

ВПЛИВ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ПРЕПАРАТУ ЕМ АГРО НА ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ КРОПУ СОРТУ АЛІГАТОР В УМОВАХ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ

КОВАЛЬОВ М.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0003-4421-8960

Центральноукраїнський національний технічний університет
САЛО Л.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцентка
orcid.org/0000-0002-5163-2548

Центральноукраїнський національний технічний університет
ВАСИЛЬКОВСЬКА К.В. – кандидат технічних наук, доцентка
orcid.org/0000-0002-3524-4027

Центральноукраїнський національний технічний університет
ШЕВЧЕНКО О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцентка
orcid.org/0000-0002-3098-8940
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Сучасне овочівництво характеризується пошуком екологічно безпечних методів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур при одночасному збереженні родючості ґрунту та мінімізації негативного впливу на довкілля. Особливе місце в цьому контексті займають мікробіологічні препарати, які здатні активізувати природні процеси ґрунтоутворення та поліпшити засвоєння рослинами поживних речовин [1, с. 2327; 2, с. 190].

Кріп городній (*Anethum graveolens* L.) є однією з найпопулярніших пряно-ароматичних культур, що має високий попит на ринку завдяки своїм харчовим та лікувальним властивостям. Формування якісної зеленої маси кропу залежить від комплексу факторів, серед яких особливе значення займають умови водозабезпечення та мікробіологічна активність ґрунту.

Ефективні мікроорганізми (ЕМ) – технології набувають все більшого поширення в сучасному землеробстві як альтернатива хімічним добривам та стимуляторам росту [3, с. 290; 4, с. 171]. Препарат ЕМ Агро містить комплекс корисних мікроорганізмів, включаючи молочнокислі бактерії, дріжджі, фотосинтезуючі бактерії та актиноміцети, які здатні покращувати структуру ґрунту, активізувати процеси мінералізації органічної речовини та підвищувати доступність поживних елементів для рослин.

Краплинне зрошення, як найбільш ефективний спосіб водозабезпечення рослин, створює оптимальні умови для функціонування мікробного ценозу ґрунту та може потенціювати дію мікробіологічних препаратів. Поєднання цих двох технологій може забезпечити синергетичний ефект у формуванні продуктивності зеленої продукції [5, с. 48; 6, с. 872].

Сорт кропу Алігатор характеризується високими адаптивними властивостями та потенціалом формування значної зеленої маси, що робить його перспективним об'єктом для вивчення впливу інноваційних агротехнологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні тенденції розвитку світового овочівництва характеризуються зростаючим інтересом до біотехнологічних рішень, зокрема застосування мікробних інокулянтів

як альтернативи хімічним засобам. Глобальний ринок ґрунтових мікробних інокулянтів для сільського господарства зростає під тиском необхідності збільшення сталого виробництва сільськогосподарських культур [7, с. 550; 8, с. 122646].

Останні дослідження підтверджують ефективність використання рослинно-асоційованих мікроорганізмів для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Бактеріальні інокулянти можуть сприяти підвищенню агрономічної ефективності шляхом зменшення виробничих витрат та забруднення довкілля завдяки можливості скорочення використання хімічних добрив. Li N. et al. у своєму дослідженні підкреслили, що використання рослинно-асоційованих мікробіомів пропонує неоціненну стратегію для сприяння більш сталому сільськогосподарському виробництву при одночасному задоволенні зростаючих потреб у продовольстві [9, с. 164463].

Особливу увагу науковців привертають азотфіксуючі мікроорганізми. Азотфіксуючі бактерії та інші мікробні біодобрива сприяють кругообігу поживних речовин, збагачуючи ґрунт необхідними елементами живлення, підвищуючи родючість ґрунту та підтримуючи стабільний розвиток сільського господарства [10, с. 81309].

Краплинне зрошення створює специфічні умови для функціонування мікробних спільнот у ґрунті. Дослідження впливу краплинного зрошення на ґрунтові мікроорганізми показали, що краплинне зрошення впливає на ґрунтові бактерії переважно через доступний азот, а на ґрунтові гриби – через доступні поживні речовини [11, с. 152113].

Дослідження Wu M. et al. визначили основні обмеження та можливості використання ґрунтових мікробних інокулянтів. Мікробіом ґрунтового середовища є життєво важливим компонентом сталого землеробства, що підкреслює важливість комплексного підходу до застосування мікробіологічних технологій [12, с. 136331].

Сучасні тенденції свідчать про розвиток концепції мікробних біоформуляцій. Мікробна біоформуляція розглядається як техніка біостимулюючого удобрення з мікробною підтримкою для сталого овочівництва, яка вирішує актуальні проблеми зростаючого попиту

на продовольство, зниження продуктивності овочевих культур в умовах мінливих агрокліматичних умов та погіршення здоров'я ґрунту [13, с. 147580].

Застосування мікробних пестицидів та біодобрих набуває особливого значення в контексті екологічної безпеки. Мікробні пестициди, отримані з мікроорганізмів, таких як бактерії, гриби, віруси та найпростіші, забезпечують екологічно безпечні альтернативи традиційним хімічним пестицидам.

Успішне застосування рослинно-асоційованих мікробних інокулянтів для сталого землеробства потребує цілісного підходу до вивчення та розуміння механізмів їх дії [14, с. 21167]. Це підкреслює необхідність подальших досліджень взаємодії мікробних препаратів із конкретними сільськогосподарськими культурами в різних агротехнічних умовах.

Аналіз літературних джерел засвідчує високу актуальність досліджень впливу мікробіологічних препаратів на продуктивність зеленних культур в умовах краплинного зрошення, проте дані щодо впливу ЕМ препаратів на кріп залишаються обмеженими, що обґрунтовує доцільність проведення комплексних досліджень у цьому напрямку.

Мета статті. Мета роботи – визначити вплив мікробіологічного препарату ЕМ Агро на показники росту, розвитку та накопичення зеленої маси кропу сорту Алігатор в умовах краплинного зрошення.

Матеріали та методика досліджень. Досліди проводили в базі кафедри загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету, протягом у відповідності з «Методикою польового досліду в овочівництві і баштанництві» [15, с. 42]

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий важко-суглинковий з такими агрохімічними показниками: вміст гумусу за Тюрнімом – 4,2 %, лужногідролізованого азоту за Корнфільдом – 112 мг/кг, рухомого фосфору та обмінного калію за Чириковим відповідно 185 та 98 мг/кг, рН сольової витяжки – 6,8.

Об'єктом дослідження слугував кріп городній (*Anethum graveolens* L.) сорту Алігатор – середньостиглий сорт селекції Інституту овочівництва і баштанництва НААН України. Сорт характеризується розеткою листя висотою 25–30 см, масою рослини 15–20 г, період від сходів до технічної стиглості становить 40–45 днів.

У дослідженнях використовували мікробіологічний препарат ЕМ Агро (виробник ТОВ ЕМ Україна) – концентрат ефективних мікроорганізмів, що містить: молочнокислі бактерії (*Lactobacillus casei*, *L. plantarum*, *L. fermentum*) – 10^6 КУО/мл; фотосинтезуючі бактерії (*Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter sphaeroides*) – 10^5 КУО/мл; дріжджі (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*) – 10^5 КУО/мл; актиноміцети (*Streptomyces albus*, *S. griseus*) – 10^4 КУО/мл.

Дослід закладено методом рандомізованих блоків у чотирикратній повторності [16, с. 38]. Загальна площа досліду – 180 м², площа облікової ділянки – 10 м² (2,0 × 5,0 м). Схема досліду включала наступні варіанти:

Варіант 1 (контроль) – краплинне зрошення без застосування препарату **Варіант 2** – краплинне зрошення + обробка насіння розчином ЕМ Агро (1:1000)

Варіант 3 – краплинне зрошення + обробка насіння (1:1000) + підживлення через систему зрошення (1:500) на 10-й день після сходів.

Варіант 4 – краплинне зрошення + обробка насіння (1:1000) + дворазове підживлення (1:500) на 10-й та 25-й дні після сходів.

Варіант 5 – краплинне зрошення + триразове підживлення (1:500) на 10-й, 20-й та 30-й дні після сходів

Для зрошення використовували систему краплинного зрошення з наступними характеристиками:

- 1) крапельні стрічки типу «Santehplast» з відстанню між емітерами 20 см;
- 2) витрата води одного емітера – 2,0 л/год при робочому тиску 0,8–1,0 бар;
- 3) відстань між стрічками – 45 см (відповідає міжряддям посіву кропу);
- 4) глибина укладання стрічок – 2–3 см.

Режим зрошення визначали за показниками вологості ґрунту, підтримуючи її на рівні 80–85 % НВ у шарі 0–30 см. Контроль вологості здійснювали тензіометричним методом з використанням тензіометрів «Irrrometer» на глибині 15 та 25 см.

Підготовка ґрунту: Восени проводили оранку на глибину 25–27 см з одночасним внесенням ЕМ компосту (5 т/га). Навесні – культивування на глибину 8–10 см та передпосівна підготовка комбінованим агрегатом.

Обробка насіння: Насіння протруювали в розчині ЕМ Агро відповідної концентрації протягом 2 годин, після чого підсушували до сипучого стану.

Сівба: Проводили ручним способом в рядки з міжряддям 45 см на глибину 1,5–2,0 см. Норма висіву – 2,5 г/м². Сівбу здійснювали у третій декаді квітня при прогріванні ґрунту до 8–10 °С.

Догляд за посівами: розпушування міжрядь після кожного поливу на глибину 3–5 см; ручне прополювання бур'янів у рядках; підживлення розчином ем агро згідно схеми досліду через систему краплинного зрошення; профілактичні обстеження на предмет появи шкідників та хвороб.

Режим підживлень через краплинне зрошення: Розчин ЕМ Агро готували безпосередньо перед застосуванням, змішуючи концентрат з водою у співвідношенні 1:500. Підживлення проводили ранком (6:00–8:00 годин) при температурі повітря не вище 25 °С. Тривалість внесення препарату – 30–40 хвилин, після чого систему промивали чистою водою протягом 10–15 хвилин.

Фенологічні спостереження: Відмічали дати сходів, появи 3–4 справжніх листків, початку інтенсивного наростання зеленої маси, технічної стиглості.

Біометричні вимірювання: Кожні 10 днів визначали висоту рослин, кількість листків, діаметр розетки на 25 рослинах з кожного варіанту.

Урожайність: Збір зеленої маси проводили у фазі технічної стиглості з усієї облікової площі кожного варіанту з подальшим перерахунком на 1 м².

Якість продукції: Визначали вміст сухої речовини (висушування при 105 °С), аскорбінової кислоти (йодометричним методом), ефірних олій (методом перегонки з водяною парою).

Статистичну обробку отриманих даних проводили методом дисперсійного аналізу [16, с. 75].

Результати досліджень. Аналіз біометричних показників кропу сорту Алігатор засвідчує позитивний вплив мікробіологічного препарату ЕМ Агро на ростові процеси рослин в умовах краплинного зрошення наведена в таблиці 1.

Дані таблиці 1 демонструють статистично достовірне покращення всіх досліджуваних біометричних показників при застосуванні препарату ЕМ Агро порівняно з контрольним варіантом.

Найвищі показники висоти рослин отримано у варіанті 4 (обробка насіння + дворазове підживлення) – 30,1 см, що на 5,9 см або 24,4 % більше контролю. Варіант 5 (триразове підживлення) показав дещо нижчі результати – 29,6 см, що може свідчити про можливе пригнічення росту при надмірній концентрації мікроорганізмів.

Аналогічна тенденція спостерігається і за показником кількості листків на рослині. Максимальне значення зафіксовано у варіанті 4 – 17,3 листка, що перевищує контроль на 4,9 листка або 39,5 %. Це вказує на активізацію процесів листкоутворення під впливом ефективних мікроорганізмів, які сприяють покращенню мінерального живлення рослин завдяки підвищенню доступності поживних речовин у ґрунті.

Діаметр листової розетки, як показник розвитку асиміляційного апарату, також найкращі значення мав у варіанті 4 – 24,2 см проти 18,5 см на контролі, тобто відбулося збільшення на 30,8 %. Цей показник має пряму кореляцію з продуктивністю рослин, оскільки більша площа листової поверхні забезпечує інтенсивніший фотосинтез та накопичення органічної речовини.

Маса однієї рослини як узагальнюючий показник росту та розвитку також максимальною була у варіанті 4 – 23,8 г, що на 7,0 г або 41,7 % перевищує контрольний варіант. Важливо відмітити, що всі розбіжності між варіантами перевищують НІР₀₅, що підтверджує статистичну достовірність отриманих результатів та ефективність застосування препарату ЕМ Агро.

Головним показником ефективності агротехнічних заходів є урожайність культури. Результати

досліджень свідчать про значний вплив препарату ЕМ Агро на формування урожаю зеленої маси кропу наведена в таблиці 2.

Аналіз урожайності підтверджує ефективність застосування мікробіологічного препарату ЕМ Агро для підвищення продуктивності кропу в умовах краплинного зрошення. На контрольному варіанті середня урожайність зеленої маси за два роки досліджень склала 170,4 г/м², що відповідає потенціалу сорту Алігатор в умовах достатнього вологозабезпечення.

Застосування препарату ЕМ Агро лише для обробки насіння на варіанті 2 забезпечило приріст урожайності на 24,1 г/м² або 14,1 % порівняно з контролем. Це свідчить про позитивний вплив мікроорганізмів на початкових етапах розвитку рослин, коли відбувається формування кореневої системи та активізація ризосферних процесів.

Комбінування обробки насіння з одноразовим підживленням через систему краплинного зрошення на варіанті 3, дозволило збільшити урожайність до 216,9 г/м², що на 46,5 г/м² або 27,3 % більше контролю. Такий результат підтверджує синергетичний ефект від поєднання передпосівної обробки насіння та додаткового внесення мікроорганізмів у критичний період росту рослин.

Найвищу урожайність отримано на варіанті 4 (обробка насіння + дворазове підживлення) – 240,5 г/м², що становить приріст 70,1 г/м² або 41,1 % до контролю (див. табл. 2). Оптимальність цього варіанту пояснюється збалансованим надходженням ефективних мікроорганізмів протягом вегетаційного періоду, що забезпечує стабільну мікробіологічну активність у ризосфері та покращення живлення рослин.

Варіант 5 з триразовим підживленням показав дещо нижчі результати – 233,7 г/м², де приріст становив 37,1 %, що може свідчити про негативний вплив надмірної концентрації мікроорганізмів або порушення балансу мікробного ценозу ґрунту.

Поряд з урожайністю важливого значення набувають якісні характеристики продукції, які визначають її харчову та біологічну цінність, які представлені в таблиці 3.

Дані таблиці 3 свідчать про позитивний вплив препарату ЕМ Агро не тільки на кількісні, але й на якісні

Таблиця 1

Біометричні показники кропу сорту Алігатор залежно від застосування препарату ЕМ Агро (середнє за 2023–2024 роки)

Варіант досліджу	Висота рослини, см	Кількість листків, шт.	Діаметр розетки, см	Маса однієї рослини, г
1. Контроль (краплинне зрошення)	24,2	12,4	18,5	16,8
2. Обробка насіння ЕМ Агро (1:1000)	26,8	14,1	20,3	19,2
3. Обробка насіння + підживлення (10 день)	28,5	15,7	22,1	21,5
4. Обробка насіння + 2 підживлення	30,1	17,3	24,2	23,8
5. Триразове підживлення через зрошення	29,6	16,8	23,7	23,1
НІР ₀₅	1,2	0,8	1,1	1,4

Таблиця 2

Урожайність зеленої маси кропу сорту Алігатор залежно від застосування препарату ЕМ Агро, г/м²

Варіант досліджу	Урожайність			Приріст до контролю, г/м ²
	2023 рік	2024 рік	Середнє	
1. Контроль (краплинне зрошення)	168,5	172,3	170,4	-
2. Обробка насіння ЕМ Агро (1:1000)	192,1	196,8	194,5	+24,1
3. Обробка насіння + підживлення (10 день)	214,6	219,2	216,9	+46,5
4. Обробка насіння + 2 підживлення	237,8	243,1	240,5	+70,1
5. Триразове підживлення через зрошення	231,4	235,9	233,7	+63,3
НІР ₀₅	8,2	7,9	7,6	-

Таблиця 3

Якісні показники зеленої маси кропу сорту Алігатор залежно від застосування препарату ЕМ Агро (середнє за 2023–2024 роки)

Варіант досліджу	Суша речовина, %	Аскорбінова кислота, мг/100г	Ефірні олії, %	Нітрати, мг/кг
1. Контроль (краплинне зрошення)	8,6	24,8	0,18	187,5
2. Обробка насіння ЕМ Агро (1:1000)	9,2	27,3	0,21	165,2
3. Обробка насіння + підживлення (10 день)	9,8	29,7	0,24	152,8
4. Обробка насіння + 2 підживлення	10,4	32,1	0,27	143,6
5. Триразове підживлення через зрошення	10,1	31,4	0,26	148,9
НІР ₀₅	0,3	1,2	0,01	8,4

показники продукції кропу. Вміст сухої речовини, який характеризує поживну цінність зеленої маси, на контрольному варіанті склав 8,6 %. Застосування мікробіологічного препарату сприяло збільшенню цього показника на всіх дослідних варіантах. Найвищий вміст сухої речовини зафіксовано у варіанті 4 – 10,4 %, що на 20,9 % більше контролю.

Аскорбінова кислота (вітамін С) є одним з найважливіших показників біологічної цінності зеленних культур. На контрольному варіанті її вміст складав 24,8 мг/100г свіжої маси. Застосування препарату ЕМ Агро забезпечило статистично достовірне збільшення вмісту аскорбінової кислоти на всіх варіантах досліджу. Максимальне значення отримано у варіанті 4 – 32,1 мг/100г, що на 7,3 мг/100г або 29,4 % перевищує контроль. Таке підвищення пов'язане з активізацією метаболічних процесів у рослинах під впливом ефективних мікроорганізмів та покращенням засвоєння мінеральних елементів, необхідних для біосинтезу вітамінів.

Ефірні олії визначають специфічний аромат та смакові якості кропу, а також його лікувально-профілактичні властивості. На контрольному варіанті вміст ефірних олій склав 0,18 %. Найвищий їх вміст спостерігався у варіанті 4 – 0,27 %, що на 50 % більше контролю. Це свідчить про інтенсифікацію процесів вторинного метаболізму в рослинах під впливом мікробіологічного препарату.

Особливе значення має показник вмісту нітратів у продукції, оскільки він характеризує її екологічну безпечність. У контрольному варіанті вміст нітратів склав

187,5 мг/кг, що не перевищує ГДК для зеленних культур (2000 мг/кг), але знаходиться на досить високому рівні. Застосування препарату ЕМ Агро сприяло зниженню вмісту нітратів на всіх дослідних варіантах. Найменший їх вміст зафіксовано у варіанті 4 – 143,6 мг/кг, що на 43,9 мг/кг або 23,4 % менше контролю. Таке зниження пов'язане з активізацією нітратредуктазної активності в рослинах та кращою утилізацією азотних сполук на синтез білків та інших органічних речовин.

Оцінка економічної ефективності агротехнічних заходів є визначальним фактором для впровадження їх у виробництво і наведена в таблиці 4.

Економічний аналіз підтверджує високу ефективність застосування мікробіологічного препарату ЕМ Агро при вирощуванні кропу в умовах краплинного зрошення. Розрахунки проведено при ціні реалізації зеленої маси кропу 100 грн/кг (середня ринкова ціна в регіоні досліджень у 2024 році).

На контрольному варіанті вартість отриманої продукції склала 17,04 грн/м². Застосування препарату ЕМ Агро на всіх варіантах забезпечило отримання додаткового чистого прибутку. Найменші додаткові витрати були на варіанті 2 (обробка лише насіння) – 0,35 грн/м², що включає вартість препарату та витрати праці на обробку. При цьому отриманий чистий прибуток склав 2,06 грн/м² та рентабельність додаткових витрат 588,6 %.

На варіанті 3 (обробка насіння + одне підживлення) додаткові витрати склали 0,62 грн/м², але завдяки вищій урожайності чистий прибуток збільшився до 4,03 грн/м²,

Таблиця 4

Економічна ефективність застосування препарату ЕМ Агро при вирощуванні кропу сорту Алігатор

Варіант досліджу	Урожайність, г/м ²	Вартість продукції, грн/м ²	Додаткові витрати, грн/м ²	Чистий прибуток, грн/м ²	Рентабельність, %
1. Контроль (краплинне зрошення)	170,4	17,04	-	-	-
2. Обробка насіння ЕМ Агро (1:1000)	194,5	19,45	0,35	2,06	588,6
3. Обробка насіння + підживлення (10 день)	216,9	21,69	0,62	4,03	650,0
4. Обробка насіння + 2 підживлення	240,5	24,05	0,89	6,12	687,6
5. Триразове підживлення через зрошення	233,7	23,37	1,16	5,17	445,7
НІР ₀₅	7,6	-	-	-	-

а рентабельність – до 650,0 %. Це свідчить про високу окупність додаткових інвестицій у мікробіологічні препарати.

Найвища економічна ефективність отримана на варіанті 4 з дворазовим підживленням. При додаткових витратах 0,89 грн/м² чистий прибуток склав 6,12 грн/м², а рентабельність досягла 687,6 %. Це підтверджує, що оптимальне застосування препарату забезпечує максимальну економічну віддачу.

Варіант 5 з триразовим підживленням, незважаючи на високу урожайність, показав нижчу рентабельність – 445,7 %, що пов'язано зі збільшенням витрат до 1,16 грн/м² при менш пропорційному зростанні прибутку. Це підтверджує економічну недоцільність надмірного застосування препарату.

Таким чином, найбільш економічно виправданим є варіант 4 – обробка насіння + дворазове підживлення через систему краплинного зрошення, який забезпечує оптимальне співвідношення між додатковими витратами та отриманим прибутком при максимальній урожайності та якості продукції.

Висновки. За результатами двохрічних польових досліджень впливу мікробіологічного препарату ЕМ Агро на формування зеленої маси кропу сорту Алігатор в умовах краплинного зрошення встановлено:

Застосування препарату ЕМ Агро забезпечує статистично достовірне покращення всіх біометричних показників кропу. Найефективнішим виявився варіант з обробкою насіння та дворазовим підживленням через систему краплинного зрошення, який забезпечив збільшення висоти рослин до 30,1 см (на 24,4 % більше контролю), кількості листків до 17,3 шт./рослину (приріст 39,5 %), діаметра розетки до 24,2 см (збільшення на 30,8 %) та маси однієї рослини до 23,8 г, тобто приріст становив 41,7 %.

Мікробіологічний препарат ЕМ Агро суттєво підвищує продуктивність кропу в умовах краплинного зрошення. Максимальну урожайність зеленої маси 240,5 г/м² отримано при комбінуванні обробки насіння з дворазовим підживленням, що на 70,1 г/м² або 41,1 %

перевищує контрольний варіант. Навіть найпростіший спосіб застосування (лише обробка насіння) забезпечує приріст урожайності на 14,1 %.

Застосування препарату ЕМ Агро позитивно впливає на якість зеленої маси кропу. У найефективнішому варіанті вміст сухої речовини збільшується на 20,9 % (до 10,4 %), аскорбінової кислоти – на 29,4 % (до 32,1 мг/100г), ефірних олій – на 50 % (до 0,27 %). Особливо важливим є зниження вмісту нітратів на 23,4 % (до 143,6 мг/кг), що підвищує екологічну безпечність продукції.

Поєднання мікробіологічного препарату ЕМ Агро з системою краплинного зрошення створює синергетичний ефект, оскільки оптимальний водний режим ґрунту сприяє активізації життєдіяльності ефективних мікроорганізмів та підвищує ефективність їх впливу на рослини. Локальне внесення препарату через систему зрошення забезпечує цілеспрямовану доставку мікроорганізмів безпосередньо у ризосферну зону.

Найбільш ефективною схемою застосування препарату ЕМ Агро є комбінування передпосівної обробки насіння (розчин 1:1000) з дворазовим підживленням через систему краплинного зрошення (розчин 1:500) на 10-й та 25-й дні після сходів. Триразове підживлення виявилось менш ефективним, що свідчить про можливість пригнічення рослин при надмірній концентрації мікроорганізмів.

Застосування мікробіологічного препарату ЕМ Агро при вирощуванні кропу є високорентабельним заходом. Найвища рентабельність додаткових витрат – 687,6 %, отримана при оптимальній схемі застосування з чистим прибутком 6,12 грн/м². Навіть найпростіший варіант (обробка насіння) забезпечує рентабельність на рівні 588,6 %, що підтверджує економічну доцільність впровадження технології.

Використання препарату ЕМ Агро сприяє зменшенню накопичення нітратів у продукції, активізації природних ґрунтових процесів та підвищенню біологічної активності ґрунту без використання хімічних стимуляторів росту.

Для практичного впровадження рекомендується:

- 1) проводити передпосівну обробку насіння кропу розчином ЕМ Агро (1:1000) протягом 2 годин;
- 2) здійснювати підживлення розчином препарату (1:500) через систему краплинного зрошення на 10-й та 25-й дні після сходів;
- 3) підтримувати вологість ґрунту на рівні 80–85 % НВ для оптимальних умов функціонування мікроорганізмів;
- 4) проводити внесення препарату в ранкові години при температурі повітря не вище 25 °С.

Доцільним є продовження досліджень вивчення впливу препарату ЕМ Агро на інші сорти кропу та зелені культури, вивчення його дії в різних ґрунтово-кліматичних умовах, а також розробка удосконалених схем застосування з урахуванням фаз розвитку рослин та агрометеорологічних факторів.

Результати досліджень підтверджують високу ефективність застосування мікробіологічного препарату ЕМ Агро при вирощуванні кропу сорту Алігатор в умовах краплинного зрошення, що дає змогу рекомендувати його для широкого впровадження у виробництво при вирощуванні зеленої продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Iriti M, Scarafoni A, Pierce S, Castorina G, Vitalini S. Soil Application of Effective Microorganisms (EM) Maintains Leaf Photosynthetic Efficiency, Increases Seed Yield and Quality Traits of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants Grown on Different Substrates. *Int J Mol Sci*. 2019 May 10; 20 (9):2327. doi: 10.3390/ijms20092327. PMID: 31083418; PMCID: PMC6539765.
2. Ndona R.K., Friedel J.K., Spornberger A., Rinnofer T., Jezik K. Effective micro-organisms (EM): An effective plant strengthening agent for tomatoes in protected cultivation. *Biol. Agric. Hortic*. 2011; 27: 189–203. doi: 10.1080/01448765.2011.9756647.
3. Rezende A.M.F., Tomita C.K., Uesugi C.H. Cupric fungicides, benzalconium chlorides and liquid bioactive compost (Bokashi): Phytotoxicity and control of guava bacterial blight caused by *Erwinia psidii*. *Trop. Plant Pathol*. 2008;33:288–294. doi: 10.1590/S1982-56762008000400005.
4. Shin K., van Diepen G., Blok W., van Bruggen A.H. Variability of Effective Micro-organisms (EM) in bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. *Crop Prot*. 2017;99:168–176. doi: 10.1016/j.cropro.2017.05.025.
5. Safwat, S.M., Matta, M.E. Environmental applications of Effective Microorganisms: a review of current knowledge and recommendations for future directions. *J. Eng. Appl. Sci*. 68, 48 (2021). <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00049-1>
6. Kumar B.L, Gopal D.V. Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. *3 Biotech*. 2015 Dec;5(6):867–876. doi: 10.1007/s13205-015-0293-6. Epub 2015 Apr 4. PMID: 28324402; PMCID: PMC4624139.
7. Andrade, J.C., Almeida, D., Domingos, M., Seabra, C.L., Machado, D., Freitas, A.C., Gomes, A.M., 2020. Commensal obligate anaerobic bacteria and health: production, storage, and delivery strategies. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 8, 550. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00550>
8. Lyu L, Matheson S, Fleck R, Torpy FR, Irga PJ. Modulating phytoremediation: How drip irrigation system affect performance of active green wall and microbial community changes. *J Environ Manage*. 2024 Nov; 370: 122646. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122646. Epub 2024 Oct 4. PMID: 39366234.
9. Li N, Jiang L, Li X, Su Y. Enhancing phytoremediation of arsenic-contaminated soil by agronomic practices (drip irrigation and intercropping): Influence of soil organic matter. *Sci Total Environ*. 2023 Sep 15;891:164463. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164463. Epub 2023 May 27. PMID: 37245811.
10. Jiang L, Li N, Li X, Murati H, Hu Y, Su Y. Phytoremediation of copper-contaminated soils by drip or sprinkling irrigation coupled with intercropping. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023 Jul;30(33):81303–81313. doi: 10.1007/s11356-023-28153-0. Epub 2023 Jun 14. PMID: 37316625.
11. D'Incau E, Lépinay A, Capiaux H, Gaudin P, Cornu J-Y, Lebeau T (2022) Effect of *Pseudomonas putida*-producing pyoverdine on copper uptake by *Helianthus annuus* cultivated on vineyard soils. *Sci Total Environ* 809: 152113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152113>.
12. Wu M., Ma C., Wang D., Liu H., Zhu C., Xu H. Nutrient drip irrigation for refractory hydrocarbon removal and microbial community shift in a historically petroleum-contaminated soil. *Sci Total Environ*. 2020 Apr 15; 713: 136331. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136331. Epub 2019 Dec 28. PMID: 31955070.
13. Liu H, Wu M, Gao H, Yi N, Duan X. Hydrocarbon transformation pathways and soil organic carbon stability in the biostimulation of oil-contaminated soil: Implications of ^{13}C natural abundance. *Sci Total Environ*. 2021 Sep 20; 788: 147580. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147580. Epub 2021 May 7. PMID: 34034175.
14. Purnomo A.S., Putra S.R., Putro H.S., Hamzah A., Rohma N.A., Rohmah A.A., Rizqi H.D., Asranudin, Tangahu B.V., Warmadewanthi I.D.A.A., Shimizu K. The application of biosurfactant-producing bacteria immobilized in PVA/SA/bentonite bio-composite for hydrocarbon-contaminated soil bioremediation. *RSC Adv*. 2023 Jul 13;13 (31): 21163–21170. doi: 10.1039/d3ra02249h. PMID: 37456549; PMCID: PMC10339068.
15. Пігуль В. М., Дейнека В. І., & Ващенко В. П. *Методика польового дослідження в овочівництві і баштанництві*. Харків: Стиль-Іздат. 2018, 270 с.
16. Дослідна справа в агрономії. Книга друга. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень: навчальний посібник / Рожков А. О., Каленська С. М., Пузік Л. М. та ін. Х. : Майдан, 2016. 298 с.
17. Khaliq A., Abbasi M. K. and Hussain T. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology*. 2006, 97: 967–972.
18. Etefa O. F., Forsido S. F. & Kebede M. T. (). Postharvest Loss, Causes, and Handling Practices of Fruits and Vegetables in Ethiopia: Scoping Review. *Journal of Horticultural Research*. 2022, 30 (1), 1–10. <https://doi.org/10.2478/johr-2022-0002>.

19. Ковальов М. М. Вплив параметрів кліматозабезпечення на вирощування мікрозелені в умовах плівкової теплиці. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки*. Видавничий дім «Гельветика». 2022, Вип. 126 С. 153–162. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.21>.
20. Ковальов М. М. Вплив іонного складу поживного середовища на вирощування ремонтантних сортів полуниці в гідропонних колонах *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки*. Видавничий дім «Гельветика», 2020. Вип. 116, С. 104–111. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.13>.

REFERENCES:

1. Iriti, M., Scarafoni, A., Pierce, S., Castorina, G., & Vitalini, S. (2019). Soil application of effective microorganisms (EM) maintains leaf photosynthetic efficiency, increases seed yield and quality traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown on different substrates. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(9), 2327. <https://doi.org/10.3390/ijms20092327>.
2. Ndona, R. K., Friedel, J. K., Spornberger, A., Rinnofer, T., & Jezik, K. (2011). Effective microorganisms (EM): An effective plant strengthening agent for tomatoes in protected cultivation. *Biological Agriculture & Horticulture*, 27, 189–203. <https://doi.org/10.1080/01448765.2011.9756647>.
3. Rezende, A. M. F., Tomita, C. K., & Uesugi, C. H. (2008). Cupric fungicides, benzalconium chlorides and liquid bioactive compost (Bokashi): Phytotoxicity and control of guava bacterial blight caused by *Erwinia psidii*. *Tropical Plant Pathology*, 33, 288–294. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762008000400005>.
4. Shin, K., van Diepen, G., Blok, W., & van Bruggen, A. H. (2017). Variability of effective microorganisms (EM) in bokashi and soil and effects on soil-borne plant pathogens. *Crop Protection*, 99, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.025>.
5. Safwat, S. M., & Matta, M. E. (2021). Environmental applications of effective microorganisms: A review of current knowledge and recommendations for future directions. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 68, 48. <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00049-1>.
6. Kumar, B. L., & Gopal, D. V. (2015). Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. *3 Biotech*, 5(6), 867–876. <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0293-6>.
7. Andrade, J. C., Almeida, D., Domingos, M., Seabra, C. L., Machado, D., Freitas, A. C., & Gomes, A. M. (2020). Commensal obligate anaerobic bacteria and health: Production, storage, and delivery strategies. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 550. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00550>.
8. Lyu, L., Matheson, S., Fleck, R., Torpy, F. R., & Irga, P. J. (2024). Modulating phytoremediation: How drip irrigation system affect performance of active green wall and microbial community changes. *Journal of Environmental Management*, 370, 122646. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122646>.
9. Li, N., Jiang, L., Li, X., & Su, Y. (2023). Enhancing phytoremediation of arsenic-contaminated soil by agronomic practices (drip irrigation and intercropping): Influence of soil organic matter. *Science of the Total Environment*, 891, 164463. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164463>.
10. Jiang, L., Li, N., Li, X., Murati, H., Hu, Y., & Su, Y. (2023). Phytoremediation of copper-contaminated soils by drip or sprinkling irrigation coupled with intercropping. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(33), 81303–81313. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28153-0>.
11. D'Incau, E., Lépinay, A., Capiaux, H., Gaudin, P., Cornu, J.-Y., & Lebeau, T. (2022). Effect of *Pseudomonas putida*-producing pyoverdine on copper uptake by *Helianthus annuus* cultivated on vineyard soils. *Science of the Total Environment*, 809, 152113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152113>.
12. Wu, M., Ma, C., Wang, D., Liu, H., Zhu, C., & Xu, H. (2020). Nutrient drip irrigation for refractory hydrocarbon removal and microbial community shift in a historically petroleum-contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 713, 136331. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136331>.
13. Liu, H., Wu, M., Gao, H., Yi, N., & Duan, X. (2021). Hydrocarbon transformation pathways and soil organic carbon stability in the biostimulation of oil-contaminated soil: Implications of ¹³C natural abundance. *Science of the Total Environment*, 788, 147580. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147580>.
14. Purnomo, A. S., Putra, S. R., Putro, H. S., Hamzah, A., Rohma, N. A., Rohmah, A. A., Rizqi, H. D., Asranudin, Tangahu, B. V., Warmadewanthi, I. D. A. A., & Shimizu, K. (2023). The application of biosurfactant-producing bacteria immobilized in PVA/SA/bentonite bio-composite for hydrocarbon-contaminated soil bioremediation. *RSC Advances*, 13 (31), 21163–21170. <https://doi.org/10.1039/d3ra02249h>.
15. Pihul, V. M., Deyneka, V. I., & Vashchenko, V. P. (2018). *Metodyka polovoho doslidu v ovochivnytstvi i bashtannytstvi* [Field experiment methodology in vegetable and melon growing]. Kharkiv: Styl-Izdat, 270 [in Ukrainian].
16. Rozhkov, A. O., Kalenska, S. M., & Puzik, L. M. (2016). *Doslidna sprava v ahronomiyi. Knyha druha. Statystychna obrobka rezultativ ahronomichnykh doslidzhen: navchalnyy posibnyk* [Research in agronomy. Book two. Statistical processing of agronomic research results: Educational manual]. Kharkiv: Maydan, 298 [in Ukrainian].
17. Khaliq, A., Abbasi, M. K., & Hussain, T. (2006). Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology*, 97, 967–972.
18. Etefa, O. F., Forsido, S. F., & Kebede, M. T. (2022). Postharvest loss, causes, and handling practices of fruits and vegetables in Ethiopia: Scoping review. *Journal of Horticultural Research*, 30(1), 1–10. <https://doi.org/10.2478/johr-2022-0002>.
19. Kovalov, M. M. (2022). Vplyv parametriv klimatozabezpechennya na vyroshchuvannya mikrozeleni v umovakh plivkovoyi teplytsi [Influence of climate control parameters on microgreen cultivation in film greenhouse conditions]. *Tavriyskyy naukovyy visnyk: Naukovyy zhurnal. Silskohospodarski nauky*, 126, 153–162. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.21> [in Ukrainian].
20. Kovalov, M. M. (2020). Vplyv ionnoho skladu pozhyvnoho sere dov yshcha na vyroshchuvannya remontantnykh sortiv polunytsi v hidroponnykh kolonakh [Influence

of ionic composition of nutrient medium on cultivation of remontant strawberry varieties in hydroponic columns]. *Tavriyskyy naukovyy visnyk: Naukovyy zhurnal. Silskohospodarski nauky*, 116, 104–111. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.13> [in Ukrainian].

Ковальов М.М., Сало Л.В., Васильковська К.В., Шевченко О.О. Вплив мікробіологічного препарату ЕМ Агро на формування зеленої маси кропу сорту Алігатор в умовах краплинного зрошення

У статті досліджується важливе питання підвищення продуктивності кропу сорту Алігатор в умовах краплинного зрошення, характерних для зони Північного Степу України, зокрема в Кіровоградській області. **Мета.** Визначити вплив мікробіологічного препарату ЕМ Агро на показники росту, розвитку та накопичення зеленої маси кропу сорту Алігатор в умовах краплинного зрошення для розробки екологічно безпечної технології підвищення продуктивності пряно-ароматичних культур. **Методи.** Польові досліді проводили протягом 2023–2024 років на базі Центральноукраїнського національного технічного університету на чорноземі типовому важкосуглинковому. Дослід закладено методом рандомізованих блоків у чотирикратній повторності з площею облікової ділянки 10 м². Схема досліду включала п'ять варіантів: контроль (краплинне зрошення), обробка насіння розчином ЕМ Агро (1:1000), обробка насіння + одноразове підживлення (1:500), обробка насіння + дворазове підживлення, триразове підживлення через систему зрошення. Використовували систему краплинного зрошення з підтриманням вологості ґрунту на рівні 80–85 % НВ. Проводили біометричні вимірювання, визначали урожайність, якісні показники продукції (вміст сухої речовини, аскорбінової кислоти, ефірних олій, нітратів). Статистичну обробку здійснювали методом дисперсійного аналізу. **Результати.** Застосування препарату ЕМ Агро забезпечило статистично достовірне покращення всіх біометричних показників. Найефективнішим виявився варіант з обробкою насіння та дворазовим підживленням, який забезпечив збільшення висоти рослин до 30,1 см (приріст 24,4 %), кількості листків до 17,3 шт./рослину (39,5 %), діаметра розетки до 24,2 см (30,8 %) та маси рослини до 23,8 г (41,7 %) порівняно з контролем. Максимальну урожайність зеленої маси 240,5 г/м² отримано при оптимальній схемі застосування, що на 70,1 г/м² або 41,1 % перевищує контроль. Покращились якісні характеристики: вміст сухої речовини збільшився на 20,9 %, аскорбінової кислоти на 29,4 %, ефірних олій на 50 %. Важливим є зниження вмісту нітратів на 23,4 %, що підвищує екологічну безпечність продукції. Економічний аналіз показав найвищу рентабельність додаткових витрат 687,6 % при чистому прибутку 6,12 грн/м². **Висновки.** Мікробіологічний препарат ЕМ Агро у поєднанні з краплинним зрошенням створює синергетичний ефект, значно підвищуючи продуктивність та якість зеленої маси кропу. Оптимальною є схема з обробкою насіння (1:1000) та дворазовим підживленням (1:500) на 10-й і 25-й дні після сходів. Технологія є високорентабельною та екологічно безпечною, що дозволяє рекомендувати її для широкого впровадження у виробництво зеленої продукції.

Ключові слова: біостимулятори росту, пряно-ароматичні рослини, система водозабезпечення, мікробні

інокулянти, урожайність, якість продукції, економічна ефективність, органічне землеробство.

Kovalov M.M., Salo L.V., Vasylovskaya K.V., Shevchenko O.O. Effect of microbiological preparation EM Agro on green mass formation of dill cultivar Alligator under drip irrigation conditions

The article investigates an important issue of enhancing productivity of dill cultivar Alligator under drip irrigation conditions typical for the Northern Steppe zone of Ukraine, particularly in the Kirovohrad region. **Objective.** To determine the effect of microbiological preparation EM Agro on growth, development parameters and green mass accumulation of dill cultivar Alligator under drip irrigation conditions for developing an environmentally safe technology to increase productivity of aromatic herb crops. **Methods.** Field experiments were conducted during 2023–2024 at Central Ukrainian National Technical University on typical heavy-loamy chernozem. The experiment was established using randomized complete block design with four replications and plot size of 10 m². The experimental scheme included five treatments: control (drip irrigation), seed treatment with EM Agro solution (1:1000), seed treatment + single fertigation (1:500), seed treatment + double fertigation, triple fertigation through irrigation system. Drip irrigation system was used maintaining soil moisture at 80–85 % field capacity. Biometric measurements were conducted, yield was determined, product quality parameters were assessed (dry matter content, ascorbic acid, essential oils, nitrates). Statistical processing was performed using analysis of variance. **Results.** Application of EM Agro preparation provided statistically significant improvement of all biometric parameters. The most effective treatment was seed treatment combined with double fertigation, which ensured plant height increase to 30.1 cm (24.4 % increase), leaf number to 17.3 per plant (39.5 %), rosette diameter to 24.2 cm (30.8 %) and plant weight to 23.8 g (41.7 %) compared to control. Maximum green mass yield of 240.5 g/m² was obtained with optimal application scheme, exceeding control by 70.1 g/m² or 41.1 %. Quality characteristics improved: dry matter content increased by 20.9 %, ascorbic acid by 29.4 %, essential oils by 50 %. Nitrate content reduction by 23.4 % is important for enhancing product ecological safety. Economic analysis showed the highest profitability of additional costs at 687.6 % with net profit of 6.12 UAH/m². **Findings.** Microbiological preparation EM Agro combined with drip irrigation creates synergistic effect, significantly enhancing productivity and quality of dill green mass. The optimal scheme involves seed treatment (1:1000) and double fertigation (1:500) on 10 th and 25 th days after emergence. The technology is highly profitable and environmentally safe, allowing its recommendation for wide implementation in leafy vegetable production.

Key words: plant growth biostimulants, aromatic herbs, water supply system, microbial inoculants, productivity, product quality, economic efficiency, sustainable agriculture.

Дата першого надходження рукопису до видання: 22.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 27.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025