УДК 581.192.1

БІОХІМІЧНИЙ СКЛАД ЯГІД СУНИЦІ САДОВОЇ *FRAGARIA ANANASSA* DUCH. ЗА ЛИСТОВОЇ ОБРОБКИ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ СПОЛУКАМИ

Паливода Юлія Миколаївна
доктор філософії, викладач
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин, Україна
ORCID: 0000-0001-6544-3441
yulia.palivoda@gmail.com

Гавій Валентина Миколаївна
кандидат біологічних наук, доцент
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин, Україна
ORCID: 0000-0002-2804-0456
gaviyv@gmai.com

Суниця садова (F.ananassa) належить до одних із найпоширеніших і найцінніших ягідних культур у світі завдяки своїм винятковим смаковим характеристикам, ранньому періоду достигання та високому вмісту біологічно активних речовин. Ягоди цієї культури мають багатий біохімічний склад, зокрема значну кількість цукрів, органічних кислот, вітамінів (особливо аскорбінової кислоти) та мінеральних речовин. Такий склад визначає їхню високу поживну, дієтичну та лікувально-профілактичну цінність. У сучасних умовах попит на ягоди суниці постійно зростає не тільки через їх врожайність, а й через необхідність забезпечення високої якості, безпечності та функціональної цінності продукції.

Однак інтенсифікація ягідництва, зміни клімату, а також вплив абіотичних і біотичних стресових факторів негативно відображаються на фізіолого-біохімічних процесах у рослинах суниці. Це може погіршувати якість отримуваної продукції. У цьому контексті особливого значення набуває пошук екологічно безпечних і дієвих агротехнічних засобів, спрямованих на регуляцію метаболічних процесів рослин і підвищення поживної цінності ягід. Перспективним напрямом є застосування листової обробки рослин метаболічно активними сполуками, що здатні посилювати фотосинтез, стимулювати вуглеводний обмін і активізувати антиоксидантні процеси.

У статті наведено дані порівняльного аналізу впливу таких метаболічно активних сполук на концентрацію цукрів та вміст аскорбінової кислоти у плодах суниці садової.

Дослідження показали, що листова обробка суниці садової розчинами метаболічно активних сполук ефективно стимулює синтез аскорбінової кислоти та накопичення її в тканинах ягід, а також сприяє підвищенню рівня розчинних цукрів у ягодах суниці.

З'ясовано, що листова обробка суниці садової розчином вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$ збільшила вміст аскорбінової кислоти та вміст моносахаридів в ягодах. Найвищий показник ефективності впливу на вміст дисахаридів в ягодах суниці садової має листова обробка розчином вітамін Е+убіхінон-10.

Ключові слова: *метаболічно активні сполуки, суниця, аскорбінова кислота, моносахариди, дисахариди.*

DOI https://doi.org/10.32782/agrobio.2026.1.16

Вступ. Ягідні та плодові культури посідають важливе місце у структурі харчових продуктів, серед яких особливу роль відіграє суниця садова. На сьогодні вона є лідером за обсягами світового виробництва ягід. В Україні площа вирощування суниці садової становить близько 8,2 тис. га (Spirochkina, 2021). Ягоди суниці характеризуються високими смаковими якостями, приємним ароматом та цінними дієтичними властивостями, завдяки високому вмісту вітамінів, мінеральних елементів, цукрів, органічних кислот та інших біологічно активних сполук. Сукупність цих компонентів забезпечує потужний лікувально-профілактичний ефект. Популярність суниці зумовлена також тим, що за допомогою різноманіття сортів і сучасних агротехнічних методів, її плоди можна споживати у свіжому вигляді протягом року. Завдяки цим перевагам, суниця є найпоширенішою та економічно привабливою серед ягідних культур в Україні.

У контексті сільськогосподарського виробництва ключовою метою є досягнення високих урожаїв за умов раціонального використання ресурсів. Підвищити врожайність можливо завдяки використанню продуктивних сортів та застосуванню сучасних методів культивації, які базуються на традиційних підходах до виробництва, таких як мінеральне удобрення. Воно сприяє ефективному поповненню нестачі поживних речовин у ґрунті і має численні переваги, зокрема швидке та результативне відновлення макроелементів у ґрунтовому середовищі (Hamedi et al., 2022). Це вкрай важливо для забезпечення масштабного виробництва рослинної продукції у відповідь на швидке зростання чисельності споживачів у світі.

Однак тривале й інтенсивне використання мінеральних добрив, особливо азотних, може мати негативний вплив на природні екосистеми або навіть знижувати родючість ґрунту. Це пов'язано із зменшенням вмісту гумінових кислот, підвищенням кислотності ґрунту, його ущільненням, порушенням балансу та доступності поживних речовин, а також зміною складу ґрунтових мікроорганізмів (Dutta et al., 2022).

В умовах сьогодення зростає усвідомлення необхідності трансформації існуючих підходів до сільського господарства та садівничого виробництва. Це передбачає зниження доз використання добрив і засобів захисту рослин або ж їх заміну на альтернативні, безпечні для здоров'я людини та довкілля рішення. Одним із таких варіантів є впровадження біостимуляторів, які можуть стати ефективною альтернативою традиційним методам.

Одним із перспективних підходів є використання листових обробок біостимуляторами, що можуть впливати на фізіологічні та біохімічні процеси в рослині, регулюючи метаболізм, покращуючи фотосинтетичну активність, транспорт асимілянтів та синтез вторинних метаболітів. Дослідження останніх років показують, що листові обробки суниці біостимуляторами здатні підвищувати врожайність і покращувати якісні показники ягід суниці, такі як вміст та співвідношення розчинних цукрів, вміст органічних кислот, вітамінів тощо (Zydlik et al., 2024).

Вчені Ірану (Asghari & Aghdam, 2010), Китаю (Sun et al., 2015) та Італії (Colla et al., 2017) досліджуючи вплив біологічно активних речовин природного походження, таких як саліцилова кислота, мелатонін та амінокислоти, встановили збільшення вмісту аскорбінової кислоти в плодах та ягодах. Їх вплив пов'язаний із активацією антиоксидантної системи, стимулюванням синтезу аскорбату та уповільненням його розпаду під час дозрівання і зберігання врожаю. Китайські вчені (Miao et al., 2007)досліджували вплив позакореневої обробки рослин суниці біостимуляторами в умовах абіотичного стресу та їх здатність впливати на якісні показники ягід. Дослідження із застосуванням листової обробки розчинами NaCl низької концентрації значно збільшило вагу, розмір, колір, вміст розчинного цукру (глюкози, фруктози та сахарози) та синтез вторинних метаболітів (аскорбінової кислоти, фенолів та флавоноїдів) плодів суниці (Lu et al., 2025; Ciriello et al., 2025).

В сучасній науці суттєва увага приділяється дослідженню дії метаболічно активних сполук на фізіолого-біохімічні властивості рослинних організмів. Так, було встановлено, що метаболічно активні речовини мають позитивний влив на підвищення вмісту білків, вуглеводів, вітамінів у зернових та зернобобових культурах (Kurylenko & Kuchmenko, 2022; Koziuchko & Havii, 2022). Окрім того, метаболічно активні сполуки в умовах впливу абіотичних чинників довкілля проявляють антиоксидантні властивості та полегшують їх вплив на рослини (Palyvoda & Havii, 2023). Щороку дослідники вивчають нові властивості цих речовин та перспективи їхнього застосування в агровиробництві.

Таким чином, пошук метаболічно активних речовин, які можуть впливати на біохімічний склад ягід, є актуальним завданням сучасної науки.

Метою цієї роботи є дослідження впливу листової обробки метаболічно активними сполуками на біохімічний склад ягід суниці садової.

Матеріали і методи досліджень. Для проведення дослідження нами була обрана суниця садова *(F. ananassa)* сорту Маршал. Цей сорт суниці є представником американської селекції, який здобув значну популярність завдяки своїм високим адаптивним властивостям і стабільній врожайності. Ягоди суниці садової сорту Маршал вирізняються підвищеним вмістом розчинних цукрів і біологічно активних речовин, що забезпечує їм високу харчову цінність.

Досліджуваний сорт суниці добре адаптований до вирощування в різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах, зокрема і в регіонах Лісостепу та Полісся України. Він має відносну посухо- та морозостійкість та стійкий до хвороб і шкідників.

Листкову обробку суниці садової здійснювали одноразово у безвітряну погоду навесні в умовах відкритого ґрунту. Дослідження проводили на підготовленій ділянці навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. На ділянці було висаджено 100 саджанців, розміщених у 5 рядах по 20 рослин у кожному.

Для листової обробки суниці нами були використані наступні варіанти:

1) контроль (суниці без обробки);

2) листова обробка суниці розчином убіхінон-10 (10^{-8}М);

3) листова обробка суниці розчином вітамін Е (10^{-8}М)+убіхінон-10 (10^{-8}М);

4) листова обробка суниці розчином вітамін Е (10^{-8}М)+метіонін (0,001%)+параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001%);

5) листова обробка суниці розчином вітамін Е (10^{-8}М)+метіонін (0,001%)+ПОБК (0,001%)+$MgSO_4$ (0,001%).

У вказаних концентраціях метаболічно активні сполуки продемонстрували високу ефективність у підвищенні вмісту цукрів у моркві (Pryplavko et al., 2023) та аскорбату в проростках пшениці за умов посухи (Havii et al., 2025).

Експериментальні дослідження біохімічного складу ягід суниці садової (*F. ananassa*) проводили у навчально-науковій лабораторії з біохімічних та медико-валеологічних досліджень Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Для проведення дослідження обирали стиглі ягоди суниці без пошкоджень.

Вміст аскорбінової кислоти в тканинах ягід суниці визначали спектрофотометричним методом (Hewitt & Dickes, 1961). Оптичну густину розчину вимірювали за довжини хвилі 265 нм. Вміст аскорбінової кислоти (вітаміну С) виражали у ммоль/г сирої маси.

Вміст розчинних цукрів у тканинах ягід суниці визначали спектрофотометричним методом (Kopylchuk & Nykolaichuk, 2019). Дослідження передбачало визначення вмісту моно- та дисахаридів. Отримані результати виражали у мкг/г сирої маси.

Дослідження проводилися у чотирикратній повторності.

Обробка експериментальних даних здійснено із застосуванням методів математичної статистики, використовуючи стандартні функції спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel 2010 (пакет

«Аналіз даних»). Статистична оцінка проводилась за t – критерієм Стьюдента при рівні значимості p ≤ 0,05.

Результати досліджень. Цукри та аскорбінова кислота є одними із основних біохімічних складових ягід суниці, які значною мірою впливають на їхню поживну, енергетичну та біологічну цінність. Водночас ці компоненти слугують індикаторами інтенсивності метаболічних процесів і ступеня фізіологічної активності рослин (Zamorska & Khudik, 2022).

Аскорбінова кислота є важливим антиоксидантом і показником фізіологічного стану рослин. Рівень накопичення цієї речовини у рослинних тканинах визначається генотипом, інтенсивністю фотосинтезу, забезпеченням мінеральними елементами живлення, світловими умовами, температурою та водним балансом. У плодах ягідних культур, зокрема садової суниці, вміст аскорбінової кислоти залежить також від ступеня стиглості, оскільки її синтез тісно пов'язаний із вуглеводним обміном і трансформацією гексоз (Newerli-Guz et al., 2023).

У таблиці 1 представлено вплив метаболічно активних сполук на вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці садової.

Результати досліджень впливу листової обробки метаболічно активними сполуками на суницю свідчать про позитивну дію усіх досліджуваних варіантів на концентрацію аскорбінової кислоти в ягодах, що перевищує відповідні значення контрольного варіанту. Найвищу ефективність було зафіксовано у варіанті застосування листової обробки розчином вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$, яка сприяла зростанню вмісту аскорбінової кислоти в тканинах ягід на 75,4% порівняно з контролем. Високий рівень збільшення також спостерігався при використанні розчину вітамін Е+ метіонін+ПОБК, який перевищував контрольні показники на 44,7%. Листові обробки розчинами убіхінон-10 та вітамін Е+убіхінон-10 збільшили вміст аскорбінової кислоти на 29% та 21,1% відповідно, у порівнянні з контролем.

Невід'ємною складовою будь-якої рослинної тканини виступають розчинні цукри. Вміст цукрів у ягодах суниці садової є ключовим показником якості, який відображає рівень фотосинтетичної активності та ефективність транспорту асимілянтів. Він чутливо реагує на мінеральне живлення, використання біологічно активних речовин і вплив стресових факторів (Bulgari et al., 2019). Цукри виконують роль основних осмотично-активних компонентів, що впливають на тургор клітин плодів, а також слугують метаболічними попередниками для утворення органічних кислот, фенольних сполук і аскорбінової кислоти (Fenech et al., 2019). У стиглих ягодах суниці садової основними цукрами є моносахариди, тоді як вміст сахарози зазвичай значно менший.

У таблиці 2 представлено результати дослідження впливу метаболічно активних сполук на вміст моносахаридів у ягодах суниці садової.

Результати досліджень щодо впливу листової обробки суниці метаболічно активними сполуками показують позитивний вплив всіх досліджуваних варіантів на вміст моносахаридів у тканинах ягід, значення якого перевищує показники контрольного варіанту. Максимальний вміст моносахаридів було отримано за листової обробки розчином вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$, що перевищив показники контролю на 63,1%. Високий показник вмісту моносахаридів був відмічений і у варіанті обробки розчином вітамін Е+метіонін+ПОБК, перевищуючи контрольний показник на 54,5%. Листова обробка суниці розчином вітамін Е+убіхінон-10 та розчином убіхінон-10

Таблиця 1

Вміст аскорбінової кислоти у ягодах суниці садової *(F. ananassa)* сорту Маршал за листової обробки метаболічно активними сполуками

Варіанти досліду	Вміст аскорбінової кислоти, ммоль/г сирої маси	% до контролю
контроль	11,4±0,1	100,0
убіхінон-10	14,7±0,4*	129,0
вітамін Е+убіхінон-10	13,8±0,4*	121,1
вітамін Е+метіонін+ПОБК	16,5±0,2*	144,7
вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$	20,0±0,3*	175,4

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

Таблиця 2

Вміст моносахаридів у ягодах суниці садової (*F. ananassa*) сорту Маршал за листової обробки метаболічно активними сполуками

Варіанти досліду	Вміст моносахаридів, мкг/г сирої маси	% до контролю
контроль	2,33±0,23	100
убіхінон-10	3,13±0,23*	134,3
вітамін Е+убіхінон-10	3,33±0,13*	142,9
вітамін Е + метіонін + ПОБК	3,60±0,35*	154,5
вітамін Е + метіонін + ПОБК+ $MgSO_4$	3,80±0,05*	163,1

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

збільшили вміст моносахаридів на 42,9% та 34,3% відповідно, порівняно з контролем.

У ягодах вміст дисахаридів зазвичай є незначним або взагалі відсутнім (Zhong et al., 2023). Дисахариди виступають головною транспортною формою вуглеводів у рослинах. Головним дисахаридом, що міститься в ягодах, є сахароза. У процесі росту та дозрівання ягід вміст сахарози змінюється. На початкових стадіях вона може домінувати як транспортна форма вуглеводів, тоді як у період активного достигання ягід під впливом ферментів сахарази та інвертази, сахароза розщеплюється на глюкозу та фруктозу. Використання метаболічно активних сполук дає змогу контролювати рівень дисахаридів у ягодах, впливаючи на процеси транспорту, ферментативного обміну та осмотичної регуляції.

У таблиці 3 представлено результати дослідження впливу листової обробки суниці садової метаболічно активними сполуками на вміст дисахаридів у ягодах.

За результатами досліджень встановлено, що метаболічно активні сполуки сприяють збільшенню вмісту дисахаридів у ягодах суниці садової. Найвищу ефективність у цьому аспекті продемонструвала листова обробка розчином убіхінон-10, забезпечуючи приріст на 56,4% порівняно з контрольними показниками. Решта варіантів метаболічно активних сполук також показали позитивний вплив на вміст дисахаридів у ягодах суниці садової. Зокрема, встановлений приріст дисахаридів, у порівнянні з контролем, за використання розчину вітамін Е+убіхінон-10, що становив 42,1%, розчину вітамін Е+метіонін+ПОБК – 24,8%, та розчину вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$ – 12,9%.

Таким чином, досліджувані розчини метаболічно активних сполук сприяють збільшенню вмісту розчинних цукрів у ягодах суниці садової.

Обговорення. Вміст аскорбінової кислоти та розчинних цукрів є ключовими показниками біохімічної якості ягід суниці садової. Вони зумовлюють харчову та енергетичну цінність ягід і водночас є відображенням інтенсивності метаболічних процесів у рослині. Накопичення цих речовин тісно пов'язане з фотосинтетичною активністю листя, ефективністю транспорту асимілятів і функціональним станом антиоксидантної системи рослин (Miao et al., 2007).

Листова обробка метаболічно активними сполуками вважається перспективним методом регуляції вуглеводного та аскорбатного обміну, оскільки вони здатні впливати на активність фотосинтетичних ферментів, інтенсивність дихання і покращувати антиоксидантний захист рослин (Bulgari et al., 2019). За результатами сучасних досліджень, застосування біологічно активних сполук сприяє збільшенню вмісту розчинних цукрів та аскорбінової кислоти у ягодах суниці через посилення взаємодії між донорами й акцепторами асимілятів у листках та плодах (Zamorska & Khudik 2022).

У ягодах суниці садової аскорбінова кислота активно накопичується в період інтенсивного дозрівання шляхом перетворення вуглеводів, утворених у процесі фотосинтезу, на попередники аскорбінової кислоти (Zhiliang et al., 2025). На вміст аскорбінової кислоти в тканинах ягід впливають різноманітні абіотичні фактори, генетичні особливості сорту та стадія стиглості ягід. Оптимальні умови сприяють накопиченню цього вітаміну, тоді як несприятливі чинники можуть призводити до його деградації. Метаболічно активні сполуки, які виступають потужними антиоксидантами, здатні значно підсилювати вміст аскорбінової кислоти у тканинах ягід.

У своєму дослідженні ми дослідили вплив метаболічно активних сполук на вміст аскорбінової кислоти в тканинах ягід суниці садової та з'ясували, що листова обробка розчинами всіх варіантів збільшує даний показник, порівняно з контрольним варіантом. Найкращим встановлена дія розчину вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$. Це пов'язано з тим, що метаболічно активні сполуки відіграють важливу роль у функціонуванні рослинного організму. Зокрема, вітамін Е відіграє роль потужного ліпофільного антиоксиданту, який сприяє зниженню окислювального стресу в рослинних тканинах, забезпечуючи стабільність мембран і підтримуючи редокс-гомеостаз. Це має вирішальне значення для збереження аскорбінової кислоти (Sattler et al., 2004). Метіонін, як амінокислота, бере участь у синтезі біологічно активних сполук і впливає на загальну антиоксидантну активність рослин. Він є попередником цистеїну, з якого синтезується глутатіон – ключовий компонент аскорбат-глутатіонового циклу, що сприяє відновленню окисненої форми аскорбінової кислоти. Завдяки цьому циклу забезпечується зменшення її деградації (Martínez et al., 2017). Параоксибензойна кислота, як помірний антиоксидант, ефективно нейтралізує вільні радикали і запобігає окисненню аскорбінової кислоти, зберігаючи її у біологічно активній формі (Havii et al., 2025). $MgSO_4$, як джерело магнію, є важливим елементом для здійснення фотосинтезу, оскільки сприяє

Таблиця 3

Вміст дисахаридів у ягодах суниці садової (*F. ananassa*) сорту Маршал за листової обробки метаболічно активними сполуками

Варіант досліду	Вміст дисахаридів, мкг/г сирої маси	% до контролю
контроль	2,02±0,17	100
убіхінон-10	3,16±0,21*	156,4
вітамін Е+убіхінон-10	2,87±0,12*	142,1
вітамін Е + метіонін + ПОБК	2,52±0,29*	124,8
вітамін Е + метіонін + ПОБК+ $MgSO_4$	2,28±0,31	112,9

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

його інтенсифікації, забезпечує активний синтез вуглеводів та підвищує енергетичне забезпечення клітин. Такі умови стимулюють біосинтез аскорбінової кислоти (Havii et al., 2025). Сукупна дія зазначених речовин, які входять до комплексних сполук і створює додаткові передумови для підвищення вмісту аскорбінової кислоти у ягодах суниці садової сорту Маршал.

Вміст вуглеводів та їх співвідношення в плодово-ягідних культурах визначають смак, якість, харчову та технологічну цінність продукції. Ці показники у ягодах суниці садової суттєво варіюють та залежно від сорту та умов вирощування. У дослідженнях (Pryplavko et al., 2023) вказаний потенційний вплив метаболічно активних сполук на вміст розчинних цукрів у коренеплодах моркви.

У своїх дослідженнях ми провели порівняльний вплив метаболічно активних сполук на вміст розчинних цукрів (моносахаридів та дисахаридів) у тканинах ягід суниці садової сорту Маршал. За результатами нами встановлено, що листова обробка суниці метаболічно активними сполуками сприяє підвищенню вмісту цукрів в ягодах, перевищуючи показники контролю.

Найкращий вплив на вміст моносахаридів було встановлено у варіанті листової обробки розчином вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$. Найвищий показник вмісту дисахаридів у тканинах ягід суниці садової показала листова обробка розчином убіхінон-10. Результати проведених досліджень демонструють стимулюючий вплив метаболічно активних сполук на концентрацію вуглеводів у тканинах ягід суниці, та можуть бути пояснені ефективністю впливу зазначених сполук на фотосинтетичні та метаболічні процеси у рослині.

Так, вітамін Е сприяє стабілізації мембранних структур хлоропластів та зменшенню інтенсивності процесів перекисного окиснення ліпідів. Збереження функціональної активності фотосистем створює умови для посилення інтенсивності асиміляції CO_2, що забезпечує утворення тріозофосфатів – попередників сахарози. Це, в свою чергу, стимулює посилений синтез і транспорт сахарози з листя до плодів, що призводить до підвищення вмісту розчинних вуглеводів у ягодах (Mesa & Munne-Bosch 2025). Убіхінон-10, як елемент електронно-транспортного ланцюга мітохондрій, бере участь у клітинному диханні та синтезі АТФ. Підвищене енергозабезпечення клітин плодів сприяє активації ферментативних процесів, трансформації й накопичення вуглеводів, що відображається у збільшенні вмісту як моносахаридів, так і дисахаридів (Pryplavko et al., 2023). Метіонін є попередником S-аденозилметіоніну, який може впливати на регуляцію дозрівання плодів через залучення у біосинтез етилену та механізми метилювання. Такі гормонально обумовлені зміни в тканинах плодів супроводжуються підвищенням активності гідролізу сахарози та перерозподілом вуглеводів, сприяючи накопиченню розчинних цукрів (Martinez et al., 2017). ПОБК, як представник фенольних сполук виступає регулятором антиоксидантної системи клітин і активності ферментів вуглеводного обміну. Її дія сприяє оптимізації метаболічних процесів у плодах, змінюючи співвідношення цукрів (Havii et al., 2025). Магній, що входить до складу $MgSO_4$, забезпечує рослини важливим кофактором для функціонування численних ферментів, а також є складовою хлорофілу. Поліпшене магнієве живлення сприяє більш ефективному перебігу фотосинтетичних процесів і покращує транспорт асимілянтів до плодів, що корелює з підвищеним вмістом вуглеводів у тканинах ягід (Havii et al., 2025). Тож, результати збільшення вмісту вуглеводів у ягодах є наслідком комплексної дії досліджуваних сполук на різні рівні метаболічної регуляції, що сприяють інтенсивному синтезу, транспорту й накопиченню розчинних цукрів у ягодах суниці садової сорту Маршал.

Висновки. Листова обробка суниці садової сорту Маршал метаболічно активними сполуками збільшила вміст аскорбінової кислоти в ягодах. Найефективнішим є варіант листової обробки розчином вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$.

Вміст моносахаридів у ягодах суниці садової за листової обробки метаболічно активними сполуками значно перевищують показник контролю у всіх варіантах досліду. Максимальний вміст моносахаридів було отримано за листової обробки розчином вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$.

Листова обробка метаболічно активними сполуками значно збільшила вміст дисахаридів в ягодах суниці садової. Найвищий показник ефективності впливу має листова обробка суниці розчином убіхінон-10.

Результати проведених досліджень вказують на позитивний вплив листової обробки метаболічно активними сполуками на біохімічний склад ягід суниці садової сорту Маршал. Метаболічно активні сполуки вітамін Е+метіонін+ПОБК+$MgSO_4$ та вітамін Е+убіхінон-10 можуть бути рекомендовані у технології вирощування ягідних культур.

Бібліографічні посилання:

1. Asghari, M., & Aghdam, M. S. (2010). Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. Trends in Food Science & Technology, 21(10), 502–509. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.07.009

2. Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. Agronomy, 9(6), 306. https://doi.org/10.3390/agronomy9060306

3. Ciriello, M., Pannico, A., Rouphael, Y., & Basile, B. (2025). Enhancing yield, physiological, and quality traits of strawberry cultivated under organic management by applying different non-microbial biostimulants. Plants, 14(5), 712. https://doi.org/10.3390/plants14050712

4. Colla, G., Cardarelli, M., Bonini, P., & Rouphael, Y. (2017). Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. HortScience, 52(9), 1214–1220. https://doi.org/10.21273/HORTSCI12200-17

5. Dutta, D., Singh, V. K., Upadhyay, P. K., Meena, A. L., Kumar, A., Mishra, R. P., Dwivedi, B. S., Shukla, A. K., Yadav, G. S., Tewari, R. B. (2022). Long-term impact of organic and inorganic fertilizers on soil organic carbon dynamics in a rice–wheat system. Land Degradation & Development, 33, 1862–1877.

6. Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. Frontiers in Plant Science, 9, 2006. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006

7. Hamedi, B., Pirbalouti, A. G., & Rajabzadeh, F. (2022). Manures, vermicompost, and chemical fertilizer impacts on the yield and volatile compounds of the damask rose (Rosa damascena Mill.) flower petals. Industrial Crops and Products, 187, 115470.

8. Havii, V., Palyvoda, Y., Kuchmenko, O., Stamirowska-Krzaczek, E., Tomaszewska, M., & Kocira, A. (2025). Biochemical mechanisms of drought resistance in soft wheat under modeling of water deficiency and effects of seed treatment with metabolically active substances. Agricultural Engineering, 29(1), 15–31. https://doi.org/10.2478/agriceng-2025-0002

9. Hewitt, E. J., & Dickes, G. J. (1961). Spectrophotometric measurements on ascorbic acid and their use for the estimation of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in plant tissues. The Biochemical Journal, 78(2), 384–391.

10. Kopylchuk, H. P., & Nykolaichuk, I. M. (2019). Laboratornyi praktykum iz biokhimii: navchalno-metodychnyi posibnyk [Laboratory practice in biochemistry]. Chernivtsi National University, 144 s. (in Ukrainian).

11. Koziuchko, A. H., & Havii, V. M. (2022). Biokhimichni pokaznyky zerna soi za poperednoi obrobky nasinnia kombinatsiiamy metabolichno aktyvnykh rechovyn [Biochemical indicators of soybean grain after pretreatment of seeds with combinations of metabolically active substances]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia: Ahronomiia ta biolohiia, 2(48), 90–95 (in Ukrainian). https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.13

12. Kurylenko, A. O., & Kuchmenko, O. B. (2022). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia na amilaznu aktyvnist, vmist vuhlevodiv i bilkiv v zerni zhyta ozymoho [The effect of pre-sowing seed treatment on amylase activity, carbohydrate and protein content in winter rye grain]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia: Ahronomiia i biolohiia, 2(48), 105–110 (in Ukrainian). https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.15

13. Lu, W., Fan, H., Zhang, Y., Cai, B., Wang, X., Xue, Z., & Li, Q. (2025). Low-concentration NaCl foliar spraying enhances photosynthesis, mineral concentration, and fruit quality of strawberry during greenhouse high-temperature periods. BMC Plant Biology, 25(1), 487. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06518-6

14. Martínez, Y., Li, X., & Liu, G. (2017). The role of methionine on metabolism, oxidative stress, and diseases. Amino Acids, 49, 2091–2098. https://doi.org/10.1007/s00726-017-2494-2

15. Mesa, T., & Munné-Bosch, S. (2025). Vitamin E, total antioxidant capacity and potassium in tomatoes: A triangle of quality traits on the rise. Food Chemistry, 475, 143375. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143375

16. Miao, P. F., Liu, G. J., Li, S. H., & Shan, S. M. (2007). Ying yong sheng tai xue bao. The Journal of Applied Ecology, 18(12), 2722–2726.

17. Newerli-Guz, J., Śmiechowska, M., Drzewiecka, A., & Tylingo, R. (2023). Bioactive ingredients with health-promoting properties of strawberry fruit (Fragaria × ananassa Duchesne). Molecules, 28(6), 2711. https://doi.org/10.3390/molecules28062711

18. Palyvoda, Yu. M., & Havii, V. M. (2023). Fizioloho-biokhimichni osoblyvosti formuvannia adaptyvnoi vidpovidi roslyn v umovakh vodnoho defitsytu [Physiological and biochemical features of plant adaptive response under water deficit]. Naukovi zapysky. Biolohichni nauky *(Nizhynskyi derzhavnyi universytet imeni Mykoly Hoholia)*, 1, 52–58 (in Ukrainian). https://doi.org/10.31654/2786-8478-2023-BN-1-52-58

19. Pryplavko, S., Havii, V., & Sheiko, V. (2023). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia metabolichno aktyvnymy rechovynamy na pokaznyky vrozhaiu koreneplodiv [Effect of seed treatment on yield indicators of root crops]. *Naukove vydannia Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia,* 83(1–2), 70–78 (in Ukrainian). https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.1-2.10

20. Sattler, S., Gilliland, L., Magallanes-Lundback, M., Pollard, M., & Della Penna, D. (2004). Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. The Plant Cell, 16(6), 1419–1432. https://doi.org/10.1105/tpc.021360

21. Spirochkina M. M. (2021). Efektyvnist vehetatyvnoho rozmnozhennia i produktyvnist sunytsi (Fragaria ananassa Duch.) u Skhidnomu Polissi Ukrainy za dii ekzohennykh rehuliatoriv rostu [Efficiency of vegetative propagation and productivity of strawberry (Fragaria ananassa Duch.) in Eastern Polissya, Ukraine under the action of exogenous growth regulators]. Dysert. na zdob. nauk. stup. k.s.-h.n. 06.01.07 «Plodivnytstvo», Kyiv, 201 s. (in Ukrainian).

22. Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., Li, R., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S., & Guo, Y. D. (2015). Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. Journal of Experimental Botany, 66(3), 657–668. https://doi.org/10.1093/jxb/eru332

23. Zamorska, I., & Khudik, L. (2022). Vmist ta sklad tsukriv i orhanichnykh kyslot yahid sunytsi [Content and composition of sugars and organic acids of strawberries]. Visnyk NTU “KhPI”. Seriia: Novi rishennia u suchasnykh tekhnolohiiakh, 3(13), 50–56 (in Ukrainian). https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.03.08

24. Zhiliang, P., Jiahui, L., Linlin, X., Hongkun, W., Xiaodong, C., Chuanjun, C., Mizhen, Z., Zhijun, S., Huazhao, Y., & Yushan, Q. (2025). FaERF71C regulates vitamin C metabolism and antioxidant activity by repressing FaAPX1D during strawberry fruit ripening. Plant Physiology and Biochemistry, 229, 110625. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.110625

25. Zhong, H., Yadav, V., Wen, Z., Zhou, X., Wang, M., Han, S., Pan, M., Zhang, C., Zhang, F., & Wu, X. (2023). Comprehensive metabolomics-based analysis of sugar composition and content in berries of 18 grape varieties. Frontiers in Plant Science, 14, 1200071. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1200071

26. Zydlik, P., Zydlik, Z., & Kafkas, N. E. (2024). The effect of foliar application of biostimulants in a strawberry field plantation on yield, fruit quality, and health-promoting compounds. Agronomy, 14(8), 1786. https://doi.org/10.3390/agronomy14081786

Palyvoda Yu. M., *PhD (Biological Sciences), Nizhyn Mykola Gogol State University, Nizhyn, Ukraine*
Havii V. M., *PhD (Biological Sciences), Nizhyn Mykola Gogol State University, Nizhyn, Ukraine*

Biochemical composition of strawberries Fragaria ananassa Duch. berries after foliar treatment with metabolically active compounds

Garden strawberries (F. ananassa) are one of the most widespread and valuable berry crops in the world due to their exceptional taste characteristics, early ripening period and high content of biologically active substances. The berries of this crop have a rich biochemical composition, in particular a significant amount of sugars, organic acids, vitamins (especially ascorbic acid) and minerals. This composition determines their high nutritional, dietary and therapeutic and prophylactic value. In modern conditions, the demand for strawberry berries is constantly growing not only due to their yield, but also due to the need to ensure high quality, safety and functional value of the product. However, the intensification of berry growing, climate change, as well as the influence of abiotic and biotic stress factors negatively affect the physiological and biochemical processes in strawberry plants. This can worsen the quality of the resulting products. In this context, the search for environmentally safe and effective agrotechnical means aimed at regulating plant metabolic processes and increasing the nutritional value of berries is of particular importance. A promising direction is the use of foliar treatment of plants with metabolically active compounds that can enhance photosynthesis, stimulate carbohydrate metabolism and activate antioxidant processes.

The article presents data from a comparative analysis of the influence of such metabolically active compounds on the concentration of sugars and the content of ascorbic acid in strawberry fruits.

Studies have shown that foliar treatment of strawberry with solutions of metabolically active compounds effectively stimulates the synthesis of ascorbic acid and its accumulation in the tissues of berries, and also contributes to an increase in the level of soluble sugars in strawberry berries.

It was found that foliar treatment of strawberry with a solution of vitamin E+methionine+POBA+$MgSO_4$ increased the content of ascorbic acid and the content of monosaccharides in berries. The highest indicator of the effectiveness of the effect on the content of disaccharides in garden strawberry berries is foliar treatment with a solution of vitamin E+ubiquinone-10.

Key words: *metabolically active compounds, strawberries, ascorbic acid, monosaccharides, disaccharides.*

Дата першого надходження статті до видання: 24.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 31.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 26.05.2026