист»	65,00*	50,00*	<5,00	10,00*
Препарат «Азогран»	90,00	45,00*	<5,00	15,00*
Препарат «Азогран» + композиція НЧ Se+I	55,00*	30,00*	0,00*	0,00*

Примітка: * значуща різниця щодо контролю згідно з U-критерієм Мана–Уїтні за рівня значущості $p < 0,05$.

більш значущі результати в усіх варіантах.

В усіх варіантах значущо знижувався ступінь ураження паршею звичайною на 5,00–30,00%. Найкращими варіантами виявились поєднання препарату «Азогран» з композицією НЧ Se+I та композиція НЧ Se+I. У першому варіанті значущо знижувались частота виявлення та ступінь ураження паршею звичайною, частота виявлення й ступінь ураження сухою гниллю на 40,00%; 30,00; 25,00 і 30,00% відповідно, а у другому — частота виявлення й ступінь ураження паршею звичайною та частота виявлення сухої гнилі на 35,00%; 20,00 і 20,00% відповідно. Решта варіантів зменшували ці показники не так істотно (див. *табл. 2*).

Вплив НЧ та препаратів на ураженість рослин картоплі вірусними хворобами.

Встановлено, що на дерново-підзолистому ґрунті досліджувані НЧ і препарати значно знижують частоту виявлення вірусів *Potato virus X*, *Potato virus M*, *Potato virus S* та *Potato virus Y*. Найкращим варіантом виявився препарат «Аватар-2 захист», який значущо знижував частоту виявлення усіх зазначених вірусів на 41,67%; 66,67; 66,67 та 33,33% відповідно (*табл. 3*).

Близько на 41,67–66,67% композиції НЧ Se+I та НЧ Zn+Ti+Se+I значущо знижували ураженість трьома вірусами, зокрема *Potato virus X*, *Potato virus M* та *Potato virus S*. Решта варіантів впливала на частоту виявлення лише двох вірусів (див. *табл. 3*).

На ділянці з чорноземом вилугованим в усіх варіантах спостерігалось значуще зниження частоти виявлення *Potato virus X* на 33,34–41,67% (*табл. 4*).

Таблиця 3. Частота виявлення вірусних хвороб за передпосівної обробки на ділянці з дерново-підзолистим ґрунтом, %

Варіант	Загальна частота виявлення вірусних хвороб			
	<i>Potato virus X</i>	<i>Potato virus M</i>	<i>Potato virus S</i>	<i>Potato virus Y</i>
Контроль	41,67	75,00	66,67	33,33
НЧ Zn	25,00	33,33*	8,33*	8,33
НЧ Ti	0,00*	41,67	8,33*	8,33
Композиція НЧ Se+I	0,00*	25,00*	0,00*	8,33
Композиція НЧ Zn+Ti+Se+I	0,00*	25,00*	8,33*	8,33
Препарат «Аватар-2 захист»	0,00*	8,33*	0,00*	0,00*
Препарат «Азогран»	0,00*	33,33	25,00*	25,00
Препарат «Азогран» + композиція НЧ Se+I	0,00*	41,67	8,33*	33,33

Примітка: * значуща різниця щодо контролю згідно з U-критерієм Мана–Уїтні за рівня значущості $p < 0,05$.

Таблиця 4. Частота виявлення вірусних хвороб за передпосівної обробки на ділянці з чорноземом вилугованим, %

Варіант	Загальна частота виявлення вірусних хвороб			
	<i>Potato virus X</i>	<i>Potato virus M</i>	<i>Potato virus S</i>	<i>Potato virus Y</i>
Контроль	41,67	41,67	33,33	33,33
НЧ Zn	8,33*	41,67	33,33	8,33
НЧ Ti	0,00*	33,33	16,67	16,67
Композиція НЧ Se+I	0,00*	25,00	33,33	16,67
Композиція НЧ Zn+Ti+Se+I	8,33*	16,67	0,00*	8,33
Препарат «Аватар-2 захист»	0,00*	33,33	0,00*	8,33
Препарат «Азогран»	0,00*	16,67	8,33	16,67
Препарат «Азогран» + композиція НЧ Se+I	0,00*	25,00	8,33	16,67

Примітка: * значуща різниця щодо контролю згідно з U-критерієм Мана–Уїтні за рівня значущості $p < 0,05$.

Найкращими варіантами виявились композиція НЧ Zn+Ti+Se+I та препарат «Аватар-2 захист», які значущо знижували частоту виявлення *Potato virus X* (на 33,34 та 33,33% відповідно) й *Potato virus S* (на 41,67 і 33,33% відповідно). Решта варіантів впливали лише на частоту виявлення *Potato virus X* (див. *табл. 4*).

Зниження ступеня ураженості бульб сухою гниллю за передпосівної обробки композицією НЧ Se+I можливо пояснити антифунгальною активністю щодо представників роду *Fusarium*, зокрема фітопатогенного штаму *Fusarium* sp. 072 [5]. Бажаючи припустити, що передпосівна обробка композицією НЧ Se+I сприяє розвитку у ризосфері картоплі корисних ґрунтових мікроорганізмів [17] та посиленню їх антагоністичної активності, проте підтвердження цього припущення потребує подальших досліджень.

Відомо також, що НЧ селену абсорбуються рослинами, переміщуються по тканинах та зазнають біотрансформації, слугуючи джерелом селену для метаболізму рослин [18], що сприяє посиленню захисних механізмів рослин та резистентності до хвороб.

У дослідженнях ураженості рослин картоплі вірусними хворобами ми визначали частоту виявлення, проте не вивчали ступінь ураження.

На нашу думку, ступінь ураження рослин вірусними хворобами не піддається статистичній обробці. У рослинах картоплі, заражених вірусом *Potato virus Y*, вірусні частинки переміщуються по судинах флоєми та проникають у листя, стебла, корені й бульби, викликаючи системну інфекцію [19].

Схожі механізми транспорту є у *Potato virus X* та інших вірусів картоплі [20]. Отже, у будь-якої ураженої вірусом рослини ступінь ураження становитиме 100%, що робить аналіз цього показника не інформативним.

ВИСНОВКИ

На ділянці з дерново-підзолистим ґрунтом композиція НЧ Se+I сприяла значу-

щому зниженню ступеня ураження бульб картоплі сорту Сувенір чернігівський як паршею, так і сухою гниллю на 20,00% та 17,50% відповідно.

Препарати «Аватар-2 захист» і «Азогран» та поєднання препарату «Азогран» із композицією НЧ Se+I значущо знижували ступінь ураження сухою гниллю на 22,50%, проте не впливали на ступінь ураження паршею звичайною.

Препарат «Аватар-2 захист» значущо знижував частоту виявлення вірусів *Potato virus X*, *Potato virus M*, *Potato virus S* та *Potato virus Y* на 41,67%; 66,67; 66,67 і 33,33% відповідно.

На ділянці з чорноземом вилугованим найбільш значне зниження частоти виявлення парші звичайної (на 40,00%), ступеня ураження паршею звичайною (на 30,00%), частоти виявлення сухої гнилі (на 25,00%) та ступеня ураження сухою гниллю (на 30,00%) спостерігалось за дії поєднання препарату «Азогран» з композицією НЧ Se+I.

Також композиція НЧ Se+I знижувала частоту виявлення та ступінь ураження паршею звичайною й частоту виявлення сухої гнилі на 35,00%; 20,00 і 20,00% відповідно, а композиції НЧ Zn+Ti+Se+I та препарат «Аватар-2 захист» — частоту виявлення *Potato virus X* (на 33,34% та 33,33% відповідно) й *Potato virus S* (на 41,67% та 33,33% відповідно).

Перспективним є дослідження впливу композиції НЧ Se+I, багатоконпонентного мікроелементного препарату «Аватар-2 захист», мікробного препарату «Азогран» та поєднання препарату «Азогран» із композицією НЧ Se+I на ураженість картоплі інфекційними хворобами, дослідження їх ефективності за різних способів внесення, а також вивчення їх впливу на ураженість інфекційними хворобами інших сільськогосподарських культур.

Окрім того, для з'ясування механізмів зниження частоти виявлення хвороб та зниження ступеня ураженості цими хворобами рослин картоплі необхідним є проведення подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучерявенко О.О., Пиріг О.В., Будзанівська І.Г. Вплив мікробних препаратів на продуктивність та якість рослин картоплі з культури *in vitro* за дії МВК. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 4. С. 65–70.
2. Quiterio-Gutiérrez T. et al. The application of selenium and copper nanoparticles modifies the biochemical responses of tomato plants under stress by *Alternaria solani*. *International journal of molecular sciences*. 2019. Vol. 20 (8). P. 1950. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20081950>
3. Papkina A.V. et al. Complex effects of selenium-arabinogalactan nanocomposite on both phytopathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* and potato plants. *Nanotechnologies in Russia*. 2015. Vol. 10 (5). P. 484–491. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995078015030131>
4. El-Batal A.I. et al. Impact of silver and selenium nanoparticles synthesized by gamma irradiation and their physiological response on early blight disease of potato. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2016. Vol. 8 (4). P. 934–951.
5. Vasylychenko A. and Derevianko S. Antifungal activity of a composition of Selenium and Iodine nanoparticles. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2021. Vol. 69 (4). P. 491–500. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun.2021.044>
6. Noha K., Bondok A.M. and El-Dougdoug K.A. Evaluation of silver nanoparticles as antiviral agent against ToMV and PVY in tomato plants. *Sciences*. 2018. Vol. 8 (01). P. 100–111.
7. El-Shazly M.A. et al. Inhibitory effects of salicylic acid and silver nanoparticles on *Potato virus Y*-infected potato plants in Egypt. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2017. Vol. 6 (3). P. 835–848.
8. Cai L. et al. Preventing viral disease by ZnONPs through directly deactivating TMV and activating plant immunity in *Nicotiana benthamiana*. *Environmental Science: Nano*. 2019. Vol. 6 (12). P. 3653–3669. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9EN00850K>
9. Elsharkawy M.M. and Derbalah A. Antiviral activity of titanium dioxide nanostructures as a control strategy for broad bean strain virus in faba bean. *Pest management science*. 2019. Vol. 75 (3). P. 828–834. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5185>
10. Корнійчук О.В. та ін. Вплив комплексного бактеріального препарату Азогран на врожайність пшениці озимої. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2018. № 27. С. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.27.67-73>
11. Roi A.A., Reva O.N., Kurdish I.K. and Smirnov V.V. Biological Properties of the Phosphorus-Mobilizing *Bacillus subtilis* Strain IMV V-7023. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2004. Vol. 40 (5). P. 476–481. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:ABIM.0000040671.26369.19>
12. Davydova O.E. et al. Evaluation of biological activity of microelement complex Avatar-2 for its application for pre-treatment of wheat seeds. *Биоресурси і природокористування*. 2014. Vol. 6 (5–6). P. 72–78.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Бондарчук А.А. та ін. Методика дослідної справи в картоплярстві. Вінниця: «Нілан-ЛТД», 2019. 470 с.
15. Кирик М.М. та ін. Хвороби кореневої системи рослин: метод. посіб. Київ, 2010. 163 с.
16. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. Москва: МедиаСфера, 2002. 305 с.
17. Derevianko S. and Vasylychenko A. Reproduction of the strain of bacteria *Bacillus Subtilis* IMV B-7023 in the presence of nanomaterials with different chemical composition. *Innovative scientific researches: european development trends and regional aspect: collective monograph / Z. Haladzshun et al. (Eds.)*. Publishing House «Baltija Publishing», 2020. P. 113–135. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-38-9-56>
18. Wang K. et al. Uptake, translocation and biotransformation of selenium nanoparticles in rice seedlings (*Oryza sativa* L.). *Journal of nanobiotechnology*. 2020. Vol. 18 (1). P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12951-020-00659-6>
19. *Potato virus Y*: biodiversity, pathogenicity, epidemiology and management / C. Lacomme et al. (Eds.). Basel, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. 261 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58860-5>
20. Desk encyclopedia of plant and fungal virology / B.W. Mahy and M.H. Van Regenmortel (Eds.). Elsevier, 2010. 613 p.

REFERENCES

1. Kucheryavenko, O., Pyrih, O. & Budzanivska, I. (2017). Vplyv mikrobykh preparativ na produktyvnist' ta yakist' roslin kartopli z kul'tury in vitro za diyi MVK [Influence of microbial preparations on productiveness and quality of potato plants from in vitro culture under PVM]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 4, 65–70 [in Ukrainian].
2. Quiterio-Gutiérrez, T. et al. (2019). The application of selenium and copper nanoparticles modifies the biochemical responses of tomato plants under stress by *Alternaria solani*. *International journal of molecular sciences*, 20 (8), 1950. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20081950> [in English].
3. Papkina, A.V. et al. (2015). Complex effects of selenium-arabinogalactan nanocomposite on both

- phytopathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* and potato plants. *Nanotechnologies in Russia*, 10 (5), 484–491. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995078015030131> [in English].
4. El-Batal, A.I. et al. (2016). Impact of silver and selenium nanoparticles synthesized by gamma irradiation and their physiological response on early blight disease of potato. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8 (4), 934–951 [in English].
 5. Vasylenko, A. & Derevianko, S. (2021). Antifungal activity of a composition of Selenium and Iodine nanoparticles. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 69 (4), 491–500. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun.2021.044> [in English].
 6. Noha, K., Bondok, A.M. & El-DougDoug, K.A. (2018). Evaluation of silver nanoparticles as antiviral agent against ToMV and PVY in tomato plants. *Sciences*, 8 (01), 100–111 [in English].
 7. El-Shazly, M.A. et al. (2017). Inhibitory effects of salicylic acid and silver nanoparticles on *Potato virus Y*-infected potato plants in Egypt. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 6 (3), 835–848 [in English].
 8. Cai, L. et al. (2019). Preventing viral disease by ZnONPs through directly deactivating TMV and activating plant immunity in *Nicotiana benthamiana*. *Environmental Science: Nano*, 6 (12), 3653–3669. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9EN00850K> [in English].
 9. Elsharkawy, M.M. & Derbalah, A. (2019). Antiviral activity of titanium dioxide nanostructures as a control strategy for broad bean strain virus in faba bean. *Pest management science*, 75 (3), 828–834. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5185> [in English].
 10. Kornichuk, O.V. et al. (2018). Vplyv kompleksnoho bakteriálního preparatu Azohran na vrozhaïnist pshenytsi ozymoi [Influence of the complex bacterial preparation azohran on winter wheat yield]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural microbiology*, (27), 67–73. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.27.67-73> [in Ukrainian].
 11. Roi, A.A., Reva, O.N., Kurdish, I.K. & Smirnov, V.V. (2004). Biological Properties of the Phosphorus-Mobilizing *Bacillus subtilis* Strain IMV V-7023. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 40 (5), 476–481. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:ABIM.0000040671.26369.19> [in English].
 12. Davydova, O.E. et al. (2014). Evaluation of biological activity of microelement complex Avatar-2 for its application for pre-treatment of wheat seeds. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia – Life and environmental sciences*, 6 (5–6), 72–78 [in English].
 13. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniï)* [Methodology of field trial (with the basics of statistical analysis of the results)]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
 14. Bondarchuk, A.A. et al. (2019). *Metodyka doslidnoi spravy v kartopliarstvi* [Methodology of research in potato growing]. Vinnytsia: «Nilan-LTD» [in Ukrainian].
 15. Kyryk, M.M. et al. (2010). *Khvoroby korenevoi systemy rosllyn: metod. posibnyk* [Diseases of plant roots: methodology guide]. Kyiv [in Ukrainian].
 16. Rebrova, O.Yu. (2002). *Statisticheskyy analiz meditsynskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA* [Statistical analysis of medical data. Application of applied programs package STATISTICA]. Moskva: MediaSfera [in Russian].
 17. Derevianko, S., Vasylenko, A. & Haladzhun Z. et al. (Eds.). (2020). Reproduction of the strain of bacteria *Bacillus Subtilis* IMV B-7023 in the presence of nanomaterials with different chemical composition. *Innovative scientific researches: european development trends and regional aspect: collective monograph* (pp. 113–135). Publishing House «Baltija Publishing». DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-38-9-56> [in English].
 18. Wang, K. et al. (2020). Uptake, translocation and biotransformation of selenium nanoparticles in rice seedlings (*Oryza sativa* L.). *Journal of nanobiotechnology*, 18 (1), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12951-020-00659-6> [in English].
 19. Lacomme, C. et al. (Eds.). (2017). *Potato virus Y: biodiversity, pathogenicity, epidemiology and management*. Basel, Switzerland. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58860-5> [in English].
 20. Mahy, B.W. & Van Regenmortel, M.H. (Eds.). (2010). *Desk encyclopedia of plant and fungal virology*. Elsevier [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 20.08.2021