

Prospects for the use of growth regulators and biostimulants in medicinal plant production

V. Onipko  | V. Voropina | O. Kalashnik

Article info

Citation: Onipko, V., Voropina, V., & Kalashnik, O. (2023). Prospects for the use of growth regulators and biostimulants in medicinal plant production. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (3), 42–46. doi: 10.31210/spi2023.26.03.08

Correspondence Author

V. Onipko

E-mail:

valentyna.onipko@pdaa.edu.ua

Poltava State Agrarian

University,

1/3, Skovoroda St.,

Poltava, 36000,

Ukraine

Weather conditions, low-quality means of plant protection or non-compliance with the technology of their application, as well as violations of the medicinal plants growing technology lead to stressful situations. As a result, they can significantly reduce their productivity and quality, which negatively affects the yield and quality of raw materials. In this regard, a promising direction in medicinal plant production is the use of growth regulators and biostimulants which help to increase the immunity of plants and reduce stress due to various negative factors. The purpose of the article is to analyze modern studies on the effect of growth regulators and biostimulants on medicinal plants to improve their quality, increase productivity and counteract stress conditions. The positive effect of humic acids on the flowering time and yield of calendula officinalis has been determined, and due to the application of Kadostim and Humiforte – increase the total amount of flavonoids and carbohydrate components of the leaves, P, K and N. The increase in the nutritional status of sprayed marigold plants due to Radifarm® was studied, increase in the number of leaves and flowers on a plant. The effectiveness of the application of chitosan on milk thistle was proven, which led to a reduction in the negative effects of salt stress, stimulation of the activity of enzymes and antioxidants. When salicylic acid was used in milk thistle seeds, the content of antioxidant compounds increased, vegetative growth accelerated and yield increased. The results of application on different types of mint were determined: the strain *T. harzianum* – improvement of menthol content and oil yield; CRADLE™, Mobilizer™ and Nanozim NXT™ – facilitating metabolic and physiological reactions; salicylic acid – stimulation of oil components; chitosan, citric and humic acids – increase in dry weight of stems and leaves; arbuscular mycorrhizal fungi with chitosan – positive effect on secondary metabolites and dry plant mass. The application of seaweed extracts in medicinal plant production is promising: it was found that phytomass and the content of minerals and antioxidants of jute mallow grew under the influence of these extracts.

Keywords: Medicinal plants, biostimulants, Marigold, French Marigold, Milk Thistle, Peppermint, Forest Malloes, growth stimulants.

Перспективи використання в лікарському рослинництві регуляторів росту та біостимуляторів

В. В. Оніпко | В. О. Воропіна | О. П. Калашнік

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава,
Україна

Погодні умови, неякісні засоби захисту рослин або недотримання технологій їх застосування, а також порушення технології вирощування рослин призводять до стресових ситуацій лікарських рослин. В результаті вони можуть значно знизити свою продуктивність. У зв'язку з цим отримали розвиток використання регуляторів росту та біостимуляторів, що сприяє підвищенню імунітету рослин і зменшенню стресу через дію різних негативних факторів. Мета статті – аналіз застосування сучасних регуляторів росту та біостимуляторів на лікарських рослинах задля покращення їх якості, збільшення врожайності та протидії стресовим умовам. Виявлено позитивний вплив гумінових кислот на врожайність календули лікарської та більш раннє цвітіння, а завдяки застосуванню препаратів Kadostim і Humiforte – підвищення загальної кількості флавоноїдів і вуглеводних компонентів листя, P, K і N. Досліджено підвищення поживного статусу рослин чорнобривців розлогих завдяки Radifarm®, збільшення кількості листків, квіток і бутонів, концентрації N, P і K в надземній частині рослини. Доведено переваги використання хітозану на розторопші плямистій, що призвело до зменшення несприятливих наслідків сольового стресу, стимулювання активності ферментів і антиоксидантів. За використання саліцилової кислота у насінні розторопші відбулося підвищення вмісту антиоксидантних сполук, прискорився вегетативний ріст і збільшилася врожайність. Визначено результати застосування на різних видах м'яти: штаму *T. harzianum* – покращення вмісту ментолу та вихід олії; CRADLE™, Mobilizer™ та Nanozim NXT™ – сприяння метаболічним та фізіологічним реакціям; саліцилової кислоти – стимулювання олійних компонентів; хітозану, лимонної та гумінової кислот – підвищення сухої ваги стебла і листя; арбускулярних мікоризних грибів з хітозаном – позитивний вплив на вторинні метаболіти та суху рослинну масу. Обґрунтовано позитивний вплив водних екстрактів з морських водоростей на ріст, урожайність, вміст мінералів та анти-оксиданти мальви джутової.

Ключові слова: лікарські рослини, біостимулятори, календула лікарська, розторопша плямиста, чорнобривці розлогі, м'ята перцева, мальва лісова.

Бібліографічний опис для цитування: Оніпко В. В., Воропіна В. О., Калашнік О. П. Перспективи використання в лікарському рослинництві регуляторів росту та біостимуляторів. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (3). С. 42–46.

Протягом останніх десятиліть спостерігається постійне зростання глобального попиту на лікарські засоби рослинного походження та натуральні продукти, тому існує потреба у великій кількості різноманітних лікарських рослин високої якості. Відомо, що хімічний склад рослин значно змінюється залежно від генетичних і екологічних факторів, способів вирощування, строків збору та післязбиральної обробки. Як результат, це може негативно вплинути на фітохімію лікарських рослин, що обумовлює необхідність забезпечити їх відносно високу якість [1].

Важливу роль у цьому відіграють стимулятори росту рослин (регулятори росту і біостимулятори). Наразі відомо, що регулятори росту рослин (PGR – Plant growth regulators) і біостимулятори (biostimulants) регулюють ріст і розвиток рослин, прискорюють метаболізм рослин і підвищують поглинання поживних речовин, що призводить до більш здорових рослин із кращими врожайми. Однак механізм їхньої дії на стимулювання росту рослин відрізняється. Регулятори росту рослин визначаються як синтетичні сполуки, похідні фітогормонів, які імітують природні рослинні гормони [2–4]. Регулятори росту не мають поживної цінності та не функціонують, пригнічуючи або прискорюючи ріст і розвиток рослин, безпосередньо впливаючи на

гормони рослин у низьких дозах [5].

З іншого боку, біостимулятор рослин визначається як будь-яка речовина або мікроорганізм, що використовується для рослин і може призвести до підвищення ефективності живлення та покращення стійкості до абіотичного стресу й якості врожаю [6]. Біостимулятори зазвичай являють собою складні суміші, що містять органічні (наприклад, екстракти морських водоростей, фільтрат біогумусу, білкові гідролізати, гумінові речовини, мікроорганізми, біомолекули, метаболіти бродіння тощо), мікробні (гриби та бактерії) та/або неорганічні (Si, Se) складові [7–12]. Біостимулятори також багаті на мінерали, вітаміни, рослинні гормони, олігосахариди, амінокислоти, які відіграють важливу роль у покращенні стану ґрунту, його родючості, сорбції та десорбції поживних речовин. Вони покращують ріст і здоров'я рослин, стимулюючи природні процеси в незначній кількості, а не безпосередньо контролюючи ріст рослин [13, 14]. Отже, біостимулятори відіграють життєво важливий характер у кругообігу поживних речовин, контролі абіотичного стресу, біодоступності важких металів і викидах парникових газів [15–17].

Регулятори росту рослин потрібні в невеликих кількостях і містять менше домішок, ніж звичайні добрива. Крім того, біостимулятори отримують із природних ресурсів [18]. Таким чином, існує мінімальний ризик щодо токсичності та безпеки для людини та навколишнього середовища [19]. Регулятори росту та біостимулятори стають все більш популярними серед фермерів і споживачів у всьому світі, оскільки вони можуть допомогти підвищити врожайність і покращити здоров'я ґрунту, знизивши залежність від синтетичних добрив і пестицидів [20, 21].

Необхідно відзначити, що після COVID-19 у світі відбувається зміна парадигми та зростання попиту на

органічну їжу серед споживачів як профілактичний засіб як у розвинених країнах, так і в країнах, що розвиваються [22–24]. Зі збільшенням чисельності глобального населення та зростаючим занепокоєнням щодо погіршення стану навколишнього середовища підвищується попит на методи сталого ведення сільського господарства та впровадження політики GLOBALGAP (GLOBAL Good Agricultural Practices) [25, 26]. Крім того, очікується, що ринок регуляторів росту та біостимуляторів зростатиме та поширюватиметься на нові території, включаючи Азію та Африку [27, 28]. Прогнозується, що регулятори росту та біостимулятори набудуть більшого використання в сільському господарстві протягом наступних кількох років завдяки технологічному прогресу та зростаючому попиту на стійке сільське господарство [29], що обумовлює доцільність їх використання у лікарському рослинництві.

Так, застосування гумінових кислот, що містять L-аскорбінову кислоту та тіамін, як окремо (біостимулятор ROOTS), так і разом з добривом (ROOTS PLUS), збільшило виробництво сировини календули лікарської (*Calendula officinalis* L.) та викликало більш раннє цвітіння [30]. Також було досліджено вплив біологічних речовин на метаболізм і обмін речовин, що сприяє підвищенню врожайності календули лікарської та вмісту вторинних метаболітів [31]. В результаті визначено, що амінокислотне добриво Humiforte (1,5 л/га) порівняно до контролю призвело до збільшення сухої маси рослини до 37,46 %, сухої маси кошиків – до 36,92 %, площі листя – до 34,44 %, відносний вміст води – до 32,03%, індекс урожаю – до 20,40 %, кількість суцвіть на рослину – до 40,64 %, загальний вміст вуглеводів в кошиках – до 18,43 %, загальний вміст флавоноїдів у листках – до 19,35 %, а загальний вихід флавоноїдів у листках – до 38,63 %. Найбільша кількість загальних флавоноїдів у кошиках (0,25 % зі збільшенням до 32 % порівняно з контролем) була отримана за дії біостимулятора Aminoforte (1,5 л/га). Завдяки використанню комплексного природно-синтетичного біостимулятора Kadostim (1,5 л/га) відбулося збільшення висоти рослини до 36,83 %, кількості листків – до 26,65 % і загальний вихід флавоноїдів з головки – до 38,82 %, загальний вміст вуглеводів у листках – до 13,52 %. Вміст N, P і K збільшувався при позакореновому внесенні біоактивних амінокислотних сполук.

Вплив біостимулятора розвитку кореневої системи Radifarm® на чорнобривці розлогі (*Tagetes patula* L.) засвідчило позитивний вплив на ріст і розвиток рослин після пересадки. Маса коренів чорнобривців і їх надземної частини, а також висота рослин були значно вищими в оброблених рослинах порівняно з необробленими. Крім того, за результатами обробки порівняно з контрольними рослинами було зареєстровано: значно більшу кількість листків, квіток і суцвіть; вищі концентрації N, P і K, особливо в надземній частині рослин. Застосування біостимулятора дозволило рослині подолати стрес, спричинений пересадкою та низькими температурами, що забезпечувало постійний ріст і розвиток чорнобривців [32].

Дослідження [33] щодо використання такого біостимулятора, як хітозан, на розторопші плямистій (*Silybum marianum* L.) засвідчило зменшення несприятливих ефектів від засолених ґрунтів, посилення росту рослин і покращення фізіологічних ознак. Застосування хітозану на 0,01 % підвищило хлорофіл *a* і загальний хлорофіл на 0,05 %, а також хлорофіл *b*. Найвища концентрація розчинних цукрів і проліну була досягнута при застосуванні хітозану на всіх рівнях солоності ґрунтів. Внесення хітозану у нормі 0,01 % та 0,05 % посилювало ферментативну активність та знижувало концентрацію H₂O₂ у листі рослини. Результати показали, що хітозан може захищати рослини від сольового стресу шляхом модуляції внутрішньоклітинної концентрації іонів і підвищення активності антиоксидантних ферментів. Таким чином, середня концентрація хітозану як біостимулятора (0,01 % і 0,05 %) відіграла позитивну роль у зниженні засолення та посиленні росту розторопші.

Необхідно також відзначити дослідження впливу саліцилової кислоти на стійкість, показники якості та продуктивності розторопші плямистої в умовах посухового стресу [34]. В результаті визначено, що обприскування рослин саліциловою кислотою (1 мл) призвело до зниження осмотичної адаптації під час посухового стресу, підвищення вмісту антиоксидантних сполук у насінні та прискорення вегетативного росту, збільшення врожайності розторопші плямистої за рахунок зростання відносного вмісту води. За результатами [35] припущено, що застосування належних концентрацій саліцилової кислоти є ефективним засобом для покращення клітинного гомеостазу та росту рослин, які піддаються періодичним періодам посухи.

Використання штамів *Trichoderma* – *T. ovalisporum* (NFCCI2689) і *T. harzianum* (NFCCI 2241) на польовій м'яті (*Mentha arvensis* L.) засвідчило покращення вмісту ментолу та вихід олії за використання штаму NFCCI 2241 [36], тоді як застосування біостимуляторів CRADLE™, Mobilizer™ та Nanozim NXT™ сприяло метаболічним і фізіологічним реакціям, таких як водний потенціал листя, газообмін, накопичення проліну та відносний вміст води у стресових сходах м'яті довголистої (*Mentha longifolia* L.) [37]. Застосування саліцилової кислоти стимулювало олійні компоненти м'яті перцевої (*Mentha piperita* L.) порівняно з контрольними рослинами, зокрема ментол, ментон, метилацетат і 1,8-цинеол [38]. Використання хітозану, лимонної кислоти та гумінової кислоти на тих самих видах м'яті підвищило суху вагу стебла та листя [39, 40]. Комбіноване застосування арбускулярних мікоризних грибів з хітозаном позитивно вплинуло на вторинні метаболіти та суху рослинну масу м'яті перцевої [41, 42].

Доцільно також відзначити проведені польові експерименти [43] щодо оцінки впливу двох способів екстракції (водної екстракції з морських водоростей (*Pterocladia capillacea* SG Gmelin) і водної екстракції за допомогою ультразвуку) у трьох концентраціях (5 %, 10 % і 15 %) на ріст, урожайність, мінерали та антиоксиданти мальви протягом двох періодів.

В результаті найкращі показники було зафіксовано після обробки 10 % водною екстракцією з морських водоростей на: вміст хлорофілу «а»; рівень загальної антиоксидантної здатності, загальної кількості фенолів і загальної кількості флавоноїдів; прискорений ріст, урожайність, вміст мінералів і антиоксидантів.

Висновки

Задачею представленого огляду є аналіз сучасного стану впливу регуляторів росту та біостимуляторів на лікарські рослини задля покращення їх якості, збільшення врожайності та протидію стресовим умовам.

Визначено переваги використання регуляторів росту рослин, що містять різноманітні органічні та неорганічні сполуки, допомагають стимулювати та регулювати метаболізм рослин, сприяючи швидшому росту, міцнішим стеблам і загалом більш здоровим рослинам. Біостимулятори також позитивно впливають на ріст і розвиток різних лікарських рослин, підвищують стійкість до параметрів біотичного та абіотичного стресу, покращують якість і врожайність лікарських рослин.

Розкрито вплив гумінових кислот на збільшення врожайності календули лікарської та більш ранне цвітіння, а використання Kadostim і Humiforte сприяло підвищенню загальної кількості флавоноїдів і вуглеводних компонентів у листі рослини, P, K і N. Визначено підвищення поживного статусу рослин чорнобривців розлогих завдяки Radifarm®, а також збільшення кількості листя, квіток і бутонів, концентрації N, P і K в надземній частині рослин. Означено переваги застосування хітозану на розторопші плямистій, що зменшило несприятливі наслідки сольового стресу, стимулювало активність ферментів і антиоксидантів. За використання саліцилової кислота відбулося зниження осмотичної адаптації під час посухового стресу, підвищення вмісту антиоксидантних сполук у насінні цієї рослини, прискорення вегетативного росту та врожайності. Визначено наслідки застосування на різних видах м'яті: штаму *T. harzianum* – покращення вмісту ментолу та вихід олії; CRADLE™, Mobilizer™ та Nanozim NXT™ – сприяння метаболічним та фізіологічним реакціям; саліцилової кислоти – стимулювання олійних компонентів (ментол, ментон, метилацетат і 1,8-цинеол); хітозану, лимонної кислоти та гумінової кислоти – підвищення сухої ваги стебла та листя; арбускулярних мікоризних грибів з хітозаном – позитивний вплив на вторинні метаболіти та суху рослинну масу. Доведено доцільність використання 10 % водної екстракції з морських водоростей на ріст, урожайність, вміст мінералів і антиоксиданти мальви.

Конфлікт інтересів

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

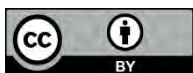
References

- Kandeel, A. (1991). Influence of soil and foliar nutrition on growth and volatile oil content of parsley (*Petroselinum crispum* Mill). *Annals of Agricultural Sciences*, 36, 155–162.
- Gianfagna, T. (1995). Natural and synthetic growth regulators and their use in horticultural and agronomic crops. *Plant Hormones*, 751–773. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0473-9_34
- Scacchi, E., Osmont, K. S., Beuchat, J., Salinas, P., Navarrete-Gómez, M., Trigueros, M., Ferrándiz, C., & Hardtke, C. S. (2009). Dynamic, auxin-responsive plasma membrane-to-nucleus movement of Arabidopsis BRX. *Development*, 136 (12), 2059–2067. <https://doi.org/10.1242/dev.035444>
- Gupta, S., & Chaturvedi, P. (Eds.). (2022). Commercial scale tissue culture for horticulture and plantation crops. *Springer Nature Singapore*. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6>
- Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34 (4), 845–872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., Petropoulos, S. A., & Shahrajabian, N. (2023). Developing Sustainable agriculture systems in medicinal and aromatic plant production by using chitosan and chitin-based biostimulants. *Plants*, 12 (13), 2469. <https://doi.org/10.3390/plants12132469>
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., Tzortzakos, N., & Petropoulos, S. A. (2021). Sustainable agriculture systems in vegetable production using chitin and chitosan as plant biostimulants. *Biomolecules*, 11 (6), 819. <https://doi.org/10.3390/biom11060819>
- Shahrajabian, M. H., & Sun, W. (2022). Sustainable Approaches to boost yield and chemical constituents of aromatic and medicinal plants by application of biostimulants. *Recent Advances in Food, Nutrition & Agriculture*, 13 (2), 72–92. <https://doi.org/10.2174/2772574x13666221004151822>
- Shahrajabian, M. H., Cheng, Q., & Sun, W. (2023). Using Bacteria and fungi as plant biostimulants for sustainable agricultural production systems. *Recent Patents on Biotechnology*, 17 (3), 206–244. <https://doi.org/10.2174/1872208316666220513093021>
- Shahrajabian, M. H., Petropoulos, S. A., & Sun, W. (2023). Survey of the Influences of microbial biostimulants on horticultural crops: case studies and successful paradigms. *Horticulturae*, 9 (2), 193. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020193>
- Colla, G., & Roupshael, Y. (2015). Biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>
- Gupta, S., Kulkarni, M. G., White, J. F., Stirk, W. A., Papenfus, H. B., Doležal, K., Ördög, V., Norrie, J., Critchley, A. T., & Van Staden, J. (2021). Categories of various plant biostimulants – mode of application and shelf-life. *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development*, 1–60. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823048-0.00018-6>
- Roupshael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>
- The European Biostimulants Industry Council (EBIC). (2020). Retrieved from: <https://biostimulants.eu>
- Amjad Bashir, M., Rehim, A., Raza, Q.-U.-A., Muhammad Ali Raza, H., Zhai, L., Liu, H., & Wang, H. (2021). Biostimulants as plant growth stimulators in modernized agriculture and environmental sustainability. *Technology in Agriculture*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98295>
- 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>
- Korotkova, I. V., Chaika, T. O., Romashko, T. P., Chetveryk, O. O., Rybalchenko, A. M., & Barabolia, O. V. (2023). Emmer wheat productivity formation depending on pre-sowing seed treatment method in organic and traditional technology cultivation. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14 (1), 41–47. <https://doi.org/10.15421/022307>
- Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development*. (2021). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2019-0-05281-8>
- Kisvarga, S., Farkas, D., Boronkay, G., Neményi, A., & Orlóci, L. (2022). Effects of biostimulants in horticulture, with emphasis on ornamental plant production. *Agronomy*, 12 (5), 1043. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051043>
- Chaika, T. O. (2016). Ekološko-ekonomični peredumovy vyroshchuvannia likarskykh roslyn za orhanichnymy standartamy. *Likarske roslynnytstvo: vid dosvidu mynuloho do novinih tekhnologii: materialy piatoj Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii*. Poltava: RVV PDAA. Retrieved from: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/4697> [in Ukrainian]
- Chaika, T. O. (2013). Environmental consequences of traditional agriculture. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 3, 95–99. <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.03.18>
- Śmiglak-Krajewska, M., & Wojciechowska-Solis, J. (2021). Consumer versus organic products in the COVID-19 pandemic: opportunities and barriers to market development. *Energies*, 14 (17), 5566. <https://doi.org/10.3390/en14175566>
- Brata, A. M., Chereji, A. I., Brata, V. D., Morna, A. A., Tirpe, O. P., Popa, A., Arion, F. H., Banzski, L. I., Chereji, I., Popa, D., & Muresan, I. C. (2022). Consumers' Perception towards organic products before and after the COVID-19 Pandemic: a case study in bihor county, Romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (19), 12712. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912712>
- Wang, H., Ma, B., Cudjoe, D., Bai, R., & Farrukh, M. (2021). How does perceived severity of COVID-19 influence purchase intention of organic food? *British Food Journal*, 124 (11), 3353–3367. <https://doi.org/10.1108/bfj-06-2021-0701>
- Kleemann, L., Abdulai, A., & Buss, M. (2014). Certification and access to export markets: adoption and return on investment of organic-certified pineapple farming in Ghana. *World Development*, 64, 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.05.005>
- Mook, A., & Overdeest, C. (2021). What drives market construction for fair trade, organic, and Global GAP certification in the global citrus value chain? Evidence at the importer level in the Netherlands and the United States. *Business Strategy and the Environment*, 30 (7), 2996–3008. <https://doi.org/10.1002/bse.2784>
- Global biostimulants market analysis, drivers, restraints, opportunities, threats, trends, applications, and growth forecast to 2027 (2022). Retrieved from: <https://marketresearch.biz/report/biostimulants-market>
- Plant growth regulators market global forecast to 2028: Rise in resistance development in certain pest and insect species to drive market (2023). Retrieved from: <https://www.globenews-wire.com/fr/news-release/2023/03/24/2633860/0/en/Plant-Growth-Regulators-Global-Market-to-2028-Rise-in-Resistance-Development-in-Certain-Pest-and-Insect-Species-to-Drive-Market.html>
- Gupta, S., Bhattacharyya, P., Kulkarni, M. G., & Doležal, K. (2023). Editorial: Growth regulators and biostimulants: upcoming opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1209499>
- Russo, R., Poincelot, R. P., & Berlyn, G. P. (1993). The use of a commercial organic biostimulant for improved production of marigold cultivars. *Journal of Home & Consumer Horticulture*, 1 (1), 83–93. https://doi.org/10.1300/j280v01n01_05
- Rafiee, H., Mehrafarin, A., Qaderi, A., Kalate Jari, S., & Naghdi Badi, H. (2013). Phytochemical, agronomical and morphological responses of pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) to foliar application of bio-stimulators (Bioactive amino acid compounds). *Journal of Medicinal Plants*, 12 (47), 48–61.
- Zeljko, S., Paradikovic, N., Vinkovic, T., Tkalec, M., Maksimovic, I., & Haramija, J. (2013). Nutrient status, growth and proline concentration of French marigold (*Tagetes patula* L.) as affected by biostimulant treatment. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11 (3&4), 2324–2327.
- Safikhani, S., Khoshbakht, K., Chaichi, M. R., Amini, A., & Motesharezadeh, B. (2018). Role of chitosan on the growth, physiological parameters and enzymatic activity of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) in a pot experiment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 10, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.06.002>
- Estaji, A., & Niknam, F. (2020). Foliar salicylic acid spraying effect on growth, seed oil content, and physiology of drought-stressed *Silybum marianum* L. plant. *Agricultural Water Management*, 234, 106116. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106116>
- Brito, C., Dinis, L.-T., Ferreira, H., Coutinho, J., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. M. (2019). Salicylic acid increases drought adaptability of young olive trees by changes on redox status and ionome. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 315–324. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.06.011>

36. Ratnakumari, R., Nagamani, A., Sarojini, C. K., & Adinarayana, G. (2014). Effect of *Trichoderma* species on yield of *Mentha arvensis* L. *International Journal of Advanced Research*, 2, 864–867. <https://doi.org/10.13140/2.1.2485.0567>
37. Elansary, H. O., Mahmoud, E. A., El-Ansary, D. O., & Mattar, M. A. (2019). Effects of water stress and modern biostimulants on growth and quality characteristics of mint. *Agronomy*, 10 (1), 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010006>
38. Saharkhiz, M. J., & Goudarzi, T. (2014). Foliar application of salicylic acid changes essential oil content and chemical compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17 (3), 435–440. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2014.892839>
39. Santoro, M. V., Cappellari, L. R., Giordano, W., & Banchio, E. (2015). Plant growth-promoting effects of native *Pseudomonas* strains on *Mentha piperita* (peppermint): an in vitro study. *Plant Biology*, 17 (6), 1218–1226. <https://doi.org/10.1111/plb.12351>
40. Shahabivan, S., Padash, A., Aghaee, A., Nasiri, Y., & Fathi Rezaei, P. (2018). Plant biostimulants (*Funneliformis mosseae* and humic substances) rather than chemical fertilizer improved biochemical responses in peppermint. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 8, 2333–2344.
41. Caruso, G., De Pascale, S., Cozzolino, E., Giordano, M., El-Nakhel, C., Cuciniello, A., Cenvinzo, V., Colla, G., & Roupheal, Y. (2019). Protein hydrolysate or plant extract-based biostimulants enhanced yield and quality performances of greenhouse perennial wall rocket grown in different seasons. *Plants*, 8 (7), 208. <https://doi.org/10.3390/plants8070208>
42. Goudarzian, A., Pirbalouti, A. G., & Hossaynzadeh, M. (2020). menthol, balance of menthol/menthone, and essential oil contents of *Mentha Piperita* L. under foliar-applied chitosan and inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23 (5), 1012–1021. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2020.1828177>
43. Ashour, M., El-Shafei, A. A., Khairy, H. M., Abd-Elkader, D. Y., Mattar, M. A., Alataway, A., & Hassan, S. M. (2020). Effect of pterocladia capillacea seaweed extracts on growth parameters and biochemical constituents of Jew's Mallow. *Agronomy*, 10 (3), 420. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030420>

ORCID

- V. Onipko  <https://orcid.org/0000-0002-2260-971X>
- V. Voropina  <https://orcid.org/0000-0002-2648-6147>
- O. Kalashnik  <https://orcid.org/0009-0005-0185-4475>



2023 Onipko 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.