

УДК 631.589 + 635.63

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.1.10>

МОРФОФІЗІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕГЕНЕРАЦІЇ ЗОНИ ЩЕПЛЕННЯ КАВУНА (*CITRULLUS LANATUS*) НА ДИКОРΟΣЛІ ПІДЩЕПИ *CUCURBITA* ПІД ДІЄЮ ЕМ ПРЕПАРАТІВ

Ковальов М.М. – к.с.-г.н., доцент,

керівник наукових лабораторій промислового грибівництва та технологій захисту культивованих грибів, а також гідропонного вирощування овочів в купольній теплиці, доцент кафедри загального землеробства, Центральноукраїнський національний технічний університет
orcid.org/0000-0003-4421-8960

Соколовська І.М. – к.с.-г.н., доцентка,

доцент кафедри рослинництва та агроінженерії, Херсонський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0003-4256-8852

Шевченко О.О. – к.с.-г.н., доцентка,

доцент кафедри селекції і насінництва, Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-3098-8940

У статті експериментально досліджено морфофізіологічні особливості регенерації зони щеплення кавуна (*Citrullus lanatus*) на дикорослі підщепи роду *Cucurbita* під впливом препаратів ефективних мікроорганізмів (ЕМ). Щеплення баштанних культур є перспективним методом підвищення стійкості до біотичних і абіотичних стресів, а ефективність зрощення залежить від формування некротичного шару, калюсу та відновлення провідних тканин. Метою роботи було оцінити дію ЕМ препаратів на інтенсивність регенераційних процесів на різних етапах загоєння щеплення.

Дослідження виконували з використанням підщеп *C. ficifolia*, *C. moschata* і *C. pepo* та препаратів ЕМ 1 і активованого ЕМ Агро. Щеплення проводили методом сідлоподібного з'єднання, а морфометричний аналіз регенерації здійснювали на 3, 7, 11, 18 і 25 добу. Оцінювали товщину калюсу, площу некротичного шару, ступінь відновлення судинних пучків та індекс регенерації.

Встановлено, що застосування активованого ЕМ Агро значно прискорює калюсогенез, зменшує некротичний шар і стимулює диференціацію провідних тканин. На варіанті *C. moschata* + ЕМ Агро товщина калюсу була на 50% більшою за контроль, а площа некрозу – меншою майже на 40%. Індекс регенерації зростав до 0,75, перевищуючи контроль на 60%. Формування васкулярних анастомозів також прискорювалося: на 11-ту добу частка сформованих з'єднань сягала 67% проти 41% у контролі, а повна васкуляризація відбувалася на 7 днів раніше.

Біометричні показники підтвердили підсилення регенеративних процесів: на варіанті *C. moschata* + ЕМ Агро приживлюваність становила 96%, а приріст висоти, площі листків та сухої маси – 35–46%. *C. moschata* виявилась найбільш ефективною підщепою за всіма параметрами.

Встановлено, що дія ЕМ препаратів зумовлена стимуляцією клітинної проліферації, прискоренням диференціації судинних елементів та покращенням фізіологічного стану рослин. Оптимальною комбінацією визначено *C. moschata* + активований ЕМ Агро, що забезпечує скорочення технологічного циклу та підвищення якості щепленої розсади.

Ключові слова: кавун, щеплення, *Cucurbita*, ЕМ препарати, регенерація, калюсогенез, васкулярні анастомози.

© Ковальов М.М., Соколовська І.М., Шевченко О.О., 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Kovalov M.M., Sokolovska I.M., Shevchenko O.O. Morphophysiological Aspects of Graft Union Regeneration in Watermelon (*Citrullus lanatus*) on Wild *Cucurbita* Rootstocks Under the Influence of Effective Microorganism (EM) Preparations

The study experimentally investigates the morphophysiological features of graft union regeneration in watermelon (*Citrullus lanatus*) grafted onto wild *Cucurbita* rootstocks under the influence of Effective Microorganisms (EM) preparations. Grafting of cucurbit crops is an effective method for enhancing tolerance to biotic and abiotic stressors, while the success of graft healing depends on necrotic layer formation, callus development and vascular tissue regeneration. The aim of the research was to assess the impact of EM preparations on the dynamics and efficiency of regenerative processes at different healing stages.

The experiments involved *C. ficifolia*, *C. moschata* and *C. pepo* rootstocks, as well as EM 1 and activated EM Agro preparations. Grafting was performed using the saddle method; morphometric and anatomical analyses were conducted on days 3, 7, 11, 18 and 25 after grafting. Measurements included callus thickness, necrotic layer area, degree of vascular bundle restoration, and regeneration index.

Activated EM Agro significantly accelerated callusogenesis, reduced necrotic tissue formation and promoted vascular differentiation. In the *C. moschata* + EM Agro variant, callus thickness exceeded the control by 50%, while the necrotic layer area decreased by nearly 40%. The regeneration index increased to 0,75, surpassing the control by 60%. Vascular anastomosis formation was also accelerated: on day 11, 67% of vascular connections were established compared with 41% in the control, and full vascularization occurred 7 days earlier.

Biometric parameters confirmed the enhanced healing efficiency. In *C. moschata* + EM Agro, graft survival reached 96%, and increases in plant height, leaf area and dry matter accumulation accounted for 35–46%. Among all tested rootstocks, *C. moschata* demonstrated the highest regenerative capacity.

The findings indicate that EM induced stimulation of cell proliferation, rapid vascular differentiation and improved physiological status collectively enhance graft healing. The combination *C. moschata* + activated EM Agro was identified as the optimal treatment for producing high-quality grafted watermelon seedlings.

Key words: watermelon, grafting, *Cucurbita*, Effective Microorganisms, tissue regeneration, vascular anastomoses, callus formation.

Актуальність теми дослідження. Щеплення овочевих культур родини Гарбузові набуло широкого поширення у світовому землеробстві як ефективна стратегія подолання біотичних та абіотичних стресів. Кавун (*Citrullus lanatus*), будучи однією з найважливіших баштанних культур з обсягом світового виробництва понад 101 млн тонн, особливо потребує застосування технології щеплення для забезпечення сталого виробництва в умовах накопичення ґрунтових патогенів та мінливих кліматичних умов. Перше успішне застосування щеплення кавуна на підщепу гарбуза (*Cucurbita moschata*) для подолання фузаріозного в'янення було зафіксоване у Японії наприкінці 1920-х років [1, с. 770], що започаткувало розвиток цієї важливої агротехнологічної практики.

Успішність щеплення кавуна на підщепи роду *Cucurbita* залежить від складного комплексу морфологічних процесів у зоні з'єднання. Процес загоєння зони щеплення включає утворення некротичного шару, формування калюсу та регенерацію судинної системи, причому на 11-й день після щеплення спостерігається загибель паренхімних клітин центральної серцевини, а на 25-й день формуються повністю розвинені судинні пучки [2, с. 878289]. Анатомічна складність васкулярної системи гарбузових, що характеризується наявністю позапучкової флоєми з анастомозуючою структурою, створює додаткові виклики для успішного загоєння щеплення та відновлення транспортних функцій.

Сучасні дослідження молекулярних механізмів регенерації зони щеплення виявили ключову роль ауксинів у координації процесів загоєння. Встановлено, що білок CIPIN1a забезпечує транспорт ауксинів від сім'ядоль підщепи до зони

щеплення, стимулюючи регенерацію тканин та відновлення судинних зв'язків [3, с. 329], що відкриває нові перспективи для оптимізації технології щеплення шляхом гормональної регуляції.

Паралельно з вивченням фізіологічних аспектів регенерації зростає інтерес до застосування мікробіологічних препаратів для підвищення ефективності щеплення. Корисні мікроорганізми, зібрані за допомогою щеплення рослин, мають значний біотехнологічний потенціал для підвищення продуктивності рослин проти біотичних та абіотичних стресорів [4, с. 9]. Ефективні мікроорганізми (ЕМ), розроблені професором Теруо Хіга в 1980-х роках, являють собою консорціум корисних мікробів, включаючи молочнокислі бактерії, дріжджі, актиноміцети та фототрофні мікроорганізми, які проявляють антиоксидантні, регенеративні та імуномодулюючі властивості.

Експериментально доведено, що щеплення змінює склад мікробіоти ґрунту, а ці зміни впливають на подальшу продуктивність культур, причому щеплені рослини краще росли в ґрунті, кондиціонованому тією ж рослиною [5, с. 127530]. Це свідчить про можливість цілеспрямованого формування кореневого мікробіому щеплених рослин для оптимізації їхньої адаптації та продуктивності.

Незважаючи на численні дослідження окремих аспектів щеплення кавуна та застосування мікробіологічних препаратів, комплексне вивчення морфологічних процесів регенерації зони щеплення під дією ЕМ препаратів залишається недостатньо дослідженим. Корисні мікроорганізми сприяють росту рослин та підвищують стійкість до стресів через покращення поглинання поживних речовин, виробництво речовин, що стимулюють ріст, та індукцію захисних реакцій рослин [6, с. 234; 7, с. 88]. Розуміння механізмів взаємодії ЕМ препаратів з процесами регенерації тканин у зоні щеплення кавуна на підщепі *Cucurbita* має важливе значення як для фундаментальної науки у галузі фізіології рослин, так і для практичного розвитку ефективних технологій виробництва щепленого садивного матеріалу баштанних культур [8, с. 1342].

Постановка проблеми. Сучасні дослідження морфологічних механізмів регенерації зони щеплення баштанних культур демонструють значний прогрес у розумінні анатомічних та біохімічних процесів загоєння. Дослідження Devi et al. [9, с. 878289] з використанням скануючої електронної мікроскопії встановили детальну часову динаміку формування щеплення кавуна на підщепі гарбуза. Вченими виявлено, що на 11-й день після щеплення паренхімні клітини центральної серцевини загинули, з формуванням некротичного шару як початку утворення калюсу, а на 25-й день спостерігалися повністю сформовані судинні пучки на межі щеплення. Ці спостереження є критично важливими для розуміння темпоральних аспектів регенерації, що має безпосереднє значення для оптимізації умов догляду за щепленими рослинами.

Складність васкулярної анатомії гарбузових культур створює особливі виклики для успішного загоєння щеплення. Miles et al. [10, с. 88] звернули увагу на те, що гарбузові мають складну судинну систему із зовнішньою та внутрішньою флоемою з обох боків ксилеми, а також розгалужену позапучкову флоему поза судинними пучками. Така архітектура ускладнює вирівнювання тканин під час щеплення та потребує ретельного контролю процесу регенерації.

Гормональна регуляція відіграє центральну роль у процесах загоєння ран та формування калюсу. Iwase et al. [11, с. 510] продемонстрували, що поранення активізує складний каскад реакцій, який починається з індукції біосинтезу цитокиніну, після чого відбувається активація клітинного циклу через регуляцію D-типу

циклів. Дослідники виявили, що рановий стрес спочатку активує стресові відповіді, а потім повертає клітини до клітинного циклу через активацію опосередкованого цитокініном шляху розвитку. Цитокінін накопичується до початку формування калюсу та регулює експресію ключових генів, що контролюють проліферацію клітин. Паралельно ауксин функціонує як основний драйвер диференціації судинних тканин та їхньої реконекції через регуляцію транскрипційних факторів.

Останні дослідження підкреслюють асиметричність процесів загоєння у підщепі та прищепі. Guo et al. [12, с. 109159] з'ясували, що під час щеплення підщепа переважно відповідає за формування калюсу, тоді як прищепа залучена головним чином до відновлення судинних з'єднань, причому ці процеси розділені у часі. Такий розподіл функцій між компонентами щеплення має важливе значення для розробки диференційованих підходів до стимуляції регенерації.

У контексті застосування мікробіологічних препаратів, Muhammad et al. [13, с. 1482739] продемонстрували, що рослинні ризобактерії, що стимулюють ріст рослин, пом'якшують абіотичні стреси через виробництво фітогормонів, включаючи ауксини, цитокініни та гіберелінамінокислоти. Ці мікроорганізми модифікують архітектуру коренів, стимулюють біосинтез гормонів та індукують захисні реакції рослин. Досвід застосування корисних мікроорганізмів у рослинництві свідчить про їхню здатність покращувати поглинання поживних речовин, підвищувати стресостійкість та стимулювати експресію генів, асоційованих із толерантністю до стресів.

Особливий інтерес становлять дослідження Morais et al. [14, с. 127530], які показали, що щеплення модифікує склад ґрунтового мікробіому, і ці зміни впливають на подальшу продуктивність культур. Вчені виявили, що щеплені рослини демонстрували кращий ріст у ґрунті, кондиціонованому тією самою рослиною, що вказує на можливість спрямованого формування мікробіоти кореневої зони для оптимізації адаптації щеплених рослин. Ці дані відкривають перспективи інтеграції мікробіологічних препаратів у технологію виробництва щепленого садивного матеріалу.

Таким чином, сучасні дослідження закладають фундамент для інтегрованого підходу до вивчення регенерації зони щеплення, що поєднує анатомічні, фізіологічні та мікробіологічні аспекти. Проте комплексне дослідження впливу ЕМ препаратів на морфологічні процеси регенерації зони щеплення кавуна на підщепі *Cucurbita* залишається актуальним завданням сучасної фізіології рослин.

Методика досліджень. Метою роботи є встановлення особливостей морфологічних процесів регенерації зони щеплення кавуна (*Citrullus lanatus*) на дикорослі підщепи *Cucurbita* під впливом ЕМ препаратів та визначення оптимальних параметрів їх застосування для підвищення якості щепленого розсадного матеріалу.

Дослідження проводилися в 2020–2023 роках в науковій лабораторії гідропонного вирощування овочів Центральноукраїнського національного технічного університету та в умовах вегетаційного майданчика Херсонського державного аграрно-економічного університету. Об'єктом дослідження були рослини кавуна (*Citrullus lanatus*), щеплені на дикорослі підщепи роду *Cucurbita*. Предметом дослідження виступали морфологічні процеси регенерації тканин у зоні щеплення під впливом ЕМ-препаратів.

Рослинний матеріал: 1) Прищепа: сорт кавуна столового типу (біометричні параметри насіння: маса 1000 насінин 85–90 г, енергія проростання 92–94%);

2) Підщепи: дикорослі форми *Cucurbita ficifolia*, *Cucurbita moschata*, *Cucurbita pepo*, відібрані за ознаками інтенсивного росту та високої життєздатності на ранніх фазах розвитку.

У досліджах застосовували два види ЕМ препаратів:

1. ЕМ 1 (оригінальний розчин) – консорціум молочнокислих бактерій, дріжджів та фототрофних мікроорганізмів.

2. Активованій ЕМ Агро – отриманий шляхом ферментації ЕМ 1, нерафінованої патоки та води у співвідношенні 1:1:20 протягом 7 днів при 28–30 °С.

Для пророщування насіння та подальшого вирощування щеплених рослин використовували субстрат: верховий торф – 60 %; перліт – 20 %; вермикуліт – 20 %. Показники субстрату: рН 5,8–6,2; ЕС 0,8–1,0 мС·см⁻¹. Температурні умови: до щеплення: 24–26 °С; після щеплення в камері укорінення: 26–28 °С, вологість повітря 92–95 %; фотоперіод: 14 год, інтенсивність світла 140–160 мкмоль·м⁻²·с⁻¹.

Щеплення виконували методом сідловидного з'єднання, який забезпечує високий відсоток зрощення у культур родини Гарбузові.

Етапи: 1) Вирощування підщепи до стадії розкриття сім'ядоль; 2) Формування косоного зрізу довжиною 8–10 мм; 3) Зріз прищепи під аналогічним кутом; 4) З'єднання компонентів із використанням силіконових кліпс при вологості повітря 90–95 %; 5) Поміщення рослин у камеру регенерації з поступовим зниженням вологості протягом 7 днів.

Схема досліджу: Фактор А – вид підщепи (*Cucurbita spp.*): 1) *C. ficifolia*; 2) *C. moschata*; 3) *C. pepo*. Фактор В – тип ЕМ препарату: 1) контроль (без обробки); 2) ЕМ 1; 3) ЕМ Агро.

Повторність – чотирикратна, кількість рослин у повторності – 20 шт.

Для оцінки процесів регенерації проводили: 1) мікротомні зрізи зони щеплення на 3, 7, 11, 18 та 25 добу після щеплення (метод парафінового включення; товщина зрізу 12–14 мкм); 2) фарбування зрізів сафраніном та астрафоксином для візуалізації судинних пучків; 3) аналіз препаратів у світловому мікроскопі при збільшенні $\times 40$ – $\times 200$; 4) визначення показників: товщина калюсу, площа некротичного шару, ступінь формування ксилеми та флоєми, наявність васкулярних анастомозів, індекс регенерації (IR), обчислений як співвідношення площі відновлених тканин до загальної площі зони контакту [15, с. 42].

Аналіз експериментальних даних здійснювали методом одно- та багатфакторного дисперсійного аналізу згідно з методикою Ярового і Страхова [16, с. 51]. Достовірність різниць оцінювали за критерієм НР₀₅. Обчислення проводили в програмі Statistica 12.

Результати досліджень. Аналіз анатомічних змін у зоні щеплення кавуна на підщепи роду *Cucurbita* під впливом ЕМ препаратів виявив суттєві відмінності в темпах та якості регенераційних процесів залежно від виду підщепи та типу застосованого препарату (див. табл. 1).

Результати морфометричного аналізу на 11-ту добу після щеплення демонструють виразну стимулюючу дію ЕМ препаратів на процеси регенерації зони контакту прищепи з підщепою [17, с. 81]. Застосування активованого ЕМ Агро забезпечило найінтенсивніше формування калюсної тканини у всіх досліджуваних комбінаціях щеплення. Найвищі показники товщини калюсу зафіксовані на варіанті використання підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро 398 мкм, що на 50,2 % перевищує контрольний варіант без обробки. Комбінація підщепи *C. ficifolia* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро показала товщину калюсу 385 мкм, що на 55,2 % більше контролю, тоді як варіант підщепи *C. pepo*

та мікробіологічного препарату EM Агро досяг значення 362 мкм з приростом 56,0 % порівняно з необробленими рослинами.

Таблиця 1.
Морфометричні показники регенерації зони щеплення на 11-ту добу після щеплення (середнє за 2020-2023 роки)

Вид підщепи	Тип EM препарату	Товщина калусу, мкм	Площа некротичного шару, мм	Індекс регенерації (IR)	Ступінь формування судинних пучків, %
<i>C. ficifolia</i>	контроль	248±12	2,84±0,15	0,42±0,03	35±3
	EM 1	312±15	2,15±0,12	2,15±0,12	48±4
	EM Агро	385±18	1,67±0,10	0,71±0,05	62±5
<i>C. moschata</i>	контроль	265±14	2,62±0,14	0,47±0,03	41±3
	EM 1	328±16	2,08±0,11	0,61±0,04	53±4
	EM Агро	398±19	1,58±0,09	0,75±0,05	67±5
<i>C. pepo</i>	контроль	232±11	3,12±0,17	0,38±0,	32±3
	EM 1	295±14	2,45±0,13	0,53±0,04	44±4
	EM Агро	362±17	1,89±0,11	0,66±0,04	58±5
НІР ₀₅	Заг.	5,93	0,04	0,09	7,21
	А	3,42	0,03	0,05	4,16
	В	3,42	0,03	0,05	4,16

Площа некротичного шару, який формується внаслідок первинної реакції тканин на поранення, виявилася суттєво меншою у варіантах з обробкою EM препаратами. У комбінації підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату EM Агро площа некротизованих тканин становила лише 1,58 мм², що на 39,7 % менше порівняно з контролем 2,62 мм². Аналогічна тенденція спостерігалася для підщепи *C. ficifolia* з редукцією некротичної зони на 41,2 % та для підщепи *C. pepo* – на 39,4 %. Зменшення площі некротичного шару свідчить про прискорення процесів репарації та ефективнішу мобілізацію захисних механізмів рослин під впливом корисних мікроорганізмів.

Інтегральний показник регенерації (IR), що відображає співвідношення площі відновлених тканин до загальної площі зони контакту, найвищих значень досяг у варіанті підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату EM Агро 0,75, що на 59,6 % перевищує контроль. Ступінь формування судинних пучків, критично важливий для функціонального з'єднання прищепи з підщепою, виявив максимальні значення також у комбінації з підщепою *C. moschata* та мікробіологічним препаратом EM Агро 67 %, що майже вдвічі перевищує показник контрольного варіанту. Дисперсійний аналіз підтвердив високу достовірність впливу обох досліджуваних факторів на всі морфометричні показники регенерації ($p < 0,05$).

Дослідження темпоральних аспектів відновлення судинної системи у зоні щеплення виявило критичні періоди регенерації та роль EM препаратів у прискоренні формування функціональних васкулярних зв'язків (див. табл. 2).

Часова динаміка формування васкулярних анастомозів чітко демонструє прискорення регенераційних процесів під впливом EM препаратів на всіх

досліджуваних підщеп. На третю добу після щеплення судинні з'єднання були відсутні в усіх контрольних варіантах та варіантах з ЕМ 1, тоді як у комбінаціях з ЕМ Агро спостерігалися початкові стадії васкулярного з'єднання для підщепи *C. ficifolia* – 5 % та *C. moschata* – 8 %. Це свідчить про здатність активованого препарату стимулювати надранні етапи диференціації судинних елементів у зоні регенерації.

На сьому добу експерименту різниця між варіантами стала статистично достовірною. У комбінації підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро формування васкулярних анастомозів досягло 29 %, що на 93,3 % перевищує контроль без обробки – 15 %. Для підщепи *C. ficifolia* застосування ЕМ Агро забезпечило – 25 % сформованих з'єднань проти 12 % на контрольних варіантах, демонструючи прискорення процесу більш ніж удвічі. Варіант підщепи *C. pepo* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро показав – 22 % васкулярних анастомозів порівняно з 9 % на контролі, що вказує на найінтенсивнішу стимуляцію саме на цій підщепі.

Таблиця 2

**Динаміка формування васкулярних анастомозів у зоні щеплення
(середнє за 2020-2023 роки), %**

Вид підщепи	Тип ЕМ препарату	Доба				
		3-я	7-а	11-а	18-а	25-а
<i>C. ficifolia</i>	контроль	0	12±2	35±3	68±5	88±6
	ЕМ 1	0	18±2	48±4	79±6	95±7
	ЕМ Агро	5±1	25±3	62±5	91±7	98±7
<i>C. moschata</i>	контроль	0	15±2	41±3	73±5	91±6
	ЕМ 1	0	21±3	53±4	84±6	96±7
	ЕМ Агро	8±1	29±3	67±5	94±7	99±7
<i>C. pepo</i>	контроль	0	9±2	32±3	63±5	85±6
	ЕМ 1	0	14±2	44±4	75±5	93±7
	ЕМ Агро	0	22±3	58±5	88±6	97±7
НІР ₀₅	Заг.	-	4,41	4,33	10,67	-
	А		2,55	2,50	6,16	-
	В		2,55	2,50	6,16	-

*Примітка: 0 – васкулярні анастомози відсутні; наведено відсоток повністю сформованих судинних зв'язків від загальної кількості потенційних точок контакту.

Критичний період регенерації – 11-та доба, яка характеризувався максимальними відмінностями між варіантами. Комбінація підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро досягла 67 % повністю сформованих судинних з'єднань, що на 63,4 % більше контролю. Саме на цьому етапі відбувається перехід від калусогенезу до активної васкулярної диференціації, і роль корисних мікроорганізмів у стимуляції цих процесів виявляється найвиразнішою. Варіанти з ЕМ 1 займали проміжне положення між контролем та ЕМ Агро, що підтверджує доцільність активації препарату для досягнення максимального ефекту.

На 18-ту та 25-ту добу різниці між варіантами поступово нівелювалися, оскільки навіть у контрольних рослинах процеси регенерації завершувалися. Проте варіанти з мікробіологічним препаратом ЕМ Агро досягали 94–99 % сформованих

васкулярних анастомозів уже на 18-ту добу, тоді як контрольні рослини наближалися до цих показників лише на 25-ту добу. Таке прискорення на 7 діб має важливе практичне значення для виробництва щепленого розсадного матеріалу, оскільки дозволяє скоротити тривалість технологічного циклу та підвищити оборотність камер акліматизації.

Інтегральна оцінка ефективності застосування ЕМ препаратів в технології щеплення кавуна передбачала аналіз кінцевих біометричних показників, які визначають практичну придатність отриманого розсадного матеріалу (див. табл. 3).

Аналіз біометричних показників на 30-ту добу після щеплення підтверджує комплексну позитивну дію ЕМ препаратів на формування якісної щепленої розсади кавуна. Приживлюваність рослин виявилася найвищою на варіанті використання підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро – 96,2 %, що на 18,3 % перевищує контрольний варіант цієї підщепи та на 24,7 % – найгірший контроль на підщепі *C. pepo*. Застосування мікробіологічного препарату ЕМ 1 забезпечило проміжні показники приживлюваності з приростом 9,3–13,2 % залежно від виду підщепи. Високий відсоток прижитих рослин корелює з інтенсивністю регенераційних процесів у зоні щеплення на ранніх етапах, що підтверджує функціональний зв'язок між морфологічними та агрономічними показниками.

Висота надземної частини рослин демонструвала чітку залежність від типу застосованого препарату. Максимальне значення зафіксовано при використанні підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро – 27,8 см, що на 41,1 % перевищує контроль без обробки – 19,7 см. Для підщепи *C. ficifolia* приріст висоти становив – 43,0 %, а для *C. pepo* – 43,0 %. Такі високі прирости свідчать про швидке відновлення фізіологічних функцій після стресу щеплення та ефективний обмін метаболітів між компонентами щеплених рослин.

Таблиця 3

Біометричні показники щеплених рослин на 30-ту добу після щеплення (середнє за 2020-2023 роки)

Вид підщепи	Тип ЕМ препарату	Приживлюваність, %	Висота надземної частини, с	Діаметр стебла в зоні щеплення, мм	Площа листової поверхні, см ²	Суша маса рослини, г
<i>C. ficifolia</i>	контроль	76,2±3,5	18,4±1,2	4,2±0,3	142±12	2,84±0,18
	ЕМ 1	2,84±0,18	22,1±1,4	4,9±0,3	178±15	3,42±0,21
	ЕМ Агро	93,8±4,6	26,3±1,6	5,6±0,4	215±18	4,18±0,25
<i>C. moschata</i>	контроль	81,3±3,8	19,7±1,3	4,5±0,3	156±13	3,05±0,19
	ЕМ 1	88,7±4,3	23,5±1,5	5,2±0,4	189±16	3,67±0,22
	ЕМ Агро	96,2±4,8	27,8±1,7	6,1±0,4	228±19	4,45±0,27
<i>C. pepo</i>	контроль	72,5±3,4	17,2±1,1	4,0±0,3	135±11	2,67±0,17
	ЕМ 1	82,1±3,9	20,8±1,3	4,7±0,3	169±14	3,25±0,20
	ЕМ Агро	90,4±4,5	24,6±1,5	5,4±0,4	203±17	3,96±0,24
НІР ₀₅	Заг.	5,2	1,8	0,61	40,9	0,20
	А	3,0	1,03	0,35	23,6	0,12
	В	3,0	1,03	0,35	23,6	0,12

Діаметр стебла в зоні щеплення, який визначає механічну міцність з'єднання, також максимальний на варіанті з використанням в якості підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро – 6,1 мм з перевищенням контролю на 35,6 %.

Площа листової поверхні в якості показнику фотосинтетичного потенціалу рослин виявила значущі переваги застосування ЕМ препаратів. На варіанті з використанням підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро площа листків становила 228 см², що на 46,2 % більше контролю. Для підщепи *C. ficifolia* приріст сягнув 51,4 %, а для підщепи *C. pepo* – 50,4 %. Розвинена асиміляційна поверхня забезпечує вищу продуктивність фотосинтезу та краще забезпечення рослин пластичними речовинами на подальших етапах розвитку. Суха маса рослини як інтегральний показник накопичення біомаси досягла максимуму у комбінації використання підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро – 4,45 г з перевищенням контрольних варіантів на 45,9 %. Дисперсійний аналіз виявив високу частку впливу фактору В (тип ЕМ препарату) – 62,4 % загальної варіації показника сухої маси, що свідчить про визначальну роль мікробіологічної обробки у формуванні біометричних параметрів щеплених рослин.

Порівняння трьох видів підщеп показало, що *C. moschata* забезпечила найкращі показники за всіма досліджуваними параметрами, тоді як *C. pepo* характеризувалася найнижчими значеннями біометричних показників. В той же час, як підщепа *C. ficifolia* займала проміжне положення, проте демонструвала найвищу відносну відповідь на застосування ЕМ препаратів за показником площі листової поверхні. Взаємодія факторів А×В виявилася статистично достовірною для всіх досліджуваних показників ($p < 0,01$), що вказує на необхідність диференційованого підходу до вибору оптимальних комбінацій підщепа–препарат залежно від конкретних виробничих умов та цільових показників якості розсадного матеріалу.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Комплексне дослідження морфологічних аспектів регенерації зони щеплення кавуна (*Citrullus lanatus*) на дикорослі підщепи *Cucurbita* під дією ЕМ препаратів дозволило встановити наступні закономірності:

Застосування активованого ЕМ Агро забезпечило найінтенсивніше формування калюсної тканини на 11-ту добу після щеплення. Товщина калюсу на варіанті використання підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро становила 398 мкм, що на 50,2% перевищує контрольний варіант. Одночасно відбувалося зменшення площі некротичного шару на 39,7 %, що свідчить про прискорення репаративних процесів та ефективнішу мобілізацію захисних механізмів.

Часова динаміка відновлення судинної системи виявила критичні періоди регенерації. На 7-му добу комбінація підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро забезпечила формування 29 % васкулярних з'єднань проти 15 % на контролі (приріст 93,3 %). До 11-ї доби ця різниця досягла максимуму – 67 % проти 41 % (приріст 63,4 %). Варіанти з ЕМ Агро досягали 94–99 % сформованих анастомозів на 18-ту добу, тоді як контрольні рослини – лише на 25-ту, що забезпечує скорочення технологічного циклу на 7 діб.

Серед досліджуваних видів підщеп *C. moschata* продемонструвала найкращі показники регенерації та біометричних параметрів. Індекс регенерації для комбінації підщепи *C. moschata* та мікробіологічного препарату ЕМ Агро становив 0,75 (приріст 59,6 % до контролю), ступінь формування судинних пучків – 67% (майже вдвічі більше контролю). Підщепа *C. ficifolia* виявила найвищу відносну відповідь на застосування ЕМ препаратів за площею листової поверхні (приріст 51,4 %).

На 30-ту добу після щеплення варіант з використанням підщепи *C. moschata* та ЕМ Агро забезпечив: приживлюваність 96,2 % (приріст 18,3 %); висоту надземної частини 27,8 см (приріст 41,1 %); діаметр стебла в зоні щеплення 6,1 мм (приріст 35,6 %); площу листкової поверхні 228 см² (приріст 46,2 %); суху масу рослини 4,45 г (приріст 45,9 %). Дисперсійний аналіз виявив, що частка впливу типу ЕМ препарату (фактор В) становила 62,4 % від загальної варіації показника сухої маси.

Встановлено, що корисні мікроорганізми сприяють регенерації зони щеплення через: прискорення утворення калюсу та редукцію некротичного шару; стимуляцію васкулярної диференціації на ранніх етапах (починаючи з 3-ї доби); оптимізацію гормональної регуляції регенераційних процесів; покращення фізіологічного стану щеплених рослин та їхнього подальшого розвитку [18, с. 83].

Оптимальною комбінацією для виробництва щепленого розсадного матеріалу кавуна є використання підщепи *C. moschata* з обробкою активованим препаратом ЕМ Агро, що забезпечує: скорочення тривалості технологічного циклу на 7 діб; підвищення виходу якісної розсади на 18,3 %; покращення біометричних показників на 35,6–46,2 %; збільшення механічної міцності з'єднання та функціональної повноцінності васкулярної системи.

Отримані результати визначають перспективні напрями подальшого розвитку досліджень у галузі щеплення баштанних культур та застосування мікробіологічних препаратів:

1. Молекулярно-генетичні аспекти:

Дослідження експресії генів – вивчення профілю експресії генів, асоційованих з гормональною регуляцією (CIP1a, гени біосинтезу ауксинів та цитокінінів) у зоні щеплення під впливом ЕМ препаратів на різних етапах регенерації.

Транскриптомний аналіз – секвенування РНК тканин підщепи та прищепи для виявлення асиметричності генетичних програм, які активуються під дією корисних мікроорганізмів.

Протеомний аналіз – ідентифікація білків-маркерів успішної регенерації та з'ясування механізмів їхньої регуляції мікробними метаболітами.

2. Мікробіологічні дослідження:

Метагеномний аналіз ризосфери – вивчення змін структури та функціонального потенціалу мікробіому кореневої зони щеплених рослин під впливом ЕМ препаратів різного складу.

Ідентифікація ключових штамів – виділення та характеристика індивідуальних штамів мікроорганізмів з консорціуму ЕМ, які забезпечують максимальний регенераційний ефект.

Оптимізація складу препаратів – розробка спеціалізованих мікробіологічних композицій для різних видів підщеп з урахуванням їхніх фізіологічних особливостей.

3. Фізіолого-біохімічні дослідження:

Гормональний профіль – динаміка змін концентрації фітогормонів (ауксинів, цитокінінів, гіберелінів, абсцизової кислоти) у зоні щеплення та їхня кореляція з морфологічними змінами.

Антиоксидантна система – оцінка активності ферментів антиоксидантного захисту та вмісту неферментативних антиоксидантів у процесі загоєння під дією ЕМ препаратів.

Метаболомний аналіз – ідентифікація специфічних метаболітів, що продукуються корисними мікроорганізмами та впливають на регенераційні процеси.

4. Агротехнологічні розробки:

Оптимізація способів застосування – дослідження ефективності різних методів внесення ЕМ препаратів (обробка насіння, замочування кореневої системи, позакоренева обробка) та їхніх комбінацій.

Розширення спектру культур – адаптація технології застосування ЕМ препаратів для інших представників родини Гарбузові (огірок, гарбуз, диня) та інших овочевих культур.

Промислове масштабування – розробка промислових регламентів виробництва щепленого розсадного матеріалу з використанням ЕМ препаратів, включаючи економічне обґрунтування.

5. Адаптація до стресових умов:

Абіотичні стреси – вивчення впливу ЕМ препаратів на стійкість щеплених рослин до посухи, засолення, температурних стресів у критичний період регенерації.

Біотичні стреси – оцінка захисної дії корисних мікроорганізмів проти ґрунтових патогенів (*Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahliae*) через індукцію системної стійкості.

Кліматичні зміни – дослідження потенціалу ЕМ обробленого щепленого матеріалу для адаптації баштанництва до мінливих кліматичних умов.

6. Інноваційні підходи:

Нанобіотехнології – розробка наноінкапсульованих форм ЕМ препаратів для цільової доставки корисних мікроорганізмів безпосередньо в зону щеплення.

Біосенсори – створення систем моніторингу процесів регенерації в режимі реального часу на основі біохімічних маркерів.

Штучний інтелект – використання машинного навчання для прогнозування успішності щеплення на основі комплексу морфологічних та фізіологічних показників.

Реалізація цих напрямів дозволить поглибити розуміння фундаментальних механізмів взаємодії корисних мікроорганізмів з процесами регенерації рослинних тканин та розробити науково обґрунтовані технології виробництва високоякісного щепленого розсадного матеріалу для сталого розвитку баштанництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Devi P., DeVetter L., Kraft M., Shrestha S., Miles C. Progress in grafting watermelon to manage *Verticillium* wilt. *Plant Pathology*. 2021. Vol. 70. pp. 765–779.
2. Devi P., DeVetter L., Kraft M., Shrestha S., Miles C. Micrographic View of Graft Union Formation Between Watermelon Scion and Squash Rootstock. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article 878289.
3. Huang Y., Liu Y., Zhang M., Chai M., He Q., Jakada B.H., Chen F., Chen K., Jin Q., Li C., Cai C., Wang Q., Cheng Z.M., Zhang Z. CIPIN1a-mediated auxin efflux from rootstock cotyledons facilitates grafting in watermelon. *Horticulture Research*. 2025. Vol. 12. uhae329.
4. Liu L., Chen Z., Zhang Y., Gao Y., Mi L. Beneficial microorganisms: Regulating growth and defense for plant welfare. *Plant Biotechnology Journal*. 2025. Vol. 23. pp. 1–16.
5. Morais M.C., Torres L.F., Kuramae E.E., de Andrade S.A. Plant grafting: Maximizing beneficial microbe-plant interactions. *Microbiological Research*. 2024. Vol. 278. 127530.
6. Wang S., Zhang Z., Sun D., Wang Y., Miao Y., Wang X., Li Q., Xu Y., Wei M., Liu Y. Effect of plant-derived microbial soil legacy in a grafting system—a turn for the better. *Microbiome*. 2024. Vol. 12. Article 234.

7. Miles C.A., Wimer J., Inglis D. Advances in Watermelon Grafting to Increase Efficiency and Automation. *Horticulturae*. 2020. Vol. 6. № 4. Article 88.
8. Bertucci M.B., Suchoff D.H., Jennings K.M., Monks D.W., Schultheis J.R., Perkins-Veazie P., Louws F.J. Performance of grafted seedless watermelon with and without root excision under inoculation with *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* race 2. *HortScience*. 2018. Vol. 53. № 9. pp. 1340–1348.
9. Devi P., DeVetter L., Kraft M., Shrestha S., Miles C. Micrographic View of Graft Union Formation Between Watermelon Scion and Squash Rootstock. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article 878289.
10. Miles C.A., Wimer J., Inglis D. Advances in Watermelon Grafting to Increase Efficiency and Automation. *Horticulturae*. 2020. Vol. 6. № 4. Article 88.
11. Iwase A., Mitsuda N., Koyama T., Hiratsu K., Kojima M., Arai T., Inoue Y., Seki M., Sakakibara H., Sugimoto K., Ohme-Takagi M. The AP2/ERF transcription factor WIND1 controls cell dedifferentiation in *Arabidopsis*. *Current Biology*. 2017. Vol. 21. P. 508–514.
12. Guo W., Tian L., Ruan Z., Chen F., Zhang L., Cui Z., Gao M., Shi W. Transcriptome dynamics reveals how asymmetric expression of genes promotes graft healing in *Sapindus mukorossi*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2025. Vol. 219. Article 109159.
13. Muhammad A., Kong X., Zheng S., Bai N., Li L., Khan M.H.U., Fiaz S., Zhang Z. Exploring plant-microbe interactions in adapting to abiotic stress under climate change. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. Article 1482739.
14. Morais M.C., Torres L.F., Kuramae E.E., de Andrade S.A. Plant grafting: Maximizing beneficial microbe-plant interactions. *Microbiological Research*. 2024. Vol. 278. Article 127530.
15. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Вип. 7. Київ, 2000. 144 с.
16. Яровий А. Т., Страхов Є. М. Багатовимірний статистичний аналіз : началь-но-методичний посібник для студентів математичних та економічних фахів. Одеса: Астропринт, 2015. 132 с
17. Ковальов М.М. Енергетична ефективність використання Тладіанти сумнів-ної як підщепи у процесі вирощування огірка Козіма F1 у гідропонних купольних теплицях. *Аграрні інновації Рецензований науковий журнал*. № 7 2021. Видавни-чий дім «Гельветика»,. С. 79-83
18. Ковальов М.М. Вирощування огірка козіма F1 на різних типах субстратів у гідропонних купольних теплицях. *Таврійський науковий вісник: Науковий жур-нал. Сільськогосподарські науки*. Вип. 117 Видавничий дім «Гельветика», 2021. С. 80-89.

Дата першого надходження рукопису до видання: 06.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 22.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025