

The impact of bio-stimulators on zucchini plants under pre-sowing seed treatment

V. Pysarenko¹ | M. Pischalenko¹✉ | T. Chaika² | V. Lohvynenko¹ | N. Krupska¹ | Y. Koroleviat¹ | Y. Kirieiev¹

Article info

Correspondence Author

M. Pischalenko

E-mail:

marina_pischalenko@ukr.net

¹Poltava State Agrarian University,
1/3, Skovorody str.,
Poltava, 36003, Ukraine

²Academy of Sciences of Technological Cybernetics of Ukraine,
Poltava Department, 3,
Kovalia str., 36014, Ukraine

Citation: Pysarenko, V., Pischalenko, M., Chaika, T., Lohvynenko, V., Krupska, N., Koroleviat, Y., & Kirieiev, Y. (2023). The impact of bio-stimulators on zucchini plants under pre-sowing seed treatment. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (4), 9–13. doi: 10.31210/spi2023.26.04.02

Nowadays, there are a considerable number of technological innovations in the field of agriculture, aimed at increasing stress-resistance, yield capacity, and the quality of grown products by decreasing the application of chemical means. The use of bio-stimulators, such as plant extracts or micro-organisms is a promising direction, which improves plant growth and effective use of the available soil resources, reclaims its fertility, decreases industry-related load, etc. The purpose of the article is to study the application of bio-stimulators for pre-sowing seed treatment and their impact on zucchini plants. Pre-sowing zucchini seeds treatment with bio-stimulator is an important reserve for raising the yield and improving the product quality, as well as the plants' growth and health by stimulating natural processes. Taking into account that zucchini has a high yield potential per unit of area during a short vegetation period, it is expedient to improve the farming method of its cultivation. For example, it is advisable to use silica combinations, *Trichoderma* or rhizo-bacteria, and plant extracts, which stimulate the plants' growth. The application of *P. putida* S1Pfl and *Pseudomonas* spp. 5VmlK bacteria strains results in increasing the duration of blooming, the number of flowers and fruits. It has been determined that zucchini seeds treatment with Stimulate® and chitosan assists in seed germination and, at the combination of *Eucalyptus camaldulensis* leaf extract + K₂SiO₃ + *Trichoderma viride*, it is possible to get the highest yield of fruits. It has been found that as a result of zucchini seed treatment with Emistim C and Vermisol bio-stimulators the germinating energy and field germination increases, the yield grows and product quality improves, abiotic stress and phyto-toxic effect of pesticides decreases, the amount of residual pesticides diminishes, etc. Thus, bio-stimulators play a vital role in the nutrient cycle, the control of abiotic stress, and other important processes in zucchini plants, which enables to consider them promising agricultural practices.

Keywords: Cucurbitaceae, nutrients, stimulation, nutrition, yield, quality.

Вплив біостимуляторів на рослини цукіні за умови передпосівної обробки насіння

V. M. Писаренко¹ | M. A. Піщаленко¹ | T. O. Чайка² | V. V. Логвиненко¹ | H. Ю. Крупська¹ | Я. І. Королев'ят¹ | Ю. О. Кіреєв¹

¹Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна

²Полтавське відділення Академії наук технологічної кібернетики України,
м. Полтава, Україна

Сьогодні існує значна кількість технологічних інновацій у галузі сільського господарства, спрямованих на підвищення стресостійкості, врожайності і якості вирощеної продукції шляхом зменшення використання хімічних засобів. Використання біостимуляторів, таких як рослинні екстракти або мікроорганізми, є перспективним напрямом, який покращує зростання рослин, а також ефективне використання наявних ресурсів ґрунту, що відновлює його родючість, зменшує антропогенне навантаження тощо. Метою статті є дослідження застосування біостимуляторів для передпосівної обробки насіння та їх вплив на рослини цукіні. Передпосівна обробка насіння цукіні біостимулятором є важливим резервом підвищення врожайності та поліпшення якості продукції, покращення росту та здоров'я рослин, стимулюючи природні процеси. Зважаючи, що цукіні має високий потенціал урожайності на одиницю площі за короткий період вегетації, доцільно поліпшити агротехнологію його вирощування. Наприклад, доцільне застосування кремнеземних сполук, *Trichoderma* або ризобактерій, що стимулюють ріст рослин, і рослинних екстрактів. Використання штамів бактерій *P. putida* S1Pfl і *Pseudomonas* spp. 5VmlK призводить до збільшення тривалості цвітіння, кількості квіток і плодів. Визначено, що обробка насіння цукіні біостимулятором Stimulate® і хітозаном сприяє проростанню насіння, а за умови поєднання *Eucalyptus camaldulensis* leaf extract + K₂SiO₃ + *Trichoderma viride* – можна отримати найвищий урожай плодів. Визначено, що у разі обробки насіння цукіні біостимуляторами Емістим С і Вермісол підвищується енергія проростання та польова схожість, збільшується врожайність і поліпшується якість продукції, зменшується абіотичний стрес і фітотоксичний вплив пестицидів, знижується кількість залишкових пестицидів тощо. Отже, біостимулятори відіграють життєво важливу роль у кругообігу поживних речовин, контролі абіотичного стресу та інших важливих процесах рослин цукіні, що дозволяє віднести їх до перспективних агротехнічних прийомів.

Ключові слова: гарбузові, поживні речовини, стимулювання, живлення, врожайність, якість.

Бібліографічний опис для цитування: Писаренко В. М., Піщаленко М. А., Чайка Т. О., Логвиненко В. В., Крупська Н. Ю., Королев'ят Я. І., Кіреєв Ю. О. Вплив біостимуляторів на рослини цукіні за умови передпосівної обробки насіння. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (4). С. 9–13.

Зростання населення у світі постійно ставить перед сільськогосподарським сектором виклик підвищення врожайності й ефективності використання ресурсів. Добрива та пестициди все ще широко використовуються для досягнення необхідних стандартів виробництва, хоча їх активні інгредієнти часто є стійкими забруднювачами ґрунту та стічних вод, є токсичними для різних живих організмів. За останні три десятиліття було запропоновано кілька технологічних інновацій, а також екологічно чисті альтернативи агрохімічним засобам для підвищення стійкості сільського господарства та зменшення його впливу на екосистеми і здоров'я людини [1]. Значний інтерес становлять природні біостимулятори рослин як препарати нового покоління, що поєднують дії стимуляторів росту рослин і стресоприймачів [2]. На практиці ці продукти сприяють цвітінню, росту, зав'язуванню плодів, продуктивності й ефективності використання поживних речовин культурами, а також стійкості до широкого спектру абіотичних стресів [3].

Оскільки існують різні визначення біостимуляторів рослин, беремо до уваги останнє, надане Регламентом ЄС 2019/1009, – Біостимулятор рослин повинен бути продуктом добрива ЄС, функцією якого є стимулювання процесів живлення рослин незалежно від вмісту поживних речовин у продукті з єдиною метою – покращення однієї чи кількох з таких характеристик рослини чи ризосфери рослини:

- 1) ефективність використання поживних речовин;
- 2) стійкість до абіотичного стресу;
- 3) якісні ознаки;
- 4) доступність обмежених поживних речовин у ґрунті або ризосфері [4].

У сільськогосподарському секторі рослинні біостимулятори включають різні біологічно активні природні речовини, такі як рослинні екстракти, корисні мікроорганізми, екстракти морських водоростей, гумінові кислоти, фульвокислоти, кремній, гідролізат тваринного білка, гідролізат рослинного білка та бактерії, що належать до родів *Azotobacter*, *Rhizobium* і *Azospirillum* тощо [5, 6]. Рослинні екстракти містять багато біоактивних сполук, таких як цукри, амінокислоти, білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди [7], фенольні кислоти та флавоноїди [8, 9]. Екстракти морських водоростей, особливо бурих, зазвичай наявні в біостимуляторах, оскільки вони містять біологічно активні сполуки, такі як фітогормони, мікроелементи, специфічні для водоростей полісахариди, бетаїни, поліаміни та фенольні сполуки [10].

Підвищення врожайності часто пов'язують із кращою якістю овочів чи фруктів. Згідно з попередніми дослідженнями, біостимулятори позитивно впливають на виробництво овочів і фруктів [11–14]. У сучасному сільському господарстві використання біостимуляторів є важливим заходом у виробництві садових культур, і складаються вони з високогетерогенних класів сполук із широким спектром дії для покращення кількісних і якісних урожаїв [15].

Цукіні (*Cucurbita pepo* L.) – це різновид кабачка, що належить до сімейства гарбузових, також відомий як літній кабачок і походить із Центральної Америки, зокрема Мексики та півдня Сполучених Штатів [16]. Цей вид входить до першої десятки овочів із найвищою економічною та харчовою цінністю, високим національним виробництвом, переважно в південно-центральної частині Бразилії, також зростає протягом літнього сезону в Єгипті та в усьому світі [17–19]. Проте зростання попиту споживачів на місцевих і міжнародному ринках на свіжі плоди цукіні цілий рік призвели до збільшення площі насаджень їх у теплицях [20, 21].

Цукіні є однією з найбільш значущих товарних овочевих культур завдяки високому потенціалу врожайності на одиницю площі в короткий період вегетації. Тому вдосконалення агротехніки виробництва цукіні має великий економічний інтерес. Цього можна досягти шляхом застосування простих, сучасних і недорогих стратегій, таких як використання кремнеземних сполук, *Trichoderma* або ризобактерій, що стимулюють ріст рослин (PGPR), і рослинних екстрактів, які стимулюють ріст і розвиток цієї рослини, а потім підвищують продуктивність, що є безпечним для людини та навколишнього середовища [22–24].

У роботі [24] проводили оцінку впливу п'яти штамів бактерій (*Pseudomonas fluorescens* Pf4, *P. putida* S1Pf1, *P. protegens* Pf7, *P. migulae* 8R6 і *Pseudomonas* spp. 5Vm1K), які були обрані завдяки їхнім властивостям стимулювати ріст рослин та здійснювати позитивний вплив на вміст поживних речовин у плодах/насінні. Основним отриманим результатом інокуляції насіння цукіні сорту Altea (Syngenta) було збільшення тривалості цвітіння та кількості квіток за умови обробки двома штамми *P. putida* S1Pf1 та *Pseudomonas* spp. 5Vm1K на перших етапах цвітіння порівняно з контролем.

Також інокуляція бактеріями не вплинула на вагу та розмір плодів, але збільшилася кількість плодів у разі обробки штамом *Pseudomonas* sp. 5Vm1K (10 плодів у 5Vm1K інокульованих рослинах на протипагу двом плодам у неінокульованих контрольних рослинах, що становить 400%). Не було зареєстровано суттєвих відмінностей щодо кількості абортів плодів. Однак кількість жіночих квіток, які спостерігали кожні два дні, виявила, що під час другого та третього відбору кількість квіток збільшилася у рослин, інокульованих штамми *P. putida* S1Pf1 (145,5 та 34%, відповідно) та *Pseudomonas* sp. 5Vm1K (200 і 56,1% відповідно) порівняно з контролем.

Використання насіння з високим фізіолого-санітарним потенціалом стає обов'язковим, оскільки ці властивості зазвичай забезпечують швидке і рівномірне проростання в польових умовах, повноцінне стояння, високу врожайність і якість зібраної продукції [25].

Інокуляція овочевих рослин *Trichoderma* або PGPR може бути ефективною стратегією для стимулювання

росту та розвитку рослин, а також сприяє мінімізації використання синтетичних добрив і агрохімікатів. Ця стратегія може покращити стійкість рослин до абіотичних стресів шляхом індукції резистентності через вироблення фітогормонів, підвищення продуктивності ґрунту та летких сполук, які впливають на сигнальні шляхи рослин [26, 27]. *Trichoderma* spp. – це вільноживучі нитчасті гриби у ґрунті, і деякі з них є найпотужнішими агентами біоконтролю ґрунтових рослинних від патогенів [28]. *Trichoderma* може покращити доступність поживних речовин у ґрунті та сприяти росту рослин [29, 30].

Фізіологічний потенціал насіння є одним із головних факторів, на який варто зважати при посадці культури. У дослідженні [31] було оцінено екзогенне застосування біостимулятора Stimulate® на цукіні сорту Caserta Italiana в умовах сольового стресу. Обробка насіння розчином Stimulate® (10 мл/л) протягом 8 годин виявила їх життєздатність і схожість.

Доцільно також відзначити ефективність використання хітозану, який є природним полісахаридом та міститься у клітинних стінках деяких грибів, і є одним із найбільш перспективних біоматеріалів для цих цілей [32, 33]. Протягом останніх років хітозан вивчався як природний агрохімікат для застосування в таких сферах, як дражування насіння [34], фунгіцид [35], біостимулятор росту [36] тощо. Ефективність хітозану як стимулятора проростання також була доведена для різноманітних видів рослин, таких як бавовна, кукурудза [37], пшениця [38], огірок, чилі, гарбуз, капуста [39], артишок [40] тощо.

У роботі [41] представлено дослідження схожості необробленого та покритого хітозаном насіння цукіні. Результати чітко свідчать, що насіння цукіні, покриті двома шарами хітозану (молекулярна маса, $M_w = 28$ кДа), показало як нижчий відсоток за середній час проростання, так і вищий накопичений відсоток проростання на 2-й день тесту. Крім того, були отримані оптимальні значення для часу зберігання та концентрації розчину за умови покриття:

а) 2,90 місяців і 0,76 % (мас./об.) для насіння, що зберігалось при температурі 20 °С;

б) 4,47 місяців і 0,65 % (мас./об.) для насіння, що зберігається в холодильнику при температурі 4 °С. Отже, продемонстрована властивість олігомерів хітозану стимулювати проростання насіння цукіні.

Для визначення впливу деяких обробок біостимуляторами на фотосинтетичні пігменти та біохімічний склад рослин цукіні було проведено два експерименти в тепличних умовах. У роботі [42] розглядається вплив корисних мікробів (*Trichoderma viride* і *Pseudomonas fluorescens*), а також трьох екстрактів з *Eucalyptus camaldulensis* leaf extract (LE), *Citrus sinensis* LE та екстракту плодів *Ficus benghalensis* (FE) із силікатом калію (K_2SiO_3), оцінених як біостимулятори, на продуктивність та біохімічний склад плодів цукіні. Результати показали, що *E. camaldulensis* LE (4000 мг/л) + K_2SiO_3 (500 мг/л) і *T. viride* (106 спор./мл) + K_2SiO_3 (500 мг/л) дали найвищу врожайність плодів цукіні. Крім того, на

загальну реакцію зчитування хлорофілів і каротиноїдів істотно вплинуло лікування біостимуляторами. Комбінація K_2SiO_3 з *E. camaldulensis* LE збільшила активність поглинання радикалів DPPH і загальний вміст фенолів у плодах цукіні в обох експериментах. Однак обприскування K_2SiO_3 не виявило жодного впливу на загальний вміст флавоноїдів у плодах цукіні.

Доцільно також відзначити ефективність використання біостимулятора росту рослин Емістим С, що має широкий спектр дії і є продуктом біотехнологічного вирощування грибів-мікроміцетів з кореневої системи лікарських рослин. Для замочування насіння протягом 6–8 годин використовується розчин 0,2 мл/100 мл води або 25 мл на 1 т насіння з розрахунку робочого розчину – 10 л/т. Емістим С містить збалансований комплекс мікроелементів, фітогормонів, амінокислот, вуглеводів та інших природних речовин [43, 44].

Основними перевагами використання Емістим С є такі: підвищення врожайності на 11–24 % і стійкості рослин до стресових кліматичних умов (високі та низькі температури, посуха); збільшення енергії проростання та польової схожості насіння; підсилення фотосинтетичної активності, що сприяє розвитку листової поверхні рослини; зменшення фітотоксичного впливу пестицидів, зниження кількості залишкових пестицидів; зменшення норм внесення засобів захисту рослин до мінімального рівня за рекомендаціями виробника; активізація імунної системи, що сприяє зниженню рівня захворювань рослин; підсилення ефективності добрив [45, 46].

Ще одним перспективним біостимулятором для обробки насіння цукіні на вітчизняному ринку є Вермісол, що як і Емістим С придатний для використання в органічному землеробстві. Вермісол виготовляють з біогумусу, одержаного в результаті переробки червоним каліфорнійським черв'яком підстилкового гною великої рогатої худоби та містить: гумати, амінокислоти, фульвокислоти, вітаміни, природні фітогормони, спори корисних бактерій, мікро- і макроелементи (азот, калій, кальцій, фосфор, магній, залізо тощо).

Завдяки використанню Вермісола підвищується схожість насіння, підсилюється зростання і розвиток рослин, підвищується їхній імунітет, скорочуються терміни дозрівання урожаю на 10–14 днів, відбувається підвищення врожайності овочів до 40 % і більше, за умови поліпшення їхньої якості та збільшення термінів зберігання. Також покращуються біометричні показники рослини, що допомагає формуванню куща, покращується укорінення, знижується вміст важких металів, радіонуклідів і нітратів. Стимулюється ріст і цвітіння, допомагає утворенню великої кількості бутонів і квіток, збільшується біологічна активність ґрунтів і прискорюється їхнє самоочищення, пригнічується розвиток патогенної мікрофлори, покращується фотосинтез листа, збільшується зелена маса. Вермісол можна поєднати з усіма видами агро-

хімікатів, що підсилює їх дію, не порушуючи технологічний процес і не потребує додаткових затрат на використання [43].

Висновки

Метою статті є дослідження застосування біостимуляторів для передпосівної обробки насіння та їхній вплив на рослини цукіні.

Передпосівна обробка насіння цукіні біостимулятором, як і будь-якої іншої культури, є важливим резервом підвищення врожайності та поліпшення якості продукції, покращення росту та здоров'я рослин. Зважаючи на те, що цукіні має високий потенціал врожайності на одиницю площі за короткий період вегетації, доцільно удосконалити агротехнологію його вирощування. Наприклад, доцільним є застосування кремнеземних сполук, *Trichoderma* або ризобактерій, що стимулюють зростання рослин, і рослинних екстрактів. Використання штамів бактерій *P. putida* S1Pfl і *Pseudomonas* spp. 5Vm1K призводить до збільшення тривалості цвітіння та кількості квіток, кількості плодів. Визначено, що використання для обробки насіння цукіні Stimulate® і хітозану сприяє проростанню насіння, а за умови поєднання *Eucalyptus camaldulensis* leaf extract + K_2SiO_3 + *Trichoderma viride* можна отримати найвищий урожай плодів. Доведено, що у разі обробки насіння цукіні біостимуляторами Емістим С і Вермісол підвищується енергія проростання та польова схожість, збільшується врожайність і поліпшується якість продукції, зменшується абіотичний стрес і фітотоксичний вплив пестицидів, знижується кількість залишкових пестицидів тощо. Отже, використання біостимуляторів для передпосівної обробки насіння цукіні є перспективним напрямом вдосконалення агротехніки його вирощування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. Roupael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications. *Agronomy*, 10 (10), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
2. Ugena, L., Hýlová, A., Podlešáková, K., Humplik, J. F., Doležal, K., Diego, N. D., & Spíchal, L. (2018). Characterization of biostimulant mode of action using novel multi-trait high-throughput screening of arabidopsis germination and rosette growth. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01327>
3. Colla, G., & Roupael, Y. (2015). Biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>
4. Roupael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
5. Chiaiese, P., Corrado, G., Colla, G., Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01782>
6. Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., & Sukalac, K. (2019). General principles to justify plant biostimulant claims. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00494>
7. Fernie, A. R., & Pichersky, E. (2015). Focus issue on metabolism: metabolites, metabolites everywhere. *Plant Physiology*, 169 (3), 1421–1423. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01499>
8. Sarker, U., & Oba, S. (2018). Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of *Amaranthus leafy vegetable*. *BMC Plant Biology*, 18 (1). <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1484-1>
9. Salem, M. Z. M., EL-Hefny, M., Ali, H. M., Abdel-Megeed, A., El-Settawy, A. A. A., Böhm, M., Mansour, M. M. A., & Salem, A. Z. M. (2021). Plants-derived bioactives: Novel utilization as antimicrobial, antioxidant and phyto-reducing agents for the biosynthesis of metallic nanoparticles. *Microbial Pathogenesis*, 158, 105107. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.105107>
10. Wadas, W., & Dziugiel, T. (2020). Quality of new potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in response to plant biostimulants application. *Agriculture*, 10 (7), 265. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070265>
11. Kocira, A., Kocira, S., Świeca, M., Złotek, U., Jakubczyk, A., & Kapela, K. (2017). Effect of foliar application of a nitrophenolate-based biostimulant on the yield and quality of two bean cultivars. *Scientia Horticulturae*, 214, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.021>
12. Goñi, O., Quille, P., & O'Connell, S. (2018). Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.024>
13. Milić, B., Tarlanović, J., Keserović, Z., Magazin, N., Miodragović, M., & Popara, G. (2018). Bioregulators can improve fruit size, yield and plant growth of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Scientia Horticulturae*, 235, 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.004>
14. Tarantino, A., Lops, F., Disciglio, G., & Lopriore, G. (2018). Effects of plant biostimulants on fruit set, growth, yield and fruit quality attributes of 'Orange rubis®' apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivar in two consecutive years. *Scientia Horticulturae*, 239, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.055>
15. Drobek, M., Fraç, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress – A review. *Agronomy*, 9 (6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
16. Filgueira, F. A. R. (2012). *Novo manual de olericulture*. Viçosa: Editora UFV.
17. Azambuja, L. O., Benett, C. G. S., Benett, K. S. S., & Costa, E. (2015). Produtividade da abobrinha 'Caserta' em função do nitrogênio e gel hidrorretentor. *Cientifica*, 43 (4), 353. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2015v43n4p353-358>
18. Ezzo, M., Glala, A., Saleh, S., & Omar, N. M. (2012). Improving squash plant growth and yielding ability under organic fertilization condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6, 572–578.
19. Mahmoud, A. (2016). Occurrence of Fusarium wilt on summer squash caused by *Fusarium oxysporum* in Assiut, Egypt. *Journal of Phytopathology and Pest Management*, 3, 34–45.
20. Formisano, L., El-Nakhel, C., Corrado, G., De Pascale, S., & Roupael, Y. (2020). Biochemical, physiological, and productive response of greenhouse vegetables to suboptimal growth environment induced by insect nets. *Biology*, 9 (12), 432. <https://doi.org/10.3390/biology9120432>
21. Formisano, L., Pannico, A., El-Nakhel, C., Starace, G., Poledica, M., Pascale, S. D., & Roupael, Y. (2020). Improved Porosity of insect proof screens enhances quality aspects of zucchini squash without compromising the yield. *Plants*, 9 (10), 1264. <https://doi.org/10.3390/plants9101264>
22. Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M., & Patakioutas, G. (2009). Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany*, 65 (1), 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.07.004>
23. Formisano, L., Miras-Moreno, B., Ciriello, M., El-Nakhel, C., Corrado, G., Lucini, L., Colla, G., & Roupael, Y. (2021). *Trichoderma* and phosphite elicited distinctive secondary metabolite signatures in zucchini squash plants. *Agronomy*, 11 (6), 1205. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061205>
24. Novello, G., Cesaro, P., Bona, E., Massa, N., Gosetti, F., Scarafoni, A., Todeschini, V., Berta, G., Lingua, G., & Gamalero, E. (2021). The

- effects of plant growth-promoting bacteria with biostimulant features on the growth of a local onion cultivar and a commercial zucchini variety. *Agronomy*, 11 (5), 888. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050888>
25. Pêgo, R. G., Nunes, U. R., & Massad, M. D. (2011). Qualidade fisiológica de sementes e desempenho de plantas de rúcula no campo. *Ciência Rural*, 41 (8), 1341–1346. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782011000800008>
 26. Kumar, P., Sharma, N., Sharma, S., & Gupta, R. (2020). Rhizosphere stoichiometry, fruit yield, quality attributes and growth response to PGPR transplant amendments in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) growing on solarized soils. *Scientia Horticulturae*, 265, 109215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109215>
 27. Mannino, G., Campobenedetto, C., Vigliante, I., Contartese, V., Gentile, C., & Berteza, C. M. (2020). The Application of a plant biostimulant based on seaweed and yeast extract improved tomato fruit development and quality. *Biomolecules*, 10 (12), 1662. <https://doi.org/10.3390/biom10121662>
 28. Castiglione, A. M., Mannino, G., Contartese, V., Berteza, C. M., & Ertani, A. (2021). Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: composition, role and application of these innovative products. *Plants*, 10 (8), 1533. <https://doi.org/10.3390/plants10081533>
 29. Velmourougane, K., Prasanna, R., Chawla, G., Nain, L., Kumar, A., & Saxena, A. K. (2019). Trichoderma–azotobacter biofilm inoculation improves soil nutrient availability and plant growth in wheat and cotton. *Journal of Basic Microbiology*, 59 (6), 632–644. Portico. <https://doi.org/10.1002/jobm.201900009>
 30. Chen, D., Hou, Q., Jia, L., & Sun, K. (2021). Combined Use of two trichoderma strains to promote growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Agronomy*, 11 (4), 726. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040726>
 31. Souza, M. W. de L., Oliveira, F. de A. de, Torres, S. B., Neta, M. L. de S., Sá, F. V. da S., & Leal, C. C. P. (2020). Exogenous application of biostimulant in zucchini (*Cucurbita pepo* L.) subjected to salt stress. *Revista Ciência Agrônômica*, 51 (3). <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200055>
 32. Lárez-Velásquez, C., & Zambrano-Díaz, L. (2011). Despolimerización de quitosano con peryodato de potasio. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 32 (2), 195–202.
 33. El Hadrami, A., Adam, L. R., El Hadrami, I., & Daayf, F. (2010). Chitosan in Plant Protection. *Marine Drugs*, 8 (4), 968–987. <https://doi.org/10.3390/md8040968>
 34. Freepons, D. (1997). Enhancing food production with chito-san seed-coating technology. In M. Goosen (Ed.), *Applications of Chitin and Chitosan* (p. 129–139). Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
 35. Allan, C. R., & Hadwiger, L. A. (1979). The fungicidal effect of chitosan on fungi of varying cell wall composition. *Experimental Mycology*, 3 (3), 285–287. [https://doi.org/10.1016/s0147-5975\(79\)80054-7](https://doi.org/10.1016/s0147-5975(79)80054-7)
 36. Burrows, F., Louime, C., Abazinge, M., & Onok-Pise, O. (2007). Extraction and evaluation of chitosan from crab exoskeleton as a seed fungicide and plant growth en-hancer. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2 (2), 103–111.
 37. Tingda, J., Ruixia, M., Ruiming, Q., & Chunping, Z. (1994). Seed treatment and inhibition of plant pathology of chitosan. *Journal of Environmental Sciences*, 6 (1), 112–115.
 38. Bhaskara Reddy, M. V., Arul, J., Angers, P., & Couture, L. (1999). Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (3), 1208–1216. <https://doi.org/10.1021/jf981225k>
 39. Chandkrachang, S. (2002). The application of chitin and chitosan in agriculture in Thailand. In K. Suchiva, S. Chandkrachang, P. Methacanon, M. Peter (Eds.), *Advances in Chitin Science* (p. 458–462). Bangkok, Thailand.
 40. Ziani, K., Ursúa, B., & Maté, J. I. (2010). Application of bioactive coatings based on chitosan for artichoke seed protection. *Crop Protection*, 29 (8), 853–859. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.03.002>
 41. Lárez Velásquez, C., Chirinos, A., Tacoronte, M., & Mora, A. (2012). Chitosan oligomers as bio-stimulants to zucchini (*Cucurbita pepo*) seeds germination. *Agriculture*, 58 (3), 113–119.
 42. Abd-Elkader, D. Y., Mohamed, A. A., Feleafel, M. N., Al-Huqail, A. A., Salem, M. Z. M., Ali, H. M., & Hassan, H. S. (2022). Photosynthetic pigments and biochemical response of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) to plant-derived extracts, microbial, and potassium silicate as biostimulants under greenhouse conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.879545>
 43. Vdovenko, S. A., & Palamarchuk, I. I. (2019). *Osoblyvosti tekhnolohii vyroshchuvannia kabachka v umovakh vidkrytoho gruntu: monohrafiia*. Vinnytsia: VNAU [in Ukrainian]
 44. Horobets, M. V., Chaika, T. O., Krykunova, V. Yu., & Lotysh, I. I. (2021). Zalezhnist ontohenezu yachmeniu yaroho vid vykorystannia stymuliatoriv rostu. In T. O. Chaika (Red.), *Stiikiyi rozvytok silskykh terytorii u konteksti realizatsii derzhavnoi ekolohichnoi polityky ta enerhozberezhennia: kolektyvna monohrafiia* (p. 36–49). Poltava: Astraia [in Ukrainian]
 45. Horobets, M., Chaika, T., Korotkova, I., Pysarenko, P., Mishchenko, O., Shevnikov, M., & Lotysh, I. (2021). Influence of growth stimulants on photosynthetic activity of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) crops. *International Journal of Botany Studies*, 6 (2), 340–345.
 46. Korotkova, I. V., Gorobets, M. V., & Chaika, T. O. (2021). Influence of growth stimulants on productivity of spring barley varieties. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 2, 20–30. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.02>

ORCID

- V. Pysarenko  <https://orcid.org/0000-0002-0184-3929>
M. Pischalenko  <https://orcid.org/0000-0003-4123-9547>
T. Chaika  <https://orcid.org/0000-0002-5980-7517>



2023 Pysarenko V. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.