

ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ НА ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ І РІСТ ПРОРОСТКІВ РОСЛИН ТОМАТУ

Любов МАРГІТАЙ¹, Дмитро МАРГІТАЙ², Михайло ВАКЕРИЧ^{2,3}, Сергій ШАЛАЄНКО¹,
Кароліна ШЕЙДИК¹, Андрій ЧЕПКИЙ¹

У роботі проаналізовано вплив біостимуляторів росту на проростання насіння та ріст проростків рослин томату (*Lycopersicon esculentum*) сортів Де Барао жовтий та Кібіц, які є придатними для вирощування за органічною технологією внаслідок толерантності до фітофторозу. Досліджено ефективність застосування українських регуляторів росту Біолану, Стимпо, Алостиму, Регопланту та Гумату калію у різних концентраціях з метою підвищення схожості та енергії проростання насіння, росту кореневої системи. Дослідження проводилися в лабораторних умовах методом біотестів. Встановлено, що на четверту добу пророщування насіння томату сорту Де Барао жовтий обробка Біоланом у концентрації 10^{-3} % збільшувала довжину коренів на 29 % порівняно з контролем, а на восьму добу ця ж концентрація стимулювала ріст кореневої системи на 86 %. Аналогічно, довжина гіпокотилів зростала в середньому на 44-49 %, що може сприяти швидшій появі сім'ядольних листків над поверхнею ґрунту і більш дружнім сходам.

На 4 добу пророщування насіння томату сорту Кібіц під впливом різних концентрацій регуляторів росту Стимпо, Алостиму, Регопланту і Гумату калію виявлено, що майже всі досліджувані регулятори росту в більшості концентрацій підвищують енергію проростання. Тоді, коли в контролі проросло в середньому 82 % насінин, у варіанті обробки Алостимом у концентрації 10^{-3} % – 94 %. По відношенню до контролю енергія проростання при дії Алостиму в концентрації 10^{-3} % збільшується на 12 %; Алостимом, Українськими гуматами і Регоплантом у концентрації 10^{-4} % – 11 %; Алостимом у концентрації 10^{-5} %, Українськими гуматами і Регоплантом у концентрації 10^{-3} % – на 10 % більше, ніж у контролі. Немає підвищення енергії проростання під дією занадто високих концентрацій регуляторів росту таких як Стимпо, Регоплант і Гумату калію у концентрації 0,1 %. Тому дуже важливим є підбір оптимальних концентрацій. Збільшується також довжина коренів. Найкращі результати отримані при обробці Алостимом у концентраціях 10^{-3} % і 10^{-4} %, а також Регоплантом у концентраціях 10^{-1} % і 10^{-4} %, що забезпечувало значне збільшення довжини кореневої системи, на 72–81 % більше у порівнянні з контролем.

Отримані результати підтверджують, що застосування біостимуляторів росту покращує морфометричні показники проростків рослин томату, сприяючи більш активному розвитку кореневої системи. Це забезпечує кращу адаптацію рослин до стресових умов, зокрема посухи, шляхом підвищення ефективності поглинання води та поживних речовин. Регулятори росту можуть бути ефективним засобом для підвищення якості розсади томатів у регіонах з обмеженими водними ресурсами.

Ключові слова: *Lycopersicon esculentum* L., проростання, регулятори росту рослин, стимуляція росту кореневої системи, гіпокотиль, енергія проростання, посухостійкість.

¹ Кафедра плодовоовочівництва і виноградарства, Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 32, Ужгород, 88000, Україна; e-mail: lyubov.margitay@uzhnu.edu.ua; shalaienko.serhii@student.uzhnu.edu.ua; caroline.sheydik@uzhnu.edu.ua; chepkyi.andrii@student.uzhnu.edu.ua

² Кафедра генетики, фізіології рослин і мікробіології, Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 32, Ужгород, 88000, Україна; dmytro.marhitai@uzhnu.edu.ua; mykhailo.vakerich@uzhnu.edu.ua

³ Закарпатський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, Слов'янська наб., 25, Ужгород, 88000, Україна

Effect of growth regulators on tomato seed germination and seedling growth

Margitay L.¹, Marhitai D.², Vakerych M.^{2,3}, Shalaienko S.¹, Sheydyk K.¹, Chepkyi A.¹

*This study analyzes the effects of plant growth biostimulants on seed germination and seedling growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars De Barao Yellow and Kibits, which are suitable for organic cultivation due to their tolerance to late blight. The effectiveness of Ukrainian growth regulators – Biolan, Stimpo, Alostim, Regoplant, and Potassium Humate – was evaluated at various concentrations to enhance seed germination rate, seedling*

vigor, and root system development. The studies were conducted in laboratory conditions using the biotest method. It was found that on the fourth day of seed germination of tomato variety De Barao Yellow, treatment with Biolan at a concentration of 10^{-3} % increased the length of the roots by 29 % compared to the control, and on the eighth day this same concentration stimulated the growth of the root system by 86%. Similarly, the hypocotyl length increased by an average of 44–49 %, which may contribute to the faster appearance of cotyledon leaves above the soil surface and faster plant germination.

On the 4th day of germination of tomato seeds of the Kibits variety under the influence of different concentrations of the growth regulators Stimpol, Alostim, Regoplant and Potassium Humate, it was found that almost all the studied growth regulators in most concentrations increase the germination energy. While in the control an average of 82 % of seeds germinated, in the variant of treatment with Alostim at a concentration of 10^{-3} %–94 %. In relation to the control, the germination energy under the action of Alostim at a concentration of 10^{-3} % increases by 12 %; with Alostim, Ukrainian humates and Regoplant at a concentration of 10^{-4} %–11 %; Alostim at a concentration of 10^{-5} %, Ukrainian humates and Regoplant at a concentration of 10^{-3} % – 10 % more than in the control. There is no increase in germination energy under the influence of too high concentrations of growth regulators such as Stimpol, Regoplant and Potassium Humate at a concentration of 0.1 %. Therefore, the selection of optimal concentrations is very important. The length of the roots also increases. The best results were obtained when treating with Alostim at concentrations of 10^{-3} % and 10^{-4} %, as well as Regoplant at concentrations of 10^{-1} % and 10^{-4} %, which provided a significant increase in the length of the root system, by 72–81 % more compared to the control. The results obtained confirm that the use of growth biostimulants improves the morphometric indicators of tomato seedlings, contributing to a more active development of the root system. This ensures better adaptation of plants to stressful conditions, in particular drought, by increasing the efficiency of water and nutrient absorption. Growth regulators can be an effective means of improving the quality of tomato seedlings in regions with limited water resources.

Key words: *Lycopersicon esculentum* L., germination, plant growth regulators, root growth stimulation, hypocotyl, germination energy, drought tolerance.

¹ Department of Fruit and Vegetable Growing and Viticulture, Uzhhorod National University, 32, Voloshyna Str., Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: lyubov.margitay@uzhnu.edu.ua; shalaienko.serhii@student.uzhnu.edu.ua; caroline.sheydik@uzhnu.edu.ua; chepyi.andrii@student.uzhnu.edu.ua

² Department of Genetics, Plant Physiology and Microbiology, Uzhhorod National University, 32, Voloshyna Str., Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: dmytro.marhitai@uzhnu.edu.ua; mykhailo.vakerich@uzhnu.edu.ua

³ Transcarpathian scientific research expert and forensic center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 25, Slovianska nab., Uzhhorod, 88000, Ukraine

Вступ

Фітогормони відіграють ключову роль у регуляції росту рослин, особливо на ранніх стадіях розвитку, таких як проростання насіння та ріст проростків. Дослідження показують, що ауксини, гібереліни, етилен, цитокініни, абсцизова кислота, брасіностероїди та жасмонова кислота беруть участь у відповіді рослин на абіотичні стреси (Siddiqui et al. 2020; Singh et al. 2021a; Irfan et al. 2022).

Серед фітогормонів ауксин є ключовим регулятором росту рослин. Його просторово-часове регулювання сприяє виживанню та розвитку рослин у несприятливих умовах. Крім того, під впливом важких металів ауксин контролює синтез активних форм кисню та реактивних азотних сполук у клітинах кореня (Kolbert et al. 2018; Fahad et al. 2021).

При вирощуванні томатів у стресових умовах застосування біостимуляторів, може позитивно впливати на гормональний баланс і розвиток проростків. Зокрема, гумати та фітогормональні препарати підтримують гомеостаз ауксину, змінюючи його активний пул через регулювання інактивації,

деградації та транспорту, що сприяє покращенню стану рослин. Крім того, ауксин стимулює транскрипцію ферментів антиоксидантної системи під час оксидативного стресу (El-Gaied et al. 2013).

Дослідження Kumar Meena et al. (2024) показали, що баланс між ауксином і цитокінінами є ключовим у розвитку кореневої меристеми, зокрема через залучення CBL (кіназний білок) що взаємодіє з білком, подібним до кальциневрину у *Arabidopsis*.

Також було доведено, що застосування оксиду азоту (NO) сприяло зниженню окислювального стресу в рослинах шляхом запобігання деградації ауксину та модифікації його транспорту, що призводило до розвитку кореневої меристеми, зростання бічних коренів та формування кореневих волосків. Взаємодія між ауксином і NO може бути ключовим механізмом адаптації проростків томатів до несприятливих умов. Взаємозв'язок між ауксином та NO під час розвитку бічних коренів у томатів також був виявлений Guo et al. (2008), що підтверджує потенціал біостимуляторів у покращенні росту кореневої системи.

Оксид азоту (NO) відіграє важливу роль у регуляції росту рослин, і деякі регулятори росту можуть стимулювати його синтез (Cao et al. 2017; Singh et al. 2024).

Окрім безпосереднього впливу на ріст, регулятори росту можуть сприяти поліпшенню фізіологічних характеристик проростків томатів, збільшуючи ефективність поглинання поживних речовин, прискорюючи фотосинтез та підвищуючи стійкість до абіотичних та біотичних стресів. Це може підвищити якість урожаю (Abd-Elsalam et al. 2024; Gomasta et al. 2024; Uddin et al. 2024).

Томат є однією з найважливіших овочевих культур, яка вирощується в культивацийних спорудах і у відкритому ґрунті на Закарпатті (Margitai et al. 2010). Внаслідок того, що клімат Закарпаття формується під впливом вологих повітряних мас із Атлантики, дуже часто помідори страждають від фітофторозу, що може спричинити часткову або повну втрату врожаю. Тому більшість фермерів регулярно використовують препарати для профілактики та лікування фітофторозу, що збільшує хімічне навантаження на навколишнє середовище та організм людини. Виходом у даній ситуації може бути використання сортів відносно стійких до фітофторозу.

Тому метою нашої роботи було дослідження можливостей удосконалення методики вирощування розсади стійких до фітофторозу придатних для органічного вирощування сортів томату шляхом використання регуляторів росту.

Матеріал та методики

Об'єктами досліджень були стійкі до фітофторозу сорти томатів Кібіц і Де Барао жовтий. Ці сорти були обрані нами для досліджень тому, що протягом десяти років вирощування різних сортів томатів у відкритому ґрунті за органічною технологією в ґрунтово-кліматичних умовах низинної зони Закарпаття саме вони щороку давали стабільний урожай. Ультраранній детермінантний томат Кібіц дозріває вже на 65–70 день після висадки розсади. Невеличкі перчикоподібні плоди досягають на компактних кущах заввишки до 80 сантиметрів. Кібіц дає основний урожай в липні-на початку серпня до масового розвитку фітофторозу. Де-Барао жовтий – пізньостиглий, тінювитривалий, холодостійкий. Урожайність дуже висока. Індетермінантний, висота рослини 1,4–2,5 м. Вегетаційний період 120–130 днів. Плоди сливовидної форми, вагою 50–70 г. Стійкість до хвороб дозволяє цьому сорту плодоносити до настання осінніх заморозків. Для дослідження брали

насіння, яке зберігалось 8 років в паперових пакетах у сухому приміщенні при температурі 18–20 °С.

У наших дослідженнях використовувалися українські регулятори росту Біолан, Стимпо, Аlostим, Регоплант і Гумат калію. Ці препарати – біологічного походження (Hrinchenko et al. 2001). Досліджувався вплив Аlostиму в концентраціях 10^{-1} (надалі в тексті і на графіках буде позначатися як А-1; 10^{-3} (А-3); 10^{-4} (А-4); 10^{-5} (А-5), 10^{-6} (А-6) %, Стимпо в концентраціях 10^{-1} (С-1); 10^{-3} (С-3); 10^{-4} (С-4); 10^{-5} (С-5), 10^{-6} (С-6) %, Регопланту – 10^{-1} (Р-1); 10^{-3} (Р-3), 10^{-4} (Р-4) %, Біолану – 10^{-3} (Б-3); 10^{-4} (Б-4); 10^{-5} % (Б-5) та гумату калію ТМ «Українські гумати» – 10^{-3} (Г-3), 10^{-4} (Г-4), 10^{-5} (Г-5) %. Розчини готували методом послідовних розведень в день закладання досліду. Контролем слугувала дистильована вода.

Вплив регуляторів росту вивчали методом біотестів. Для пророщування насіння використовували чашки Петрі. На дно чашки клали предметні скельця, які накривали листком фільтрувального паперу. В кожену чашку наливали по 10 мл досліджуваного розчину, при цьому зволожувалася вся поверхня паперу, розміщеного на склі. Для створення навколо насіння необхідної вологості повітря чашка зверху накривали склом. Пророщування насіння проводилося при температурі 20–22 °С до появи перших двох несправжніх листків і 4 дні після цього. Досліди проводили у трикратній повторності. Для кожної концентрації досліджуваного розчину брали 300 насінин томату (3 чашки по 100 насінин). Як показали досліди, робота із зазначеною кількістю насіння забезпечила отримання достовірних результатів. Одержані результати опрацьовували статистично згідно методики (Ivanova, Yevstafiyeva 2018) за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення

На третю добу після закладання досліду із насінням томату сорту Де Барао жовтий нами помічено, що насіння почало проростати. Коли корінці досягали довжини 4–5 мм, на них з'явилися кореневі волоски. На четверту добу пророщування ми провели перші виміри довжини коренів (Рис. 1).

Ми виявили, що на даний момент пророщування насіння достовірним є збільшення довжини коренів у варіанті обробки Біоланом в концентрації 10^{-3} %. Середня довжина кореня збільшується на 2,8 мм, або на 29 % у порівнянні з контролем (Рис. 2).

На сьому добу пророщування виявлено, що обробка насіння томату сорту Де барао жовтий регу-

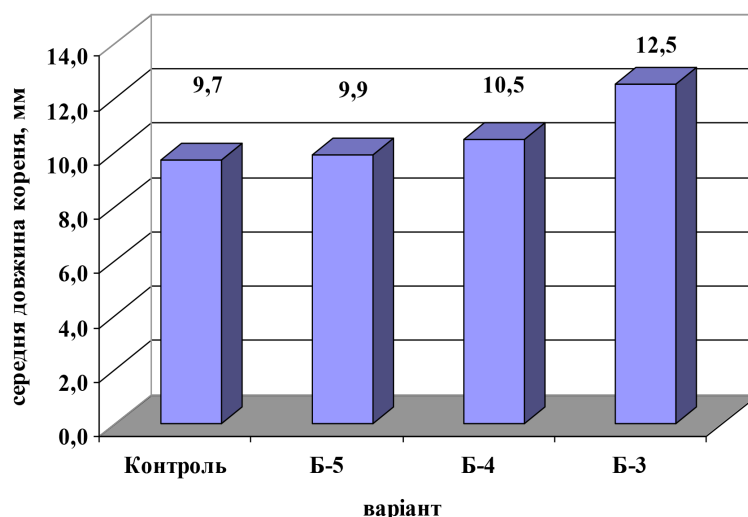


Рис. 1. Середня довжина коренів проростків томату сорту Де Барао жовтий на четверту добу пророщування під впливом обробки Біолоном, мм

Fig. 1. Average root length of *Lycopersicon esculentum* cv. De Barao Yellow seedlings on the fourth day of germination under the influence of Biolan treatment, mm

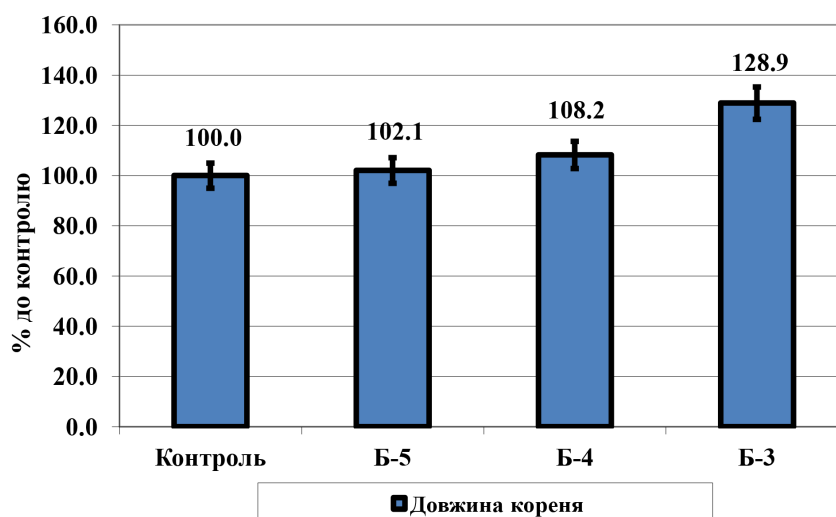


Рис. 2. Довжина коренів проростків томату сорту Де Барао жовтий на четверту добу пророщування під впливом обробки Біолоном (% до контролю)

Fig. 2. Root length of *Lycopersicon esculentum* cv. De Barao Yellow seedlings on the fourth day of germination under the influence of Biolan treatment (% relative to control)

лятором росту Біолоном істотно підвищує схожість насіння (Рис. 3). Тоді як у контрольному варіанті на сьому добу пророщування середня схожість була 76,7%, при обробці розчином біолану в концентрації 10^{-3} % схожість становила 93,3; 10^{-4} – 100 %; 10^{-5} – 98,3 %. Така низька схожість у контрольному варіанті, можливо, обумовлена тим, що насіння перед висівом 8 років зберігалось і, ймовірно, відбулося часткове виснаження запасної речовини насіння, що призвело до зниження схожості. В даному випадку, обробка регулятором росту дозволяє підвищити схожість, що є дуже важливим.

На восьму добу пророщування виявлено, що концентрації Біолану 10^{-3} ; 10^{-4} і 10^{-5} % стимулюють ріст коренів проростків томату (Рис. 4).

Найкраще діє концентрація 10^{-3} %, довжина коренів збільшується на 86 % у порівнянні з контролем. При дії Біолану в концентраціях 10^{-4} і 10^{-5} % довжина коренів збільшується на 83 % і 66 %, відповідно.

Довжина гіпокотилу (Рис. 4, 5) в усіх варіантах досліді зростає приблизно на однакову величину – на 44–49 %. Найбільша довжина гіпокотилу при обробці Біолоном в концентрації 10^{-4} %. Збільшення довжини

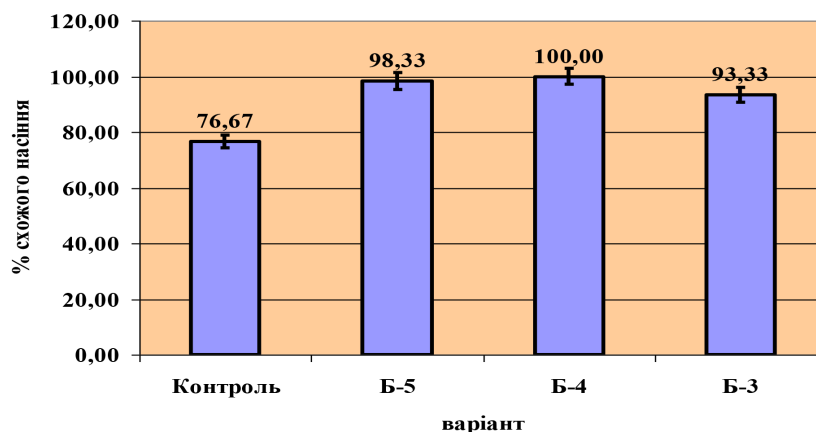


Рис. 3. Схожість насіння томату сорту Де Барао жовтий на сьому добу пророщування під впливом обробки Біоланом

Fig. 3. Germination rate of *Lycopersicon esculentum* cv. De Barao Yellow seeds on the seventh day of germination under the influence of Biolan treatment

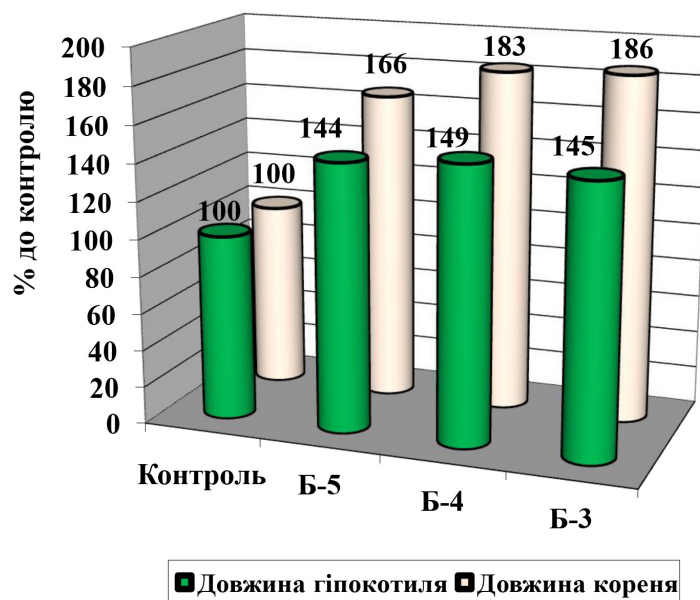


Рис. 4. Морфометричні показники проростків томату сорту Де Барао жовтий на восьму добу пророщування під впливом обробки Біоланом (% до контролю)

Fig. 4. Morphometric parameters of *Lycopersicon esculentum* cv. De Barao Yellow seedlings on the eighth day of germination under the influence of Biolan treatment (% relative to control)

гіпокотилля на ранніх етапах проростання насіння томату під впливом Біолану має позитивне явище, оскільки сприяє швидшій появі сім'ядольних листків над поверхнею ґрунту, тобто появі сходів.

При обробці Біоланом (Рис. 5) в концентрації 10^{-3} % довжина кореня збільшується на 20,7 мм в порівнянні з контролем; в концентрації 10^{-4} % – 20,2; в концентрації 10^{-5} % – 16,1 мм. Довжина гіпокотилля при обробці Біоланом в широкому діапазоні концентрацій від 10^{-5} до 10^{-3} % збільшується в середньому на 4,5–4,9 мм. Це дозволяє проводити висів насіння, обробленого Біоланом,

на глибину більшу, ніж необробленого насіння на 4–5 мм. Це має важливе значення в посушливих умовах, наприклад при безрозсадному способі вирощування томату на півдні України та у Виноградівському районі Закарпаття.

Отже, Біолан має стимулюючий вплив на ріст коренів проростків томату в широкому діапазоні концентрацій. Значне збільшення довжини корінців призводить до кращого поглинання води і поживних речовин, що обумовлює кращий розвиток надземної частини. Зокрема, у всіх варіантах обробки регулятором росту помітне значне збіль-

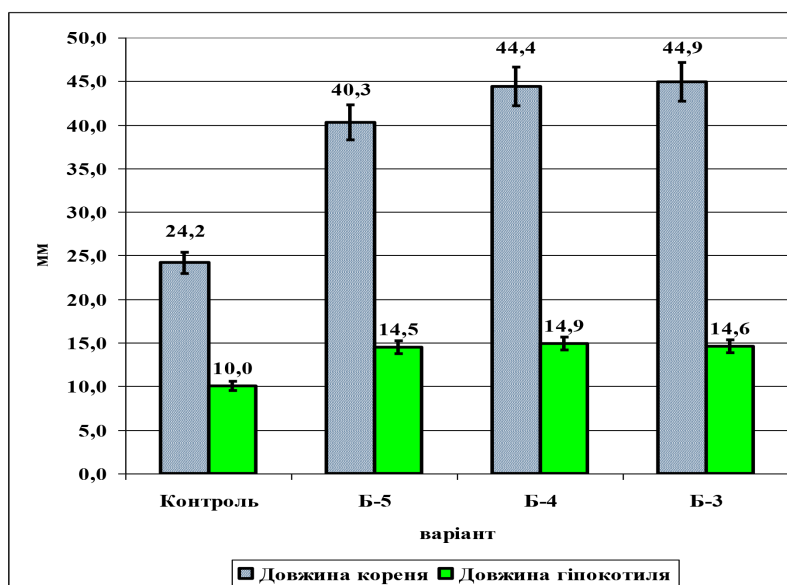


Рис. 5. Морфометричні показники проростків томату сорту Де Барао жовтий на восьму добу пророщування під впливом обробки Біоланом

Fig. 5. Morphometric parameters of *Lycopersicon esculentum* cv. De Barao Yellow seedlings on the eighth day of germination under the influence of Biolan treatment

шення довжини гіпокотиля. Збільшення довжини кореня призводить в майбутньому до підвищення посухостійкості рослин.

На 4 добу пророщування насіння томату сорту Кібіц під впливом різних концентрацій регуляторів росту Стимпо, Алостиму, Регопланту і Гумату калію виявлено, що майже всі досліджувані регулятори росту в більшості концентрацій підвищують енергію проростання насіння томату сорту Кібіц. Тоді, коли в контролі проросло в середньому 82 % насінин, у варіанті обробки Алостимом у концен-

трації 10^{-3} % – 94 % (Рис. 6). По відношенню до контролю енергія проростання при дії А-3 збільшується на 12 %; А-4, Г-4, Р-4 – 11 %; А-5, Г-3, Р-3 – 10 %. Немає підвищення енергії проростання під дією занадто високих концентрацій регуляторів росту таких як Г-1, С-1, Р-1. Тому дуже важливим є підбір оптимальних концентрацій.

Виявлено різницю між контролем і варіантами дослідів і за довжиною коренів проростків (Рис. 7, 8).

Всі регулятори росту в усіх концентраціях крім гумату в концентрації 10^{-1} % стимулюють

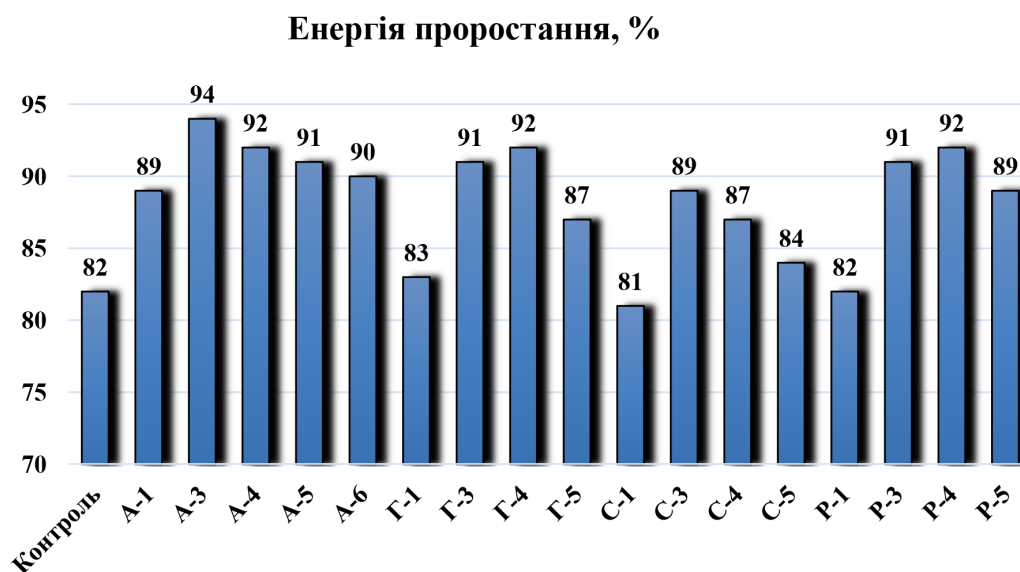


Рис. 6. Енергія проростання насіння томату сорту Кібіц під впливом регуляторів росту на 4 день, %

Fig. 6. Germination energy of *Lycopersicon esculentum* cv. Kibits seeds under the influence of growth regulators on the 4th day, %

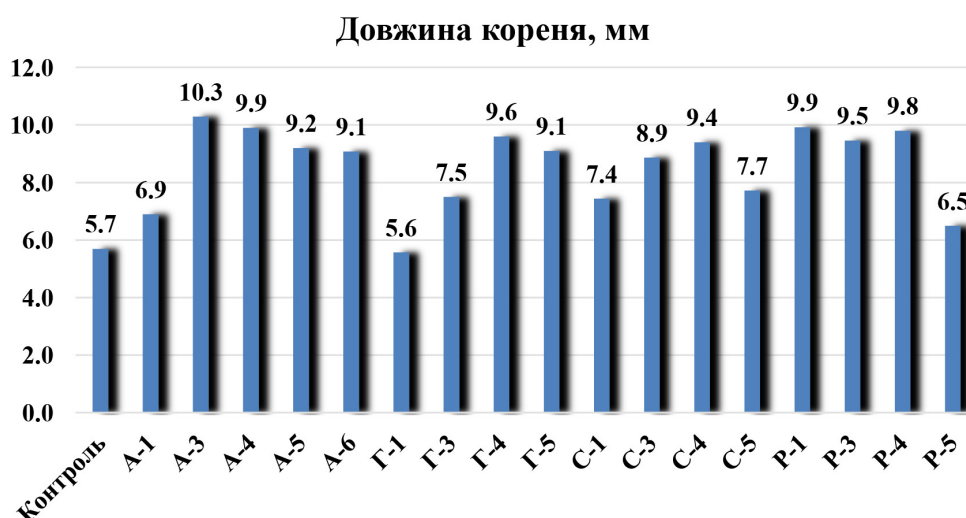


Рис. 7. Довжина кореня проростків томату сорту Кібіц під впливом регуляторів росту на 4 день, мм

Fig. 7. Root length of *Lycopersicon esculentum* cv. Kibits seedlings under the influence of growth regulators on the 4th day, mm

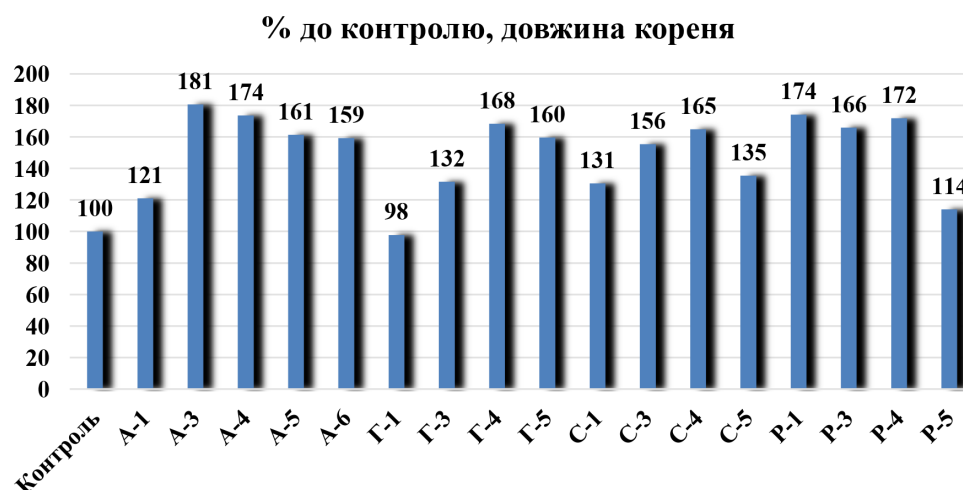


Рис. 8. Довжина кореня проростків томату сорту Кібіц під впливом регуляторів росту на 4 день, % до контролю

Fig. 8. Root length of *Lycopersicon esculentum* cv. Kibits seedlings under the influence of growth regulators on the 4th day, % relative to control

ріст коренів томату сорту Кібіц. Кращі результати були отримані при обробці Аlostимом у концентраціях 10^{-3} % і 10^{-4} % та Регоплантом у концентраціях 10^{-1} % і 10^{-4} %. Істотне збільшення довжини корінців проростків, під впливом регуляторів росту дозволяє їм ефективніше поглинати із ґрунту воду і розчинені в ній поживні речовини. Коренева система таких проростків швидше проникає у глибокі шари ґрунту, що підвищує стійкість рослин до посухи. Це особливо важливо в умовах поступової аридизації клімату України.

Висновки

Результати дослідження підтверджують ефективність біостимуляторів росту у підвищенні

енергії проростання та стимулюванні росту кореневої системи проростків томатів. Встановлено, що обробка насіння томату сорту Де Барао жовтий регулятором росту Біолоном у концентрації 10^{-3} % сприяє збільшенню довжини коренів на 29 % на четверту добу пророщування порівняно з контролем, а на восьму добу – на 86 %. Аналогічно, довжина гіпокотилія зростала в межах 44–49 %, що сприяло швидшій появі сім'ядольних листків над поверхнею ґрунту та загальному покращенню схожості насіння.

На 4 добу пророщування насіння томату сорту Кібіц під впливом різних концентрацій регуляторів росту Стимпо, Аlostиму, Регопланту і Гумату калію виявлено, що майже всі досліджувані регуля-

тори росту в більшості концентрацій підвищують енергію проростання насіння томату сорту Кібіц. Тоді, коли в контролі проросло в середньому 82 % насінин, у варіанті обробки Аlostимом у концентрації 10^{-3} %–94 %. По відношенню до контролю енергія проростання при дії Аlostиму в концентрації 10^{-3} % збільшується на 12 %; Аlostимом, Українськими гуматами і Регоплантом у концентрації 10^{-4} %–11 %; Аlostимом у концентрації 10^{-5} %, Українськими гуматами і Регоплантом у концентрації 10^{-3} % – на 10 % більше, ніж у контролі. Немає підвищення енергії проростання під дією занадто високих концентрацій регуляторів росту таких як Стимпо, Регоплант і Гумату калію у концентрації 0,1 %. Тому дуже важливим є підбір оптимальних концентрацій.

Усі досліджувані регулятори, за винятком Гумату калію у концентрації 10^{-1} %, сприяли активному росту коренів. Найбільше подовження кореневої системи спостерігалось у варіантах обробки Аlostимом (10^{-3} % і 10^{-4} %) та Регоплантом (10^{-1} % і 10^{-4} %).

Отримані результати свідчать про важливість вибору оптимальних концентрацій біостимуляторів для підвищення адаптивного потенціалу рослин. Збільшення довжини кореневої системи забезпечує покращене поглинання води та поживних речовин, що є критично важливим фактором у посушливих умовах. Глибше проникнення коренів у ґрунт сприяє підвищенню стійкості рослин до посухи, що особливо актуально в умовах кліматичних змін та поступової аридизації території України.

- ABD-ELSALAM, K. A., MOHAMED, H. I. (Eds.). (2024) *Plant Growth Regulators to Manage Biotic and Abiotic Stress in Agroecosystems*. CRC Press. DOI: 10.1201/9781003389507
- CAO, Z., DUAN, X., YAO, P., CUI, W., CHENG, D., ZHANG, J., JIN, Q., CHEN, J., DAI, T., SHEN, W. (2017) Hydrogen gas is involved in auxin-induced lateral root formation by modulating nitric oxide synthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2084. DOI: 10.3390/ijms18102084
- EL-GAIED, L. F., ABUEL-HEBA, G. A., EL-SHERIF, N. A. (2013) Effect of growth hormones on some antioxidant parameters and gene expression in tomato. *GM Crops & Food*, 4 (1), 67–73. DOI: 10.4161/gmcr.24324
- FAHAD, S., SONMEZ, O., SAUD, S., WANG, D., WU, C., ADNAN, M., TURAN, V. (Eds.). (2021) *Plant Growth Regulators for Climate-Smart Agriculture*. CRC Press. DOI: 10.1201/9781003109013
- GOMASTA, J., UDDIN, A. S. M. M., KAYESH, E., ISLAM, M., HAQUE, M. A., ALAM, A., ISLAM, T. M. (2024) Dataset describing the influence of preharvest gibberellic acid application on fruiting behavior, yield and fruit biochemical properties of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). *Data Brief*, 55, 110684. DOI: 10.1016/j.dib.2024.110684
- GUO, J., DAI, X., XU, W., MA, M. (2008) Overexpressing GSH1 and AsPCS1 simultaneously increases the tolerance and accumulation of cadmium and arsenic in *Arabidopsis thaliana*. *Chemosphere*, 72(7), 1020–1026. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.04.018
- HRINCHENKO, A. L., MUSATOVA, L. O., CHUTA, M. I. (2001) *Zastosuvannia rehuliatoriv rostu novoho pokolinnia. Tekhnolohiia vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur*. Porohy, Dnipropetrovsk, pp. 26–36. (in Ukrainian).
- IRFAN, M., KUMAR, P., KUMAR, V., DATTA, A. (2022) Fruit ripening specific expression of β -D-N-acetylhexosaminidase (β -Hex) gene in tomato is transcriptionally regulated by ethylene response factor SIERF.E4. *Plant Science*, 323, 111380. DOI: 10.1016/j.plantsci.2022.111380
- IVANOVA, I. Ye., YEVSTAFIYEVA, K. S. (2018) Konspekt lektsii z dysypliny “Osnovy naukovykh doslidzhen” dlia zdobuvachiv osvithnoho rivnia “Bakalavr” zi spetsialnosti 201 “Ahronomiia”. TDATU, Melitopol. (in Ukrainian)
- KOLBERT, Z., BARROSO, J. B., BROUQUISSE, R., CORPAS, F. J., GUPTA, K. J., LINDERMAYR, C., LOAKE, G. J., PALMA, J. M., PETŘIVÁLSKÝ, M., WENDEHENNE, D., HANCOCK, J. T. (2019) A forty year journey: The generation and roles of NO in plants. *Nitric Oxide*, 93, 53–70. DOI: 10.1016/j.niox.2019.09.006
- MARGITAI, L. H., SADOVSKA, N. P., HLIUDZYK, M. U. (2010) Vplyv pryrodnykh rehuliatoriv rostu roslyn na rist i rozvytok prorostkiv pomidora sortu Nasko-2000. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*, 28, 94–96. (in Ukrainian).
- SIDDIQUI, M. H., ALAMRI, S., ALSUBAIE, Q. D., ALI, H. M., KHAN, M. N., AL-GHAMDI, A., IBRAHIM, A. A., ALSADON, A. (2020) Exogenous nitric oxide alleviates sulfur deficiency-induced oxidative damage in tomato seedlings. *Nitric Oxide*, 94, 95–107. DOI: 10.1016/j.niox.2019.11.002
- SINGH, H., BHAT, J. A., SINGH, V. P., CORPAS, F. J., YADAV, S. R. (2021) Auxin metabolic network regulates the plant response to metalloids stress. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124250. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124250
- SINGH, P., JAISWAL, S., TRIPATHI, D. K., SINGH, V. P. (2024) Nitric oxide acts upstream of indole-3-acetic acid in ameliorating arsenate stress in tomato seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 208, 108461. DOI: 10.1016/j.plaphy.2024.108461
- UDDIN, A. S. M. M., GOMASTA, J., ISLAM, T. M., ISLAM, M., KAYESH, E., KARIM, M. R. (2024) Gibberellic acid spray modulates fruiting, yield, quality, and shelf life of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). *Journal of Horticultural Research*, 32(1), 51–66. DOI: 10.2478/johr-2024-0004