

*Наталія Костянтинівна Гойванович,*

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
orcid.org/0000-0002-3442-0674, e-mail: natahoyvan@gmail.com

*Соломія Степанівна Навачкевич,*

здобувач середньої освіти  
Дрогобицький ліцей Дрогобицької міської ради, Україна

*Аліна Віталіївна Пукшин,*

здобувач другого рівня вищої освіти  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
e-mail: pukshyn.alina1855@gmail.com

*Вероніка Василівна Боган,*

здобувач другого рівня вищої освіти  
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна  
e-mail: veronikamel18@gmail.com

## **ВПЛИВ МІКРОДОБРИВА З НАНОЧАСТИНКАМИ “AVATAR 2 ORGANIC” НА ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ *PISUM SATIVUM***

**Анотація.** Упродовж останніх років ведеться постійний пошук способів підвищення стійкості та продуктивності сільськогосподарських культур засобами, що не будуть шкодити довкіллю (як комплексні органічні добрива) і не будуть акумулюватися у ґрунтах. Багато уваги приділено бактерійним добривам, проте їх використання є дорогим і видоспецифічним для рослин. Мікродобриво з наночастинками “Avatar-2 organic” є препаратом, призначеним для покращення азотно-фосфорного живлення, підвищення стресостійкості та продуктивності рослин.

У процесі дослідження впливу мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic” на морфогенез *Pisum sativum* вивчали такі показники: схожість насіння гороху посівного, біотестування насіння та визначення фітотоксичності впливу мікродобрива, кількісні показники сходження в умовах *in vitro* на ґрунтовому субстраті з різним дозування мікродобрива.

Установлено, що відсоток схожості насіння гороху посівного залежить від дозування мікродобрива “Avatar-2 organic”. Відсоток схожості насіння зростає пропорційно до збільшення дозування мікродобрива, якщо за дозування 5 мкл схожість зростає лише на 6,7%, то за 100 мкл – на 26,7% щодо контролю. Приріст корінців насіння гороху посівного в дослідних групах є вищим за контрольні значення, тобто мікродобриво “Avatar-2 organic” не зумовлює токсичної дії та затримки росту рослин.

Установлено, що обробка насіння гороху звичайного мікродобривом із наночастинками “Avatar 2 organic” приводить до підвищення схожості насіння, отже, до збільшення продуктивності, зменшення періоду сходів, покращення морфогенезу рослин, кращого розвитку кореневої системи через пришвидшення приросту корінців. Найвищі показники встановлено за внесення мікродобрива “Avatar-2 organic” у дозуванні 50 і 100 мкл.

**Ключові слова:** мікродобриво, “Avatar-2 organic”, продуктивність, морфогенез, схожість насіння, біотестування, *Pisum sativum*.

## ВСТУП

Упродовж останніх десятиліть синтезовано багато нових наносполук, які активно використовуються в різних сферах людської діяльності, як-от наночастинки оксидів кремнію, титану, цинку, заліза, церію, алюмінію, міді, кобальту, нікелю, срібла, золота [1–3]. Використання наночастинок, нанотехнологій і наноматеріалів є перспективним у медицині, харчовій промисловості, будівництві, сільському господарстві й охороні навколишнього середовища [2–5].

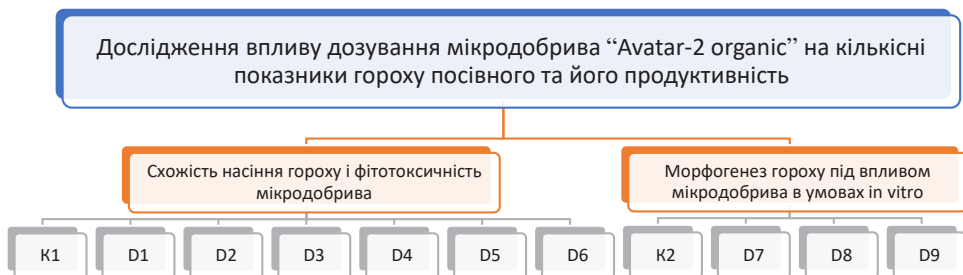
Використання нанопрепаратів у рослинництві сприяє росту та розвитку рослин, підвищенню врожайності та якості продукції сільськогосподарських культур, активізує механізми підвищення стійкості рослин до стресів, патогенів, оздоровлення насіння, покращення його посівних властивостей [6–8]. Завдяки високій біодоступності більшість наночастинок можуть проникати у клітини рослин і брати участь у найважливіших біохімічних і фізіологічних процесах, а деякі з них – у формуванні балансу мікроелементів [9]. Тому деякі наночастинки використовують як біологічні регулятори морфогенетичних процесів у рослин [10].

Мікродобриво з наночастинками “Avatar-2 organic” – це мікроелементний 20-тикомпонентний препарат для покращення кореневого живлення рослин, підвищення їх стресостійкості та продуктивності [11]. До складу мікродобрива входять нанокарбоксилати калію, магнію, бору, цинку, заліза, міді, марганцю, молібдену, кобальту, ванадію, нікелю, титану, лантану, селену, германію, сірки, йоду, кремнію, срібла, церію та вода очищена [11; 12].

**Метою дослідження** є вивчення впливу мікродобрива “Avatar-2 organic” на підвищення продуктивності гороху посівного (*Pisum sativum*) як рослинного тест-об’єкта.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Об’єктом дослідження є горох посівний (*Pisum sativum*) фірми «Щедрий урожай» (Україна). Робота виконувалася на базі Науково-дослідної лабораторії експериментальної біології Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка впродовж 2021 р. за такою схемою:



**Рис. 1. Схема досліджень**

Де K1 – контроль (виращування насіння на дистильованій воді); D1 – дослідна група з дозуванням мікродобрива 5 мкл на 5 мл дистильованої води (15 насінин);

D2 – 10 мкл мікродобрива; D3 – 20 мкл мікродобрива; D4 – 30 мкл мікродобрива; D5 – 50 мкл мікродобрива; D6 – 100 мкл мікродобрива; K2 – контроль (вирощування насіння у ґрунтовому субстраті); D7 – дослідна група з дозуванням мікродобрива 5 мкл на 5 мл дистильованої води і вирощуванням на ґрунтовому субстраті; D8 – 50 мкл мікродобрива; D9 – 100 мкл відповідно.

У процесі дослідження встановлювали такі показники: схожість насіння гороху посівного, біотестування насіння та визначення фітотоксичності впливу мікродобрива, кількісні показники сходження в умовах *in vitro* на ґрунтовому субстраті з різним дозуванням мікродобрива.

Лабораторна схожість насіння визначалася шляхом його пророщування за оптимальних умов протягом конкретного для кожної культури терміну (для більшості культур – 7–8 діб). Тип субстрату, температура, умови аналізування (при світлі чи у темряві), строки обліку для кожної культури визначені в ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» та в міжнародному стандарті ISTA [13]. Пророщували насіння гороху на чашках Петрі в термостаті за температури +25 °С. До 5 мл дистильованої води додавали різне дозування мікродобрива “Avatar 2 organic” (5, 10, 20, 30, 50, 100 мкл).

Біотестування проводили за методикою А. Горової [14]. Як тест-культури використовували насіння гороху посівного. Довжину коренів тест-культур вимірювали за допомогою лінійки на 4, 7 і 10-ту добу спостережень. Розраховували середній показник для кожного тест-об’єкта. Результати обробляли статистично. Для порівняння токсичності за ростовим тестом фітоіндикатора використовували шкалу рівнів фітотоксичності.

В умовах *in vitro* горох посівний вирощували на ґрунтовому субстраті з різним дозуванням мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic”. Попередньо насіння гороху замочували в дистильованій воді (1 доба). У дослідних зразках до води, у якій замочували насіння, додавали мікродобриво в дозуванні 5, 50, 100 мкг на 5 мл води. Для досліду використовували торф’яний субстрат PEATFIELD. Горох посівний вирощували в кімнатних умовах за температури +21 °С упродовж 10 діб, фіксуючи добу появи перших сходів і морфогенез рослин.

## РЕЗУЛЬТАТИ

**Вплив дозування мікродобрива “Avatar-2 organic” на схожість насіння гороху посівного.** Упродовж останніх років ведеться постійний пошук способів підвищення стійкості та продуктивності сільськогосподарських культур засобами, що не будуть шкодити довкіллю (як комплексні органічні добрива) і не будуть акумулюватися у ґрунтах. Багато уваги приділено бактерійним добривам, проте їх використання є дорогим і видоспецифічним для рослин [7; 8; 10].

Одним із методів підвищення стійкості рослин є додавання наночастинок деяких біогенних металів, що впливають на етапи онтогенезу. Мікродобриво “Avatar-2 organic” із наночастинками є добривом українського виробництва (ТОВ «НБК «Аватар»») і має вигідне ціноутворення [12]. Завданням роботи було визначення дозування мікродобрива для підвищення кількісних показників гороху посівного (*Pisum sativum*).

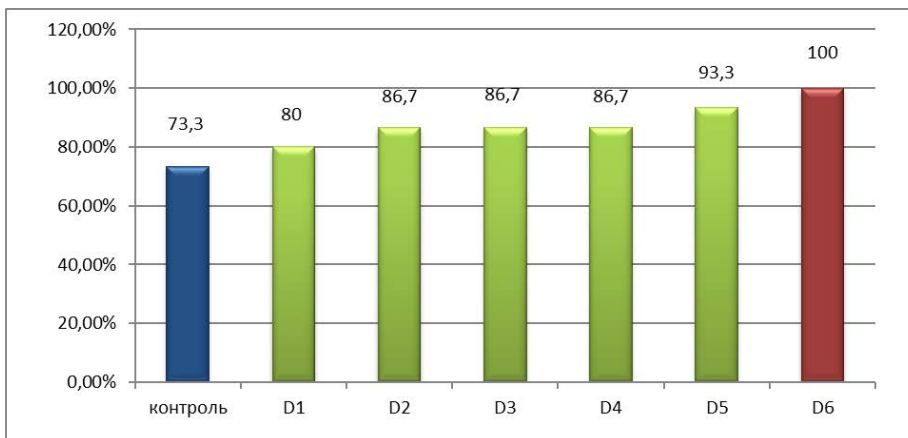
Першим етапом роботи було встановлення залежності лабораторного сходження насіння гороху від дозування мікродобрива “Avatar-2 organic”. Повторність досліду 5-ти разова. Контролем є схожість насіння на дистильованій воді. На рис. 2 зображено різницю між дослідними та контрольними чашками.



**Рис. 2. Схожість насіння гороху в різних групах**

Під час проведення аналізу результатів досліджень необхідно зазначити, що додавання мікродобрива в дозуванні 20, 30, 50 і 100 мкл приводить до швидшого сходження насіння, оскільки в цих групах воно проростає на 2 доби, а в контрольних і дослідних (D1 – 5 мкл, D2 – 10 мкл) перші сходи з'являються на 3 добу.

Додавання мікродобрива “Avatar-2 organic” також впливає на тривалість усього періоду сходів, якщо в дослідних групах D3 – D6 вона становить 3 доби, то в D2 – 4 доби, D1 і контрольній – 5 діб. Результати лабораторної схожості насіння гороху посівного в дослідній групі з дозуванням мікродобрива 5 мкл достовірно не відрізняються від контрольної.

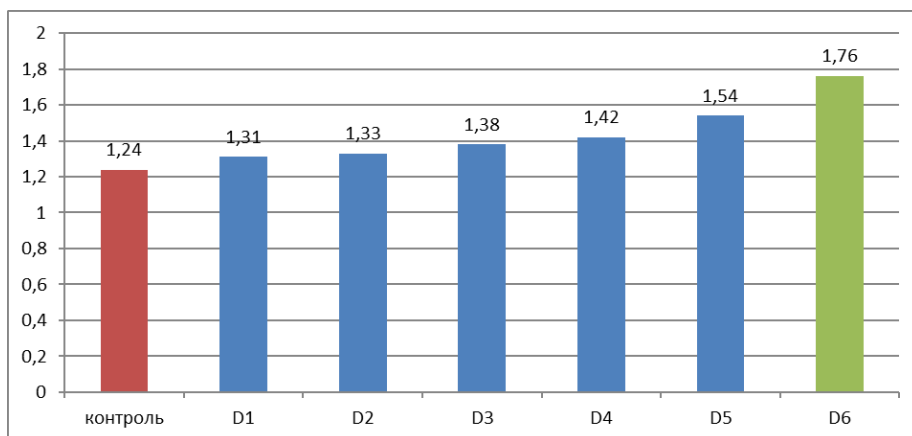


**Рис. 3. % схожості насіння гороху посівного в разі додавання мікродобрива**

Порівняння % схожості насіння гороху залежно від дозування мікродобрива свідчить, що відсоток сходження насіння зростає пропорційно до збільшення дозування “Avatar-2 organic”. Якщо за дозування 5 мкл схожість зростає лише на 6,7%, то за 100 мкл – на 26,7% щодо контролю. Також встановлено, що відсоток сходження у групах D2 – D4 не відрізняється. Додавання 100 мкл мікродобрива зумовлює 100% сходження насіння гороху посівного.

**Аналіз фітотоксичності мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic” щодо насіння гороху звичайного.** Перший етап показав достовірний позитивний результат мікродобрива з наночастинками “Avatar-2 organic” на сходження насіння гороху посівного. Проте відомо, що надмірна кількість наночастинок може призводити до їх токсичного ефекту щодо рослин, тобто зворотної дії. Тому наступним етапом нашої роботи було проведення біотестування мікродобрива “Avatar-2 organic” методом Горвої та встановлення фітотоксичного ефекту. Приріст корінців насіння гороху

посівного в дослідних групах на 4-ту добу є вищим за контрольні значення, тобто мікродобриво “Avatar-2 organic” не зумовлює токсичної дії та затримки росту рослин.

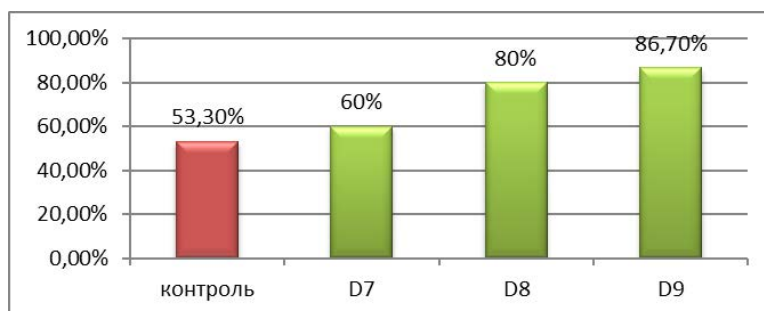


**Рис. 4. Приріст корінців насіння гороху звичайного на тлі додавання мікродобрива, см**

Аналіз результатів біотестування насіння гороху вказує на позитивний ефект мікродобрива щодо темпів приросту корінців. Це добре простежується на дослідних групах D5 і D6, де довжина корінців зростає на 24,2 і 41,9% щодо контрольних значень. Менше дозування мікродобрива (5–30 мкл) зумовлює незначний приріст корінців гороху щодо контрольних показників (5,6–14,5%).

**Вплив мікродобрива “Avatar-2 organic” на морфогенез гороху звичайного.** Найкращі кількісні показники зростання продуктивності гороху звичайного встановлено за дозування мікродобрива “Avatar-2 organic” 50 і 100 мкл, результатами біотестування також підтверджено, що таке дозування не зумовлює фітотоксичного ефекту. Тому завершальним етапом нашої роботи було вирощення насіння гороху звичайного за різного дозування “Avatar-2 organic” на ґрунтовому субстраті за кімнатної температури.

Після аналізу результатів досліджень встановлено, що перші сходи насіння гороху на ґрунтовому субстраті за додавання мікродобрива спостерігаються на добу пізніше, ніж у разі лабораторного пророщування. Однак загалом період сходів подібний за тривалістю, додавання мікродобрива зменшує його на 1 добу.



**Рис. 5. % схожості насіння гороху посівного в разі додавання мікродобрива на ґрунтовому субстраті**

Схожість насіння гороху звичайного в кімнатних умовах у разі додавання мікродобрива дещо нижча за лабораторну. Найвища вона встановлена на дослідних групах із дозуванням мікродобрива 50 і 100 мкл – збільшується на 27,7 і 33,4% відповідно до контрольних показників.

Підсумовуючи результати досліджень, можна стверджувати, що удобрення насіння гороху звичайного мікродобривом із наночастинками “Avatar-2 organic” у дозуванні 50 і 100 мкл приводить до підвищення його схожості та продуктивності.

## ВИСНОВКИ

1. Відсоток схожості насіння гороху посівного залежить від дозування мікродобрива “Avatar-2 organic”. Приріст корінців насіння гороху посівного в дослідних групах є вищим за контрольні значення, тобто мікродобриво “Avatar-2 organic” не зумовлює токсичної дії та затримки росту рослин.

2. Обробка насіння гороху звичайного мікродобривом із наночастинками “Avatar-2 organic” приводить до підвищення схожості насіння, отже, до збільшення продуктивності, зменшення періоду сходів, покращення морфогенезу рослин, кращого розвитку кореневої системи через пришвидшення приросту корінців. Найвищі показники встановлено в разі внесення мікродобрива “Avatar-2 organic” у дозуванні 50 і 100 мкл.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Експериментальна оцінка безпеки металевих наночастинок мікроелементів / І. Трахтенберг та ін. *Мікроелементи в медицині, ветеринарії, харчуванні: перспективи співпраці та розвитку* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 2014. С. 263–267.
2. Use of magnetic susceptibility measurement for analysis of self-organized magnetic nanoparticles in biological systems / T. Kavetsky et al. *Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection against CBRN Threats*. 2020. P. 215–221.
3. Bioavailability enhancement of bioactive compounds using food-grade engineered nanomaterials: a review of evidence / K. Oehlke et al. *Food Funct.* 2014. 25. 5 (7). P. 1341–59.
4. Prodanchuk N., Balan G. Nanotoxicology: Status and prospects of research. *Modern problems of toxicology*. 2009. № № 3–4. P. 4–18.
5. Salata O. Applications of nanoparticles in biology and medicine. *J. of nanobiotechnology*. 2004. № 1. P. 3.
6. Kumari M., Chandrasekaran N. In vivo nanotoxicity assays in plant models. *Methods Mol Biol.* 2012. 926. P. 399–410. DOI: 10.1007/978-1-62703-0021\_26.
7. Nanotechnology in sustainable agriculture: future aspects and present concerns / R. Prasad et al. *African Journal of Biotechnology*. 2014. № 6. P. 705–713.
8. Ковбасенко Р., Дмитрієв О. Використання наночастинок біогенних елементів і хітозану при вирощуванні пасльонових in vitro та in vivo. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія «Біологія»*. 2019. № 1 (46). С. 73–80.
9. Sabir S., Chaudhari S.K., Arshad M. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*. 2014. № 11. P. 1–8.
10. Вплив мікродобрив та імуномодельючих препаратів на лабораторну схожість насіння / С. Каленська та ін. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. № 94. С. 9–16.

11. Комплексне мікродобриво Аватар. ТУ У 24.1-37033728-001:2010. Реєстраційний номер: серія Б № 04535 від 04.09.2017 р.
12. Аватар. URL: [http://www.avataragro.com/page/avatar\\_2.php](http://www.avataragro.com/page/avatar_2.php) (дата звернення: 26.01.2022).
13. Схожість насіння як один із важливих показників. URL: <https://www.syngenta.ua/news/povini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvikh-pokaznykiv> (дата звернення: 20.10.2021).
14. Загальна екологія : практичний курс. Ч. 1 / С. Руденко та ін. Чернівці : Рута, 2003. 320 с.

## REFERENCES

1. Trakhtenberh I.M., Krasnokutska L.M., Dmytrukha N.M., Korolenko T.K. (2014). Eksperymentalna otsinka bezpeky metalevykh nanochastynok mikroelementiv [Experimental assessment of the safety of metal nanoparticles of trace elements]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Mikroelementy v medytsyni, veterynarii, kharchuvanni: perspektyvy spivpratsi ta rozvytku"*. Odesa. S. 263–267 [in Ukrainian].
2. Kavetskyu T., Voloshanska S., Zubrytska O., Pan'kiv L., Stebeletska N. (2020). Use of magnetic susceptibility measurement for analysis of self-organized magnetic nanoparticles in biological systems. *Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection against CBRN Threats*. P. 215–221 [in English].
3. Oehlke K., Greiner R., Mayer-Miebach E., Adamiuk M., Behsnilian D., Walz E. (2014). Bioavailability enhancement of bioactive compounds using food-grade engineered nanomaterials: a review of evidence. *Food Funct.* 25. 5 (7). P. 1341–59 [in English].
4. Prodanchuk, N.G., Balan, G.M. (2009). Nanotoxicology: Status and prospects of research. *Modern problems of toxicology*. № № 3–4. P. 4–18 [in English].
5. Salata O.V. (2004). Applications of nanoparticles in biology and medicine. *J. of nanobiotechnology*. № 1. P. 3 [in English].
6. Kumari M., Chandrasekaran N. (2012). In vivo nanotoxicity assays in plant models. *Methods Mol Biol.* 926. Pp. 399–410. DOI: 10.1007/978-1-62703-0021\_26 [in English].
7. Prasad R., Prasad K.S., Kumar V. (2014). Nanotechnology in sustainable agriculture: future aspects and present concerns. *African Journal of Biotechnology*. № 6. P. 705–713 [in English].
8. Kovbasenko R.V., Dmytriiev O.P. (2019). Vykorystannia nanochastynok biohennykh elementiv i khitozanu pry vyroshchuvanni paslonovykh in vitro ta in vivo [The use of nanoparticles of biogenic elements and chitosan in the cultivation of nightshades in vitro and in vivo]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia "Biolohiia" – Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Biology"*. № 1 (46). S. 73–80 [in Ukrainian].
9. Sabir S., Chaudhari S.K., Arshad M. (2014). Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *The Scientific World Journal*. № 11. P. 1–8 [in English].
10. Kalenska S.M., Novytska N.V., Maksin V.I., Kaplunencko V.H., Karpenko L.D., Martynov O.M. (2018). Vplyv mikrodobryv ta imunomodeliuiuchykh preparativ na laboratornu skhozhist nasinnia [The effect of microfertilizers and immunomodulating drugs on laboratory seed germination]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*. № 94. S. 9–16 [in Ukrainian].
11. Комплексне мікродобриво Аватар. ТУ У 24.1-37033728-001:2010. Реєстраційний номер: серія Б № 04535 від 04.09.2017 р. [Complex microfertilizer Avatar.

TU U 24.1-37033728-001:2010. Registration number: series B No. 04535 dated September 4, 2017]. [in Ukrainian].

12. Avatar. Retrieved from: [http://www.avataragro.com/page/avatar\\_2.php](http://www.avataragro.com/page/avatar_2.php) (data zvernennia: 26.01.2022) [in Ukrainian].
13. Skhozhist nasinnia yak odyn iz vazhlyvykh pokaznykiv [Similarity of seeds as one of the important indicators]. Retrieved from: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvih-pokaznykiv> (data zvernennia: 20.10.2021) [in Ukrainian].
14. Rudenko S.S., Kostyshyn S.S., Morozova T.V. (2003). Zahalna ekolohiia : prakt. kurs. Ch. 1. [General ecology: practical course. Part 1]. Chernivtsi : Ruta, 320 s. [in Ukrainian].

## ABSTRACT

### EFFECT OF “AVATAR-2 ORGANIC” MICROFERTILIZER WITH NANOPARTICLES ON PRODUCTIVITY ENHANCEMENT OF *PISUM SATIVUM*

In recent years, there has been a constant search for ways to increase crop sustainability and productivity not harming the environment (such as complex organic fertilizers) and not accumulating in the soil. Significant attention is paid to bacterial fertilizers, but their application is expensive and species-specific for plants. Microfertilizer with nanoparticles “Avatar-2 organic” is a preparation designed to improve nitrogen-phosphorus nutrition, and increase the plants’ stress resistance and productivity.

In the process of studying the effect of microfertilizer with nanoparticles “Avatar-2 organic” on the morphogenesis of *Pisum sativum*, the following indicators were studied: the similarity of seeds of peas sown, seed biotesting and determination of phytotoxicity of the microfertilizer impact, and quantitative indicators of convergence in vitro on a soil substrate with different microfertilizer dosages.

It was found that the percentage of sown peas seeds similarity depends on the dosage of “Avatar-2 organic” microfertilizer. The percentage of seed similarity increases in proportion to the increase in the dosage of microfertilizer, if at a dosage of 5 µl the similarity increases by only 6,7%, then it increases by 26,7% relative to the control at 100 µl. The increase in the root of pea seeds in the research groups is higher than the control values, that is, the “Avatar-2 organic” microfertilizer does not cause toxic effects and plant growth retardation.

It has been established that the treatment of pea seeds with microfertilizer with nanoparticles “Avatar-2 organic” leads to an increase in seed germinating power, and, accordingly, an increase in productivity, a decrease in the germination period, improved morphogenesis of plants, better development of the root system through the root growth acceleration. The highest values were found when applying “Avatar-2 organic” microfertilizer at a dosage of 50 and 100 µl.

**Key words:** microfertilizer, “Avatar-2 organic”, productivity, morphogenesis, seed germinating power, biotesting, *Pisum sativum*.