

ПОРІВНЯЛЬНА ДІЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ СПЛУК НА ВМІСТ ЗЕЛЕНИХ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ТКАНИНАХ ЛИСТКІВ ТА УРОЖАЙНІСТЬ СУНИЦІ (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH.)

ГАВІЙ В.М. – кандидат біологічних наук, доцент

orcid.org/0000-0002-2604-0456

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя

ПАЛИВОДА Ю.М. – доктор філософії за спеціальністю 091 – Біологія

orcid.org/0000-0001-6544-3441

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя

Постановка проблеми. Суниця садова (*Fragaria ananassa* Duch.) є однією з найбільш поширених ягідних культур, яку вирощують у різних природно-кліматичних зонах України. Водночас найбільші площі її культивування зосереджені в зоні Полісся. Значне поширення цієї культури зумовлене високим рівнем адаптивності до різноманітних умов вирощування, значною продуктивністю, універсальністю використання плодів, а також дієтичними й лікувально-профілактичними властивостями свіжих ягід та продуктів їх переробки. Підвищення обсягів виробництва ягід суниці садової та задоволення зростаючого попиту на них значною мірою пов'язане із впровадженням нових високопродуктивних сортів і вдосконаленням сучасних технологій вирощування [1].

У сучасному сільськогосподарському виробництві важливим завданням є отримання високих урожаїв за раціонального використання ресурсів і мінімізації виробничих витрат. Одним із ефективних напрямів оптимізації агротехнологій є застосування регуляторів росту рослин, які активно використовуються в сучасному землеробстві [2]. Разом із тим інтенсифікація ягідництва часто супроводжується підвищенням норм внесення мінеральних добрив і застосуванням пестицидів з метою збільшення врожайності. Однак надмірне використання таких агрохімічних засобів може призводити до деградації ґрунтів, зниження біорізноманіття агроєкосистем, забруднення водних ресурсів та погіршення безпечності сільськогосподарської продукції [3]. У зв'язку з цим пошук ефективних і екологічно безпечних регуляторів росту рослин залишається одним із пріоритетних напрямів сучасних наукових досліджень у галузі світового аграрного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вченими з'ясовано, що формування врожаю сільськогосподарських культур значною мірою зумовлене інтенсивністю фотосинтетичних процесів, у ході яких відбувається перетворення сонячної енергії на енергію органічних речовин рослинної біомаси. Рівень фотосинтетичної активності рослин, зокрема суниці садової, є одним із важливих чинників, що визначають їхню продуктивність [4]. Накопичення сухої речовини рослинами та формування врожаю значною мірою залежать від комплексу

ґрунтово-кліматичних умов і раціонального застосування технологічних прийомів вирощування, які забезпечують тривале та ефективне функціонування листкового апарату [5; 6; 7].

Одним із важливих компонентів сучасних технологій вирощування ягідних культур, спрямованих на оптимізацію фізіологічних процесів та підвищення ефективності виробництва, є використання обробки коренів саджанців та листових обробок метаболічно активними сполуками. Такі речовини здатні впливати на перебіг фізіологічних і біохімічних процесів у рослинному організмі, регулювати метаболічні реакції та підвищувати інтенсивність фотосинтетичної діяльності рослин [8; 9]. У зв'язку з цим дослідження впливу метаболічно активних сполук на асиміляційні процеси рослин з метою підвищення їхньої продуктивності та покращення якості врожаю є актуальним науковим завданням.

Мета – вивчити вплив метаболічно активних сполук на вміст зелених фотосинтетичних пігментів у листках суниці садової та її урожайність за обробки коренів саджанців та рослин по листу.

Матеріали та методика досліджень. Об'єктом дослідження була суниця садова (*Fragaria ananassa* Duch.) сорту Маршал. Цей сорт є представником американської селекції та набув широкого поширення завдяки високому рівню адаптивності до умов вирощування та стабільній продуктивності. Плоди сорту Маршал характеризуються підвищеним умістом розчинних цукрів і біологічно активних речовин, що зумовлює їхню високу харчову та біологічну цінність [10].

Досліджуваний сорт добре пристосований до вирощування в різних ґрунтово-кліматичних умовах, у тому числі в регіонах Лісостепу та Полісся України. Рослини характеризуються відносною посухо- та морозостійкістю, а також достатньою стійкістю до основних хвороб і шкідників.

Висаджування саджанців у відкритий ґрунт здійснювали після попередньої обробки кореневої системи метаболічно активними сполуками. Листову обробку рослин суниці садової проводили навесні на другий рік після формування листкового апарату. Дослідження проводили на території навчально-дослідної агробіостанції



Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.

Для проведення обробки рослин суниці садової було застосовано такі варіанти досліджу:

1. контроль (суниці без обробки);
2. обробка розчином убіхінону-10 (10^{-8} M);
3. обробка розчином вітаміну Е (10^{-8} M)+убіхінон-10 (10^{-8} M);
4. обробка розчином Е (10^{-8} M)+метіонін (0,001%)+параоксисбензойна кислота (ПОБК) (0,001%);
5. обробка розчином вітаміну Е (10^{-8} M)+метіонін (0,001%)+параоксисбензойна кислота (ПОБК) (0,001%)+ $MgSO_4$ (0,001%).

Вміст суми хлорофілів *a* і *b* у тканинах листків суниці садової визначали за допомогою спектрофотометричного методу [17]. Вимірювання оптичної густини досліджуваних розчинів проводили спектрофотометрично при довжинах хвиль 665, 654 та 649 нм. Як розчин порівняння використовували етиловий спирт.

Статистичну та математичну обробку експериментальних даних здійснювали із застосуванням програмного пакета Microsoft Excel 16.0 for Windows. Оцінювання достовірності отриманих результатів проводили за *t*-критерієм Стьюдента при рівні статистичної значущості $p \leq 0,05$.

Результати досліджень. Фотосинтез є основним процесом, що забезпечує живлення рослинного організму та супроводжується синтезом первинної органічної речовини. Саме в ході фотосинтетичної діяльності формується та акумулюється близько 80–90 % сухої біомаси рослин. Наукові дослідження підтверджують, що рівень урожайності безпосередньо зумовлений біохімічними перетвореннями продуктів фотосинтезу. Важливу роль у перебігу цього процесу відіграють зелені фотосинтетичні пігменти – хлорофіли *a* і *b*, які беруть участь у поглинанні світлової енергії та водночас є чутливими індикаторами фізіологічного стану рослинного організму [4].

У фазу бутонізації рослин було проведено визначення вмісту хлорофілів *a* та *b* у тканинах листків суниці садової (табл. 1).

Установлено, що у фазу бутонізації вміст суми хлорофілів *a* та *b* у тканинах листків суниці садової в контрольному варіанті становив 1,28 мг/г сирої маси,

зокрема хлорофілу *a* – 0,85 мг/г сирої маси, а хлорофілу *b* – 0,43 мг/г сирої маси. Обробка рослин суниці по листу комбінацією метаболічно активних речовин вітаміну Е + метіонін + параоксисбензойна кислота (ПОБК) + $MgSO_4$ сприяла суттєвому підвищенню вмісту сумарних хлорофілів *a* і *b* до 2,56 мг/г сирої маси. Встановлено, що зазначена комбінація сполук позитивно впливала на синтез фотосинтетичних пігментів, забезпечуючи перевищення контрольних показників для хлорофілу *a* на 105,9 %, а для хлорофілу *b* – на 88,4 %. Високу стимулювальну активність щодо синтезу зелених фотосинтетичних пігментів у тканинах листків суниці садової в цій фазі розвитку також продемонстрували варіанти з обробкою рослин убіхіноном, а також комбінацією речовин вітаміну Е + убіхінон.

Дослідження показали, що у фазі цвітіння вміст зелених фотосинтетичних пігментів у тканинах листків суниці садової був вищим порівняно з показниками, отриманими у фазі бутонізації. Зокрема, у контрольному варіанті вміст суми хлорофілів *a* та *b* становив 1,56 мг/г сирої маси, при цьому частка хлорофілу *a* дорівнювала 1,16 мг/г сирої маси, а хлорофілу *b* – 0,40 мг/г сирої маси. Проведення обробки коренів саджанців та рослин по листу комбінацією метаболічно активних речовин вітаміну Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$ зумовило зростання вмісту суми хлорофілів *a* та *b* до 2,58 мг/г сирої маси, що перевищувало контрольні значення на 65,4 % (табл. 2). Крім того, застосування зазначеної композиції сприяло інтенсивнішому утворенню окремих форм хлорофілу: вміст хлорофілу *a* перевищував контроль на 54,3 %, тоді як концентрація хлорофілу *b* була більшою на 97,5 % відповідно.

Високу ефективність щодо інтенсифікації синтезу зелених фотосинтетичних пігментів у тканинах листків суниці садової продемонструвала також і комбінація вітаміну Е + убіхінон.

Отримані результати можуть бути зумовлені біологічною активністю компонентів досліджуваних композицій та оптимальними концентраціями застосованих речовин. Зокрема, вітаміну Е (токоферол) є потужним антиоксидантом, який у рослинних організмах виконує важливу функцію елемента захисної системи від окиснювального стресу [12]. Убіхінон бере активну участь у метаболічних процесах рослинного організму,

Таблиця 1

Вміст хлорофілів у тканинах листків суниці садової у фазі бутонізації за обробки коренів саджанців та рослин по листу метаболічно активними речовинами та їх комбінаціями

Варіант	Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>		Вміст хлорофілу <i>a</i>		Вміст хлорофілу <i>b</i>	
	мг/г сирої маси	% до контролю	мг/г сирої маси	% до контролю	мг/г сирої маси	% до контролю
Контроль	1,28 ± 0,12	100,0	0,85 ± 0,05	100,0	0,43 ± 0,02	100,0
Вітаміну Е + убіхінон-10	1,43 ± 0,18*	111,7	1,08 ± 0,07*	127,0	0,35 ± 0,04	83,3
Убіхінон-10	1,48 ± 0,11*	115,6	1,04 ± 0,05*	164,7	0,44 ± 0,02	97,8
Вітаміну Е + метіонін + ПОБК	1,31 ± 0,18*	102,3	0,91 ± 0,06*	107,1	0,40 ± 0,07	93,0
Вітаміну Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$	2,56 ± 0,12*	200,0	1,75 ± 0,04	205,9	0,81 ± 0,02*	188,4

*Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ($p < 0,05$)

Таблиця 2

Вміст хлорофілів у тканинах листків суниці садової у фазі цвітіння за обробки коренів саджанців та рослин по листу метаболічно активними речовинами та їх комбінаціями

Варіант	Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>		Вміст хлорофілу <i>a</i>		Вміст хлорофілу <i>b</i>	
	мг/г сирової маси	% до контролю	мг/г сирової маси	% до контролю	мг/г сирової маси	% до контролю
Контроль	1,56 ± 0,12	100,0	1,16 ± 0,05	100,0	0,40 ± 0,02	100,0
Вітамін Е+ убіхінон-10	2,76 ± 0,18*	176,9	2,07 ± 0,07*	178,4	0,69 ± 0,04*	172,1
Убіхінон-10	1,98 ± 0,11*	126,9	1,54 ± 0,05*	132,7	0,44 ± 0,02*	110,0
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	1,73 ± 0,12*	110,9	1,32 ± 0,04*	113,8	0,41 ± 0,03	102,5
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	2,58 ± 0,18*	165,4	1,79 ± 0,06*	154,3	0,79 ± 0,07*	197,5

* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ($p < 0,05$)

Таблиця 3

Урожайність суниці садової за обробки коренів саджанців та рослин по листу метаболічно активними речовинами та їх комбінаціями

Варіант	Урожайність, т/га	% до контролю
Вітамін Е+ убіхінон	9,1 ± 0,63	122,9
Убіхінон	8,8 ± 0,65*	118,9
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	8,5 ± 0,76	114,9
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	9,2 ± 0,60*	124,3
Контроль	7,4 ± 0,46	100

*Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ($p < 0,05$)

проявляє антиоксидантні властивості, а також залучений до регуляції експресії генів і передачі внутрішньоклітинних сигналів [13]. Поряд із пластохіноном ця сполука бере участь у процесах фотофосфорильовання та окиснювального фосфорильовання, що відбуваються відповідно у тилакоїдах хлоропластів і на внутрішній мембрані мітохондрій. Крім того, встановлено, що вітамін Е (α -токоферилацетат) і убіхінон можуть проявляти імуностимулювальну дію, а також характеризуються антифітотівусною та антибактеріальною активністю [12]. Параоксibenзойна кислота відзначається вираженими антимікробними властивостями та здатністю пригнічувати розвиток бактерій, цвілевих і інших грибів. Водночас ця сполука поєднує функції сигнального посередника та стресового фітогормону [14]. Метіонін, у свою чергу, є важливим попередником у біосинтезі фітогормонів росту [15]. Додатковим джерелом мінерального живлення рослин є сульфат магнію, який забезпечує надходження магнію – одного з ключових елементів фотосинтетичного апарату. Магній входить до складу молекули хлорофілу, впливає на інтенсивність фотосинтетичних процесів, бере участь у транспорті фосфору та регуляції вуглеводного обміну, активізує окисно-відновні реакції, входить до складу фітину й пектинових речовин, стимулює ферментативну активність і регулює колоїдно-хімічний стан протоплазми клітин [16].

Важливим інтегральним показником ефективності досліджуваних елементів технології вирощування сільськогосподарських культур є рівень урожайності. Відомо, що 90–95 % урожаю формується у листках у результаті фотосинтетичної діяльності, інтенсивність

якої змінюється впродовж вегетаційного періоду та залежить від біологічних особливостей культури, сорту, віку рослин, а також умов зовнішнього середовища [4].

Результати проведених досліджень показали, що обробка коренів саджанців та рослин по листу метаболічно активними речовинами сприяла підвищенню врожайності суниці садової на 14,9–24,3 %. Найвищий рівень урожайності було зафіксовано у варіанті із застосуванням комбінації вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄, де цей показник становив 9,2 т/га, що перевищувало контрольний варіант на 24,3 % (табл. 3).

Висновки.

1. Установлено, що вміст хлорофілу в листках рослин суниці садової залишався на високому рівні протягом усіх досліджуваних фаз розвитку. Поєднання обробки коренів саджанців та обробки рослин по листу на другий рік після посадки комбінаціями речовин Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄, Вітамін Е + убіхінон, препаратом Убіхінон забезпечила збільшення вмісту суми хлорофілів *a* і *b*, вмісту хлорофілу *a* та вмісту хлорофілу *b* у тканинах листків суниці садової.

2. Найвищі показники врожайності суниці садової за умов поєднання обробки коренів саджанців і листової обробки рослин на другий рік після висаджування були характерні для варіанту із застосуванням композиції вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄.

3. Досліджувані комбінації метаболічно активних сполук вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO₄ та вітамін Е + убіхінон продемонстрували високу біологічну ефективність і можуть бути рекомендовані для використання в технологіях вирощування суниці садової з метою підвищення її продуктивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Силаева А. М., Спірочкіна М. М. Вплив регуляторів росту Епін™ та Емістим С на продуктивність насаджень і якість плодів садової суниці (*Fragaria ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier). *Plant varieties studying and protection*, 2015. 3–4 (28–29). С. 56–60.
2. Кречківська Г.В., Коссак Г.М., Павлишак Я.Я. Дослідження впливу регуляторів росту на культивування різних сортів суниці мускусної (*Fragaria moschata*) в умовах Передкарпаття. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 5. С. 27–30.
3. Роль мікробіоти у формуванні родючості ґрунтів та оптимізації аграрного виробництва. *Чернігівщина аграрна*. 2024. № 43. С. 23–28.
4. Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021, том 53, № 2. С. 160–184.
5. Болобон Н.М. Вплив ґрунтово-кліматичних умов на урожайність суниці садової (*Fragaria ananassa* L.). *Садівництво*. 2023. Вип. 78. С. 26–31. DOI: 10.35205/0558-1125-2023-78-26-31.
6. Буцик Р.М. Продуктивність суниці залежно від мульчування ґрунту різними матеріалами. *Автохтонні та інтродуковані рослини*. 2015. Вип. 11. С. 73–78.
7. Карпенко В.П., Бурлай О.Л., Буцик Р.М., Майборода В.М. Продуктивність суниці садової за різних технологій вирощування. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2019. Вип. 95. Частина 1. С. 116–127. DOI: 10.31395/2415-8240-2019-95-1-116-127.
8. Юлія Миколаївна Паливода, Валентина Миколаївна Гавій. Активність фотосинтетичного апарату та ферментів антиоксидантної системи проростків пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) за умов водного дефіциту за обробки насіння метаболічно активними речовинами. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія та біологія*. 2025. Том 59. № 1 (2025). С. 92–99.
9. Гавій В.М., Кучменко О.Б., Козючко-Головач А.Г. Фотосинтетичні показники та урожайність сої за передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2025. Вип.1 (15). С. 55–62.
10. Полуниця "Маршал" сорт (середньораннього терміну дозрівання) URL: surl.li/aqujqc
11. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрономічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
12. Ji Q., Javed M., Haider M., Habib N., Rizwan M., Perveen R., Ali S., Alyemeni M., El-Serehy H., Al-Misned F. α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in Maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*. 2020. Vol. 10 (9). P. 1235.
13. Liu M., Lu S. Plastoquinone and ubiquinone in plants: Biosynthesis, physiological function and metabolic engineering. *Front Plant Sci*. 2016. Vol. 7. P. 1898.
14. Cho J.-Y., Moon J.-H., Seong K.-Y., Park K.-H. Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2008. № 62(11). P. 2273–2276.
15. Roje S. S-Adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*, 2006. № 67. P. 1686–1698.
16. Azizi K., Yaghobi M., Hidary S., Chaeichi M. R., Roham R. Effects of different methods of magnesium sulphate application on qualitative and quantitative yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars under Khorramabad climatic conditions of Iran. *Res. Crops*, 2011. № 12. P. 103–111.

REFERENCES:

1. Syliaeva, A. M., & Spirochkina, M. M. (2015). Vplyv rehuliatoriv rostu Epin™ ta Emistym S na produktyvnist nasadzen i yakist plodiv sadovoi sunytsi (*Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) [Effect of growth regulators Epin™ and Emistim S on productivity of plantings and fruit quality of garden strawberry]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 3–4(28–29), 56–60. [in Ukrainian].
2. Krechivska, H. V., Kossak, H. M., & Pavlyshak, Ya. Ya. (2018). Doslidzhennia vplyvu rehuliatoriv rostu na kultyvuvannia riznykh sortiv sunytsi muskousnoi (*Fragaria moschata*) v umovakh Peredkarpattia [Study of the influence of growth regulators on cultivation of different varieties of musk strawberry (*Fragaria moschata*) in the conditions of the Precarpathian region]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 28(5), 27–30. [in Ukrainian].
3. Rol mikrobyoty u formuvanni rodiuchosti gruntiv ta optymizatsii aharnoho vyrobnytstva [The role of microbiota in soil fertility formation and optimization of agricultural production]. *Chernihivshchyna aharna*, 43, 23–28. [in Ukrainian].
4. Stasyk, O. O., Kirizii, D. A., & Priadkina, H. O. (2021). Fotosyntezy i produktyvnist: osnovni naukovy dosiahnennia ta innovatsiini rozrobky [Photosynthesis and productivity: Major scientific achievements and innovative developments]. *Fiziolohiia Roslyn i Henetyka*, 53(2), 160–184. [in Ukrainian].
5. Bolobon, N. M. (2023). Vplyv gruntovo-klimatychnykh umov na urozhainist sunytsi sadovoi (*Fragaria ananassa* L.) [Influence of soil and climatic conditions on yield of garden strawberry (*Fragaria ananassa* L.)]. *Sadivnytstvo*, 78, 26–31. <https://doi.org/10.35205/0558-1125-2023-78-26-31>. [in Ukrainian].
6. Butsyk, R. M. (2015). Produktyvnist sunytsi zalezno vid mulchu-vannia gruntu riznyymi materialamy [Productivity of strawberry depending on soil mulching with different materials]. *Avtokhtonni ta Introdukovani Roslyny*, 11, 73–78. [in Ukrainian].
7. Karpenko, V. P., Burliai, O. L., Butsyk, R. M., & Maiboroda, V. M. (2019). Produktyvnist sunytsi sadovoiza riznykh tekhnolohii vyroshchuvannia [Productivity of garden strawberry under different cultivation technologies]. *Zbirnyk Naukovykh Prats Umanskoho Natsionalnoho Universytetu Sadivnytstva*, 95(1), 116–127. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2019-95-1-116-127>. [in Ukrainian].
8. Palyvoda, Yu. M., & Havii, V. M. (2025). Aktyvnist fotosyntetichnoho aparatu ta fermentiv antyoksydantnoi systemy prorstkiv pshenytsi miakoi (*Triticum aestivum* L.) za umov vodnoho defitsytu za obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy [Activity of the photosynthetic apparatus and antioxidant system enzymes of soft wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) under water

- deficit conditions after seed treatment with metabolically active substances]. *Visnyk Sumskoho Natsionalnoho Ahrramoho Universytetu. Seriya: Ahronomiia ta Biolohiia*, 59(1), 92–99. [in Ukrainian].
9. Havii, V. M., Kuchmenko, O. B., & Koziuchko-Holovach, A. H. (2025). Fotosyntetychni pokaznyky ta urozhainist soi za peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rehovynamy [Photosynthetic indicators and soybean yield under pre-sowing seed treatment with metabolically active substances]. *Zemlerobstvo ta Roslynnystvo: Teoriia i Praktyka*, 1(15), 55–62. [in Ukrainian].
 10. Polunytisia “Marshal” sort (serednoran-noho terminu dozrivannia) [Strawberry cultivar “Marshal” (medium-early ripening)]. URL: <https://surl.li/aqyjpc> [in Ukrainian].
 11. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Metody biolohichnykh ta ahronomichnykh doslidzhen roslyn i gruntiv* [Methods of biological and agronomic research of plants and soils]. Kyiv: Nichlava. [in Ukrainian].
 12. Li, Q., Javed, M., Haider, M., Habib, N., Rizwan, M., Perveen, R., Ali, S., Alyemeni, M., El-Serehy, H., & Al-Misned, F. (2020). α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*, 10(9), 1235.
 13. Liu, M., & Lu, S. (2016). Plastoquinone and ubiquinone in plants: Biosynthesis, physiological function and metabolic engineering. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1898.
 14. Cho, J.-Y., Moon, J.-H., Seong, K.-Y., & Park, K.-H. (2008). Antimicrobial activity of 4-hydroxybenzoic acid and trans-4-hydroxycinnamic acid isolated and identified from rice hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 62(11), 2273–2276.
 15. Roje, S. (2006). S-adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*, 67, 1686–1698.
 16. Azizi, K., Yaghobi, M., Hidary, S., Chaeichi, M. R., & Roham, R. (2011). Effects of different methods of magnesium sulphate application on qualitative and quantitative yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars under Khorramabad climatic conditions of Iran. *Research on Crops*, 12, 103–111.

Гавій В.М., Паливода Ю.М. Порівняльна дія метаболічно активних сполук на вміст зелених фотосинтетичних пігментів у тканинах листків та урожайність суниці (*Fragaria ananassa* Duch.)

Одним із важливих компонентів сучасних технологій вирощування ягідних культур, спрямованих на оптимізацію фізіологічних процесів та підвищення ефективності виробництва, є використання обробки коренів саджанців та рослин по листу метаболічно активними сполуками. **Мета.** Вивчити вплив метаболічно активних сполук на вміст зелених фотосинтетичних пігментів у листках суниці садової та її урожайність за обробки коренів саджанців та рослин по листу. **Методи.** Польові дослідження проводили згідно методики польових дослідів. Біохімічні методи використовували для дослідження вмісту хлорофілів а і b у тканинах листків суниці. Статистичну обробку результатів виконували методами математичної статистики із застосуванням пакета

«Аналіз даних» MS Excel 2016 та критерію Стьюдента. **Результати.** Використання комбінацій вітамін Е + параоксibenзойна кислота + метіонін + $MgSO_4$, вітамін Е + убіхінон-10 та убіхінону для обробки суниці призводило до підвищення вмісту суми хлорофілів а і b, вмісту хлорофілу а та вмісту хлорофілу b в тканинах листків у фазу бутонізації та цвітіння. Обробка коренів саджанців та рослин по листу метаболічно активними речовинами сприяла підвищенню врожайності суниці садової на 14,9–24,3 %. Найвищий рівень урожайності було зафіксовано у варіанті із застосуванням комбінації вітамін Е + метіонін + параоксibenзойна кислота + $MgSO_4$, де цей показник перевищив контрольний варіант на 24,3 %. **Висновки.** Вміст хлорофілу в листках рослин суниці садової залишався на високому рівні протягом усіх досліджуваних фаз розвитку. Поєднання обробки коренів саджанців та обробки рослин по листу на другий рік після посадки комбінаціями речовин Вітамін Е + метіонін + параоксibenзойна кислота + $MgSO_4$, Вітамін Е + убіхінон, препаратом Убіхінон забезпечила збільшення вмісту суми хлорофілів а і b, вмісту хлорофілу а та вмісту хлорофілу b у тканинах листків суниці садової. Найвищі показники врожайності суниці садової були характерні для варіанту із застосуванням композиції вітамін Е + метіонін + параоксibenзойна кислота + $MgSO_4$. Досліджувані комбінації метаболічно активних сполук вітамін Е + метіонін + параоксibenзойна кислота + $MgSO_4$ та вітамін Е + убіхінон продемонстрували високу біологічну ефективність і можуть бути рекомендовані для використання в технологіях вирощування суниці садової з метою підвищення її продуктивності.

Ключові слова: суниця садова, вітамін Е, убіхінон-10, метіонін, параоксibenзойна кислота, $MgSO_4$, сума хлорофілів а і b.

Havii V.M., Palyvoda Yu.M. Comparative effects of metabolically active compounds on the content of green photosynthetic pigments in leaf tissues and the yield of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.)

One of the important components of modern technologies for berry crop cultivation aimed at optimizing physiological processes and improving production efficiency is the application of metabolically active compounds for seedling root treatment and foliar spraying of plants. **Purpose.** To investigate the effect of metabolically active compounds on the content of green photosynthetic pigments in the leaves of garden strawberry and its yield when applied through seedling root treatment and foliar spraying of plants.

Methods. Field experiments were conducted according to the methodology of field trials. Biochemical methods were used to determine the content of chlorophylls a and b in strawberry leaf tissues. Statistical processing of the obtained results was carried out using methods of mathematical statistics with the application of the Data Analysis package in MS Excel 2016 and Student's t-test.

Results. The use of combinations vitamin E + p-hydroxybenzoic acid + methionine + $MgSO_4$, vitamin E + ubiquinone-10, and ubiquinone for strawberry treatment led to an increase in the total chlorophyll (a + b) content, as well as in the individual contents of chlorophyll a and chlorophyll b in leaf tissues during the budding and flowering stages. Seedling root treatment combined with foliar application of metabolically active compounds contributed to an increase in strawberry yield by 14.9–24.3%. The highest yield was recorded in the variant with the application of the combination vitamin E + methionine

+ p-hydroxybenzoic acid + MgSO₄, where this indicator exceeded the control by 24.3%.

Conclusions. The chlorophyll content in the leaves of garden strawberry plants remained high throughout all studied developmental stages. The combined treatment of seedling roots and foliar application of metabolically active compounds in the second year after planting, namely vitamin E + methionine + p-hydroxybenzoic acid + MgSO₄, vitamin E + ubiquinone, and ubiquinone, ensured an increase in the total chlorophyll (a + b) content, as well as in the contents of chlorophyll a and chlorophyll b in strawberry

leaf tissues. The highest yield of garden strawberry was observed in the treatment with the composition vitamin E + methionine + p-hydroxybenzoic acid + MgSO₄. The studied combinations of metabolically active compounds vitamin E + methionine + p-hydroxybenzoic acid + MgSO₄ and vitamin E + ubiquinone demonstrated high biological efficiency and may be recommended for use in strawberry cultivation technologies in order to increase crop productivity.

Key words: garden strawberry, vitamin E, ubiquinone-10, methionine, p-hydroxybenzoic acid, MgSO₄, total chlorophyll a + b.

Дата першого надходження статті до видання: 03.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026