ВПЛИВ НАНОЧАСТИНОК, БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ «АВАТАР-2 ЗАХИСТ» ТА МІКРОБНОГО ПРЕПАРАТУ «АЗОГРАН» НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КАРТОПЛІ СОРТУ СУВЕНІР ЧЕРНІГІВСЬКИЙ В УМОВАХ ПОЛІССЯ

А. В. ВАСИЛЬЧЕНКО,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2263-8702>,

E-mail: top.leader.number.1@gmail.com

*Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового
виробництва НААН України, аспірант**

Анотація. Удосконалення традиційної технології вирощування картоплі має важливе науково-практичне значення для сільського господарства. Останнім часом наночастинки (НЧ) привертають увагу вчених як перспективні засоби підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Встановлено, що НЧ таких хімічних елементів як Fe, Zn, B, Si, Cu, Co, Se та Ag здатні значно підвищувати продуктивність картоплі. Відомо, що НЧ Ag проявляють синергізм із деякими мікробними препаратами. Проте вплив НЧ таких елементів як Zn та Se на продуктивність картоплі та сумісне застосування НЧ із мікробними препаратами для передпосівної обробки вивчені не достатньо. Не вивченими залишаються вплив НЧ Ti та I на продуктивність картоплі, вплив НЧ на продуктивність вітчизняних сортів картоплі, вплив НЧ на продуктивність картоплі в умовах Полісся. Метою дослідження було вивчити вплив передпосівної обробки картоплі НЧ Zn, НЧ Ti, композицією НЧ Se + I, композицією НЧ Zn + Ti + Se + I, багатокомпонентним мікроелементним препаратом «Аватар-2 захист», мікробним препаратом «Азогран» та поєднанням мікробного препарату «Азогран» із композицією НЧ Se + I на урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський в умовах Полісся. Для проведення дослідження три роки поспіль було закладено дрібноділянкові досліди на дерново-підзолистому ґрунті та на чорноземі вилугованому. Ділянки розташовувалися на землях Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН у Чернігівській області. Отримані дані щодо урожаю картоплі були проаналізовані згідно із загальноприйнятими методами статистичного аналізу. Встановлено, що серед усіх варіантів передпосівної обробки найбільший вплив на урожай

* Науковий керівник – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник С. В. Дерев'янюк

виявили композиція НЧ Se + I, мікробний препарат «Азогран» та поєднання препарату «Азогран» із композицією НЧ Se + I, збільшуючи урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський на дерново-підзолистому ґрунті в середньому відповідно на 33,13; 38,34 та 45,35 % та на чорноземі вилужованому – на 10,97; 17,98 та 37,27 %. Виявлено, що композиція наночастинок Se + I та препарат «Азогран» проявляють синергізм. Отримані дані вказують на високу перспективність використання НЧ у поєднанні з мікробними препаратами в картоплярстві.

Ключові слова: картопля, урожай, нанотехнології, наночастинки, мікробний препарат, мікроелементний препарат

Актуальність.

Картопля – одна з найважливіших, продовольчих, технічних та кормових культур в Україні та в усьому світі. Удосконалення традиційних методів вирощування картоплі є важливим завданням аграрного виробництва. Серед новітніх методів вдосконалення технології вирощування картоплі важливе місце посідають нанотехнології. Численними дослідженнями встановлений позитивний вплив наночастинок (НЧ) різних хімічних елементів та сполук на продуктивність рослин, зокрема, картоплі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження впливу НЧ на продуктивність рослин, зокрема, картоплі, надзвичайно актуальний напрям сучасної науки. Встановлено, що НЧ багатьох хімічних елементів, серед яких метали, неметали, напівметали, можуть значно підвищувати урожай картоплі, знижувати ураженість рослин хворобами, підвищувати поживну цінність бульб тощо.

Встановлено, що НЧ Fe підвищують вміст мінеральних речовин у бульбах картоплі, швидкість росту листків, вагу та одноманітність роз-

міру бульб, швидкість дозрівання, урожай картоплі та низка інших важливих показників (Davies, 2018). Досліджено, що НЧ Zn, B, Si та цеоліту підвищують урожай бульб картоплі (Mahmoud, 2020).

Виявлено, що НЧ Fe, Cu, Co та CuO позитивно впливають на площу листових пластинок рослин картоплі, урожай бульб, кількість бульб на рослину, середню масу 1 бульби, вміст у бульбах крохмалю, вітаміну С та вітаміну PP (Samoylova та ін., 2017). Встановлено, що НЧ Se підвищують здатність листків картоплі утримувати вологу та стійкість до підвищених температур та підвищують урожай картоплі (Cherniakova та ін., 2019).

За результатами досліджень НЧ Ag у комбінації з мікробним препаратом Нітроксин, який містить штами азотфіксувальних бактерій виду *Enterobacter cloacae* та родів *Pseudomonas* та *Azotobacter*, підвищують розміри мінібульб, кількість мінібульб на рослину, середню масу 1 мінібульби та урожай мінібульб картоплі (Davod та ін., 2011). Встановлено, що гібридні стабілізовані полігексаметилен бігуанід гідрохлоридом НЧ Ag підвищують урожай та товарність бульб картоплі (Krutayakov та ін., 2017). В умовах *in vitro* НЧ Ag за певних концентрацій зменшують

довжину стебел рослин картоплі, проте, значно збільшують довжину коренів, площу листових пластинок, суху масу стебел та коренів. Також НЧ Ag підвищували загальний уміст хлорофілу, антоціанів, флавоноїдів та фенолів. Уміст проліну не змінювався. НЧ Ag дещо підвищували концентрацію H_2O_2 у тканинах рослин картоплі та перекисне окиснення ліпідів (Nomaee & Ehsanpour, 2015).

Досліджено, що НЧ SiO_2 за певних концентрацій підвищують масу стебел та листків рослин картоплі, кількість та масу бульб на рослину, вміст хлорофілу та каротиноїдів та не впливають на електрофоретичну мобільність ДНК, що свідчить про відсутність токсичності (Mushinskiy та ін., 2018).

Встановлено, що НЧ Na_2SiO_3 підвищують квантовий вихід фотосистеми II, вміст каротиноїдів у тканинах картоплі, антиоксидантну активність 1,1-дифеніл-2-пікрилгідрозилу, кількість бульб на рослину, урожай бульб та вміст у бульбах сухої речовини (Kafi та ін., 2019).

Отже, використання наночастинок у технології вирощування картоплі має перспективи. Проте, вплив НЧ Zn, Ti, Se, I, їхніх композицій та препаратів, розроблених на основі великого спектра наночастинок, одночасне застосування наночастинок та мікробних препаратів досліджено не достатньо.

Мета дослідження – вивчити вплив передпосівної обробки НЧ Zn, НЧ Ti, композицією НЧ Se + I, композицією НЧ Zn + Ti + Se + I, препаратом «Аватар-2 захист», мікробним препаратом «Азогран» та поєднаням препарату «Азогран» із композицією НЧ Se + I на урожай картоплі сорту Сувенір чорнігівський в умовах Полісся.

Матеріали і методика дослідження.

У дослідях використано НЧ Zn, НЧ Ti, композицією НЧ Se + I та багатокомпонентний мікроелементний препарат «Аватар-2 захист» розроблені д.т.н., професором Каплуненком В. Г. та люб'язно надані Дімчевим В. А. (ТОВ «Науково-виробнича компанія «Аватар»), мікробний препарат «Азогран» розроблений та люб'язно наданий доктором біологічних наук, професором, завідувачем відділу мікробіологічних процесів на твердих поверхнях Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України І. К. Курдишем, за що автор висловлює щире вдячність.

Багатокомпонентний мікроелементний препарат «Аватар-2 захист» призначений для захисту сільськогосподарських культур від фунгальних, бактеріальних та вірусних хвороб. Препарат містить НЧ щонайменше 13 хімічних елементів та володіє фунгіцидною, бактерицидною та інсектоакарицидною активністю. Препарат «Аватар-2 захист» є стресопротектором та сприяє підвищенню стійкості рослин до умов посухи, безсніжних заморозків і засоленню ґрунтів (Каплуненко та ін., 2017; Дерев'янка та ін., 2019).

Мікробний препарат «Азогран» – це комплексний бактеріальний препарат, що містить селекціоновані штами азотфіксуювальних бактерій *Azotobacter vinelandii* IMB B-7076 та фосфатмобілізувальних бактерій *Bacillus subtilis* IMB B-7023. Препарат володіє ріст-регуляторною активністю та інсектицидною активністю, підвищує продуктивність сільськогосподарських культур, покращує схожість сіянців лісових культур (Корнійчук та ін., 2018; Курдиш та ін., 2021).

Для дослідження впливу НЧ та препаратів «Аватар-2 захист» і «Азогран» на урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський було закладено два дрібноділянкові досліді на земельних ділянках Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (ІСМАВ НААН). Перша ділянка з дерново-підзолистим ґрунтом, друга – з чорноземом вилугованим.

Дерново-підзолистий ґрунт мав такі вихідні агрохімічні характеристики орного шару: вміст гумусу (за Тюрнімом) – 1,1 %; рН сольової витяжки – 5,0; гідролітична кислотність (за Каппеном) – 2,5 м-екв. на 100 г; вміст P_2O_5 (за Кірсановим) – 170,0; K_2O (за Масловою) – 62,0 мг на 1 кг ґрунту (Волкогон та ін., 2013).

Чорнозем вилугований мав такі вихідні агрохімічні характеристики орного шару: вміст гумусу становив 3,56 %; рН_{сольовий} – 5,2-5,5; сума увібраних основ – 12,5-14,0 мг-екв. на 100 г ґрунту; вміст азоту, що легко гідролізується (за Корнфільдом) – 95-100 мг; рухомих форм фосфору (за Кірсановим) – 108-111 мг K_2O на 1 кг ґрунту (Копилов та ін., 2009).

Відповідно до загальноприйнятих методик була обрана площа облікової ділянки 9,8 м² (Доспехов, 1985). Загальна площа обох дослідів складала по 410 м².

Повторність обох дослідів чотирикратна. Агротехніки, що застосовувалися на ділянках наведені у таблиці 1.

У різних варіантах досліді застосовувались НЧ Zn, НЧ Ti, композиція НЧ Se + I, композиція НЧ Zn + Ti + Se + I, мікробний препарат «Азогран» та поєднання препарату «Азогран» із композицією НЧ Se + I. Для оцінки їхньої активності використовувалась передпосівна обробка насіння картоплі розчинами цих препаратів.

Розміщення варіантів систематичне двоярусне та систематичне багаторярусне. Передпосівна обробка насіння картоплі здійснювалась за схемою, що наведена в таблиці 2.

Дані про температурний режим та опади впродовж періоду проведення досліді наведені в таблиці 3.

Для обліку урожаю з кожної облікової ділянки викопували по 10 окремо розташованих кущів (Доспехов, 1985; Бондарчук та ін., 2019) та зважували загальну масу бульб із кожного куща. За значенням загальної маси бульб із кожного куща здійснювали перерахунок у т/га за формулою:

$$x = \frac{(m \times 41000)}{1000000}$$

Де x – урожайність, т/га, m – маса бульб з одного куща, г, 41000 – норма висіву, бульб/га, 1000000 – кількість грамів в 1 т.

1. Агротехніки, що застосовувались на дослідних ділянках

Агротехніки	Ділянка на дерново-підзолистому ґрунті	Ділянка на чорноземі вилугованому
Обробіток ґрунту	Дискування, нарізання гребнів	Дискування, нарізання гребнів
Внесення мінеральних добрив (за д. р.)	$N_{96}P_{96}K_{96}$ (нітроамофоска)	$N_{96}P_{96}K_{96}$ (нітроамофоска)
Внесення органічних добрив	не вносились	не вносились
Норма висіву	41000 бульб / га	41000 бульб / га
Ширина міжрядь	70 см	70 см

2. Схема дрібноділянкових дослідів

Варіант	Навантаження, л/т	Концентрація розчину / препарату	Концентрація (на 1 бульбу)
Контроль (Проточна вода)	1	-	-
НЧ Zn	1	4000 мг/л	97,6 мкг
НЧ Ti	1	500 мг/л	12,2 мкг
Композиція НЧ Se + I	1	100 + 150 мг/л	2,4 + 3,7 мкг
Композиція НЧ Zn + Ti + Se + I	1	НЧ Zn: 4000 мг/л НЧ Ti: 500 мг/л НЧ Se + I: 100 + 150 мг/л	НЧ Zn: 97,6 мкг НЧ Ti: 12,2 мкг НЧ Se + I: 2,4 + 3,7 мкг
Препарат «Аватар-2 захист»	1	-	24,4 мкл
Препарат «Азогран»	1	<i>B. subtilis</i> : 1×10^9 КУО/см ³ <i>A. vinelandii</i> : 1×10^8 КУО/см ³	<i>B. subtilis</i> : $2,4 \times 10^7$ КУО <i>A. vinelandii</i> : $2,4 \times 10^6$ КУО
Поєднання препарату «Азогран» з композицією НЧ Se + I	1	<i>B. subtilis</i> : 1×10^9 КУО/см ³ <i>A. vinelandii</i> : 1×10^8 КУО/см ³ Se + I: 100 + 150 мг/л	<i>B. subtilis</i> : $2,7 \times 10^7$ КУО <i>A. vinelandii</i> : $2,4 \times 10^6$ КУО Se + I: 2,4 + 3,7 мкг

Отримані значення урожаю занеслися в електронні таблиці даних для подальшого статистичного аналізу.

Отримані дані щодо урожаю картоплі сорту Сувенір чернігівський були проаналізовані згідно із загальноприйнятими методами статистичного аналізу (Реброва, 2002) з використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2016, StatSoft STATISTICA 10 та StatSoft STATISTICA 12. Спершу дані в усіх

варіантах були проаналізовані на відповідність їхнього розподілу нормальному (Гаусівському) тестами Колмогорова-Смирнова, Ліллієфорса та Шапіро-Уїлка. Встановлено, що в переважній більшості варіантів розподіл даних відрізняється від нормального за результатами всіх тестів, тому для подальшого їхнього аналізу використовувалися непараметричні методи статистики. Для відображення середніх значень урожаю у

3. Погодні умови у 2021 році

Місяць	Опади, мм		Середньодобова температура повітря, t °C	
	Середні дані за 2019-2021 рр. (M* ± Std.Err**)	Середньо-багаторічні дані	Середні дані за 2019-2021 рр. (M ± Std.Err)	Середньо-багаторічні дані
Квітень	8,4 ± 0,6	9,0	29 ± 5	36
Травень	14,2 ± 1,3	15,0	87 ± 13	63
Червень	21,6 ± 0,6	18,6	45 ± 22	62
Липень	20,7 ± 1,5	20,5	57 ± 5	74
Серпень	19,4 ± 0,4	19,3	52 ± 8	54
Вересень	14,2 ± 1,1	13,8	39 ± 2	53

*M – середнє арифметичне

**Std.Err – стандартна помилка середнього арифметичного

варіантах була розрахована медіана. Значущість різниці між дослідними варіантами та контролем (p) розраховувалася за допомогою непараметричного U-критерію Шапіро-Уїлка (Реброва, 2002).

Результати досліджень та їх обговорення.

Встановлено, що вплив досліджуваних НЧ та мікробного препарату «Азогран» на урожай картоплі залежить від хімічного складу НЧ та дещо відрізняється залежно від ґрунту.

На дерново підзолистому ґрунті більшість варіантів передпосівної обробки сприяли зростанню урожаю бульб картоплі сорту Сувенір чернігівський. Проте, за дії НЧ Zn та НЧ Ti спостерігалася тенденція до зниження урожаю у два останні роки (табл. 4).

За передпосівної обробки композицією НЧ Se + I спостерігалася тенденція до зростання урожаю бульб картоплі сорту Сувенір черні-

гівський. Так, у перший рік урожай значущо зріс на 49,22 %, у другий рік знижувався на 8,85 %, у третій – зріс на 8,35 %. За середніми даними трьох років урожай за передпосівної обробки композицією НЧ Se + I значущо зріс на 33,13 % (табл. 4).

У варіантах із препаратом «Азогран» спостерігалася тенденція до зростання урожаю. У перший рік урожай за передпосівної обробки препаратом «Азогран» значущо зріс на 23,39 %, у другий – знизився на 6,44 %, у третій – зріс на 6,09 %. За середніми даними трьох років урожай за передпосівної обробки препаратом «Азогран» значущо зріс на 38,34 % (табл. 4).

Найвищий урожай був за одночасної передпосівної обробки насіння картоплі сорту Сувенір чернігівським препаратом «Азогран» із композицією НЧ Se + I. Урожай у цьому варіанті значущо зріс упродовж усього терміну спостереження. У перший рік урожай був вищим, ніж у контролі на 37,09 %, у другий та третій роки

4. Урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський за передпосівної обробки наночастинками, багатокомпонентним мікроелементним препаратом «Аватар-2 захист» та мікробним препаратом «Азогран» на ділянці з дерново-підзолистим ґрунтом, т/га

Варіант	Середній урожай, т/га (медіана)			
	2019	2020	2021	Середня за 2019-2021 рр.
Контроль	23,55	35,04	13,51	19,21
НЧ Zn	26,65	32,67	11,58	23,12
НЧ Ti	25,57	24,51*	12,57	21,66
Композиція НЧ Se + I	35,14*	31,94	14,64	25,57*
Композиція НЧ Zn + Ti + Se + I	25,98	29,39	13,98	22,48
Препарат «Аватар [™] - захист»	26,47*	29,73	15,46	23,71
Препарат «Азогран»	29,06*	32,78	14,33	26,57*
Препарат «Азогран» + композиція НЧ Se + I	32,29*	44,65*	18,45*	27,92*

Знак * в межах одного стовпчика вказує на значущі відмінності варіантів щодо контролю за рівня значущості $p < 0,05$ згідно з U-критерієм Мана-Уїтні.

– відповідно на 27,43 та 36,57 %. За середніми даними трьох років урожай за передпосівної обробки поєднанням препарату «Азогран» із композицією НЧ Se + I значущо зріс на 45,35 % (див. табл. 4).

За передпосівної обробки насіння картоплі НЧ Zn, НЧ Ti, композицією НЧ Zn + Ti + Se + I, препаратом «Аватар-2 захист» спостерігалася тенденція до зростання урожаю, проте, результати були не значущі. (див. табл. 4).

На чорноземі вилугованому в усіх варіантах спостерігалася більш чітка та закономірна тенденція до зростання урожаю з більшою значущістю за результатами статистичного аналізу (див. табл. 4).

На відміну від дерново-підзолистого ґрунту на чорноземі вилугованому за передпосівної обробки НЧ Zn спостерігалася чітка тенденція до зростання урожаю. У перший та другий роки урожай у цьому варіанті значущо зріс відповідно на 24,85 та 30,35 %, у третій – на 5,24 % (табл. 5).

У варіанті з передпосівною обробкою НЧ Ti спостерігалася тенденція до зниження урожаю. У перший рік урожай у цьому варіанті зріс на 39,05 %, у другий рік – знизився на 2,16 %, у третій – на 4,01 %. За середніми даними трьох років урожай у цьому варіанті зріс на 6,21 % (див. табл. 5).

За передпосівної обробки композицією НЧ Se + I спостерігалася закономірна тенденція до зростання урожаю. Так, у першому році урожай у цьому варіанті зріс на 47,04 %, у другий – на 5,83 %, у третій – на 8,82 %. За середніми даними трьох років, урожай у цьому варіанті вищий за контроль на 10,97 % з достатнім рівнем значущості (див. табл. 5).

У варіантах за передпосівної обробки композицією НЧ Zn + Ti + Se + I та препаратом «Аватар-2 захист» також спостерігалася тенденція до зростання урожаю. За середніми даними трьох років урожай у цих варіантах збільшився на 12,21 % та 9,71 % відповідно (див. табл. 5).

5. Урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський за передпосівної обробки наночастинками, багатокомпонентним мікроелементним препаратом «Аватар-2 захист» та мікробним препаратом «Азогран» на ділянці з чорноземом вилугованим, т/га

Варіант	Середній урожай, т/га (медіана)			
	2019	2020	2021	Середня за 2019-2021 рр.
Контроль	13,79	21,76	15,33	16,37
НЧ Zn	17,23*	28,37*	16,32	17,23
НЧ Ti	19,18*	21,29	14,72	17,38
Композиція НЧ Se + I	20,29*	23,03	16,69	18,16*
Композиція НЧ Zn + Ti + Se + I	19,35*	26,51*	15,01	18,37
Препарат «Аватар ^У - захист»	18,69*	23,83*	16,29	17,96*
Препарат «Азогран»	20,49*	27,82*	17,02	19,31*
Препарат «Азогран» + композиція НЧ Se + I	23,51*	26,34*	19,80*	22,47*

Знак * в межах одного стовпчика вказує на значущі відмінності варіантів щодо контролю за рівня значущості $p < 0,05$ згідно U-критерію Мана-Уїтні.

У варіанті з передпосівною обробкою препаратом «Азогран» спостерігалася стійка тенденція до зростання урожаю. Так, у першому та другому роках урожай у цьому варіанті був значущо вищий, ніж у контролі відповідно на 48,52 та 27,86 %, у третій рік – на 10,96 %. За середніми даними трьох років урожай у цьому варіанті значущо вищий, ніж у контролі на 17,98 % (див. табл. 5).

Найкращий результат виявився за передпосівної обробки поєднанням препарату «Азогран» із композицією НЧ Se + I характеризувався найбільшим впливом на урожай. Урожай у цьому варіанті три роки поспіль значущо зріс відповідно на 70,41; 21,06 та 29,14 %. За середніми даними трьох років урожай у цьому варіанті значущо вищий, ніж у контролі на 37,27 % (див. табл. 5).

Різниця в даних, отриманих із двох ділянок, узгоджується з даними інших дослідників. Відомо, що біологічна активність НЧ може відрізнитися залежно від типу ґрунту. Так, одні й ті ж НЧ можуть стимулювати або інгібувати активність дегідрогенази, уреаз, кислої та лужної фосфатази, залежно від типу ґрунту (Joško, 2014).

Отже, НЧ Ti виявили тенденцію до зменшення урожаю на обох ґрунтах, НЧ Zn – до зменшення урожаю на дерново-підзолистому ґрунті та до зростання на чорноземі вилугованому. Композиція НЧ Zn + Ti + Se + I виявила тенденцію до не значного підвищення урожаю.

Більшим впливом на урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський відзначаються композиція НЧ Se + I, препарат «Аватар-2 захист» та препарат «Азогран».

Найбільше впливало на урожай поєднання препарату «Азогран» із

композицією НЧ Se + I, стабільно збільшуючи його зростання на обох ділянках упродовж усього терміну спостереження. Отримані нам результати вказують на значний синергізм між композицією НЧ Se + I та мікробним препаратом «Азогран». S Derevianko та A Vasylchenko (2020) встановлено, що композиція НЧ Se + I значущо підвищує титр штаму бактерій *Bacillus subtilis* IMB B-7023, який є одним із біоагентів препарату «Азогран», що може пояснювати синергізм (Derevianko & Vasylchenko, 2020). На нашу думку, застосування НЧ, зокрема, у поєднанні з мікробними препаратами, здатне значно підвищити рентабельність картоплярства.

Висновки і перспективи.

Встановлено, що досліджувані НЧ мають різний вплив на урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський. Вплив НЧ на урожай може дещо відрізнитися залежно від типу ґрунту, на якому закладено дослід, проте загальні тенденції однакові на обох ґрунтах.

Передпосівна обробка НЧ Ti сприяє зниженню урожаю картоплі сорту Сувенір чернігівський. За обробки НЧ Zn на дерново-підзолистому ґрунті в останні два роки спостереження урожай знижувався, проте закономірно зростав на чорноземі вилугованому. Композиція НЧ Zn + Ti + Se + I та багатокомпонентний мікроелементний препарат «Аватар-2 захист» збільшують урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський, проте впродовж терміну спостереження було отримано не достатньо статистично значущих даних.

Композиція НЧ Se + I та мікробний препарат «Азогран» суттєво збільшують урожай картоплі сорту Сувенір

чернігівський. За середніми даними трьох років передпосівна обробка композицією НЧ Se + I та мікробним препаратом «Азогран» сприяла значущому зростанню урожаю на дерново-підзолистому ґрунті відповідно на 33,13 та 38,34 % й на чорноземі вилугованому відповідно на 10,97 та 17,98 %.

За даними проведених досліджень, найкращим варіантом передпосівної обробки, що володіє найсуттєвішим впливом на урожай картоплі сорту Сувенір чернігівський, є поєднання препарату «Азогран» із композицією НЧ Se + I. Цей варіант сприяв статистично значущому зростанню урожаю впродовж усього терміну спостереження на обох ділянках. За середніми даними трьох років урожай у цьому варіанті значущо більший, ніж у контролі на 45,35 % на дерново-підзолистому ґрунті та на 37,27 % на чорноземі вилугованому.

Отримані дані вказують на значний синергізм між композицією НЧ Se + I та мікробним препаратом «Азогран», що може пояснюватися стимулювальною активністю композиції НЧ Se + I щодо штамів-біоагентів препарату.

Результати дослідження вказують на те, що впровадження нанотехнологій та їхнє сумісне застосування з мікробними препаратами є перспективним для підвищення продуктивності картоплі.

References

1. Bondarchuk A.A., Koltunov V.A., Oliinyk T.M., Furdyha M.M., Vyshnenska O.V., Osypchuk A.A., Kupriianova T.M., Zakharchuk N.A. (2019). METODYKA DOSLIDNOI SPRAVY V KARTOPLIARSTVI. Vinnytsia. : «Nilan-LTD».
2. Chernikova, O., Mazhayskiy, Y., & Ampleeva, L. (2019). Selenium in nanosized form as an alternative to microfertilizers.
3. Davies, K.E. (2018). Biofortification of potato (*Solanum tuberosum*) using metal oxide nanoparticles. Nottingham Trent University (United Kingdom).
4. Davod, T., Reza, Z., Ali, V. A., & Mehrdad, C. (2011). Effects of nanosilver and nitroxin biofertilizer on yield and yield components of potato minitubers. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(6).
5. Derevianko, S., & Vasylychenko, A. (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. 4th ed.* Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 260 p.
6. Derevianko, S., Vasylychenko, A., Kaplunenko, V., Holovko, A., Spivak, M., & Kharchuk, M. (2019). Perspektyvy rozrobky preparativ dlia silskoho hospodarstva na osnovi nanochastynok. *Bulletin of Agricultural Science*, 97(10), 44-54.
7. Dospekhov B. A. (1985) *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy)*. [Methodology of field trial (with the basics of statistical analysis of the results)]. M. : Agropromizdat, 351.
8. Homaei, M. B., & Ehsanpour, A. A. (2015). Physiological and biochemical responses of potato (*Solanum tuberosum*) to silver nanoparticles and silver nitrate treatments under in vitro conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(4), 353-359.
9. Joško, I., Oleszczuk, P., & Futa, B. (2014). The effect of inorganic nanoparticles (ZnO, Cr2O3, CuO and Ni) and their bulk counterparts on enzyme activities in different soils. *Geoderma*, 232, 528-537.
10. Kafi, M., Nabati, J., Saadatian, B., Oskoueian, A., & Shabahang, J. (2019). Potato response to silicone compounds (micro and nanoparticles) and potassium as affected by salinity stress. *Italian Journal of Agronomy*, 14(3), 162-169.

11. Kaplunenko V. H., Aksylenko M. D., Davydova O. Ye., Dulniev P. H. (2017). Sposib zastosuvannia kompozytsiinykh mikroelementnykh preparativ. [A method of the application of the composite micro-nutrient preparations]. (UA Patent No. 116440). Instytut bioorganichnoji khimiji ta naftokhimiji NAN Ukrainy, vul. Murmansjka, 1, m. Kyjiv-94, 02660 (UA).
12. Kopylov, Ye. P., Nadkernychnyi, S. P., Melnyk, A. I., & Usmanova, H. O. (2009). Vykorystannia *Chaetomium cochliodes* Palliser dlia pidvyshchennia vrozhaivosti soi (*Glycine max* (L.) Merr). [The use of *Chaetomium cochliodes* Palliser for rising up of soybean (*Glycine max* (L.) Merr) harvest]. *Introduktsiia roslyn*, (3), 88-94.
13. Korniiichuk, O. V., Plotnikov, V. V., Hylchuk, H. H., Roi, A. O., Skorokhod, I. O., & Kurdysh, I. K. (2018). Vplyv kompleksnoho bakterialnoho preparatu Azohran na vrozhaivist pshenytsi ozymoi. [Influence of the complex bacterial preparation azohrran on winter wheat yield]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, (27), 67-73.
14. Krutyakov, Y. A., Kudrinsky, A. A., Gusev, A. A., Zakharova, O. V., Klimov, A. I., Yapryntsev, A. D., Zherebin P. M., Shapoval O. A. & Lisichkin, G. V. (2017). Synthesis of positively charged hybrid PHMB-stabilized silver nanoparticles: the search for a new type of active substances used in plant protection products. *Materials Research Express*, 4(7), 075018.
15. Kurdysh I. K., Roi A. A., Skorokhod I. A. (2021). Efektyvnist zastosuvannia kompleksnoho bakterialnoho preparatu Azohran u zakhysti kartopli vid koloradskoho zhuka v zalezhnosti vid stadii yoho rozvytku. [Efficiency of the application of complex bacterial preparation Azohran in the potato protection from colorado potato beetle, depending on the stage of its developments]. *Mikrobiol. Z*, 83(1), 3-11.
16. Mahmoud, A. W. M., Abdeldaym, E. A., Abdelaziz, S. M., El-Sawy, M. B., & Mottaleb, S. A. (2020). Synergetic effects of zinc, boron, silicon, and zeolite nanoparticles on confer tolerance in potato plants subjected to salinity. *Agronomy*, 10(1), 19.
17. Mushynskiy, A. A., Aminova, E. V., & Korotkova, A. M. (2018). Evaluation of tolerance of tubers *Solanum tuberosum* to silica nanoparticles. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(34), 34559-34569.
18. Samoylova, M. V., Churilov, D. G., Nazarova, A. A., Polishchuk, S. D., & Byshov, N. V. (2017). Biologically active nanomaterials in potato growing. In *Nano Hybrids and Composites* (Vol. 13, pp. 91-95). Trans Tech Publications Ltd.
19. Volkoghon, V. V., Chuchvagh, I. Gh., & Volkoghon, K. I. (2013). Lizymetrychni doslidzhennia efektyvnosti vzaiemodii mineralnykh dobryv i diazobakterynu pry vyroshchuvanni zhyta ozymoho. [Lysimeter study of fertilizers and diazobakterin interaction efficiency in growing of winter rye]. *Visnyk Kharkivskogo nacionalnogho aghrarnogho universytetu imeni VV Dokuchajeva. Serija: Gruntoznavstvo, aghrokhimija, zemlerobstvo, lisove ghospodarstvo, ekologhiia gruntiv*, (1), 105-109.

A. Vasylenko (2021). THE EFFECT OF NANOPARTICLES, MULTICOMPONENT TRACE ELEMENT PREPARATION "AVATAR-2 PROTECTION" AND MICROBIAL PREPARATION "AZOGRAN" ON THE PRODUCTIVITY POTATO CULTIVAR SUVENIR CHERNIHIVSKYI IN POLESIA REGION CONDITIONS. PLANT AND SOIL SCIENCE, 12(3): 17–27. <https://doi.org/10.31548/agr2021.03.017>

Abstract. Improvement of conventional methods of potato growing is an important task of modern agriculture. Nowadays nanoparticles (NPs) gain increasing attention of scientists as

promising tools for increasing productivity of crop cultures. NPs of such elements as Fe, Zn, B, Si, Cu, Co, Se and Ag can significantly increase potato productivity. Ag NPs show synergic effect with some microbial preparations. However, the influence of such elements as Zn and Se on the productivity of potato and joint application of NPs with microbial preparations for pre-sowing treatment are not studied sufficiently. The influence of Ti and I NPs on potato productivity, the influence of NPs on Ukrainian potato cultivars, the influence of NPs on the potato productivity in Polesia region conditions are not studied yet. The aim of the study was to investigate the influence of pre-sowing treatment of seed potatoes with Zn nanoparticles (NPs), Ti NPs, composition of Se + I NPs, composition of Zn + Ti + Se + I NPs NPs, "Avatar-2 protection" multicomponent trace element preparation, "Azogran" microbial preparation "Azogran" and the combination of "Azogran" preparation with the composition of Se + I NPs on the productivity of potato cultivar Souvenir chernihivskiyi in the Polesia region conditions. Two small plot studies were planted for three years in order to conduct the study. Each small plot study had been performed on different soil types: soddy podzolic soil and alkaline chernozem. Studies were situated on the lands of the Institute of Agricultural Microbiology and Agro-industrial Production of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. It has been found that the composition of Se + I NPs, "Azogran" microbial preparation and the combination "Azogran" preparation with the composition of Se + I NPs had the most prominent influence on the potato productivity, increasing it on soddy podzolic soil by 33.13; 38.34 and 45.35 % respectively and on alkaline chernozem by 10.97; 17.98 and 37.27 % respectively. The composition of Se + I NPs and "Azogran" preparation are shown to develop synergic effect. The results of the study suggest high efficiency of the use of nanoparticles in potato growing.

Keywords: potato, yield, nanotechnology, nanoparticles, microbial preparation, trace element preparation