

УДК 615.32: [634.572:58.192

Наталія ДОНЕЦЬ

доктор філософії з біології, завідувач навчально-дослідної агробіостанції, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (nataliavdonets@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-1187-6721

Світлана ПРИПЛАВКО

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (ngubiolog@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-4326-8547

Олена КУЧМЕНКО

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (kuchmeh@yahoo.com)

ORCID: 0000-0002-3021-8583

SCOPUS: 35191936100

Валентина ГАВІЙ

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (gaviyv@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-2804-0456

Юлія ПАЛИВОДА

доктор філософії з біології, асистент кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (yulia.palivoda@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-6544-3441

Бібліографічний опис статті: Донець Н., Приплавко С., Кучменко О., Гавій В., Паливода Ю. (2025). Вплив метаболічно активних речовин та їх комбінацій на вміст аскорбінової кислоти та флавоноїдів у листках сіячів *Ginkgo biloba* L. *Фітотерапія. Часопис*, 3, 221–227, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2025-3-221>

ВПЛИВ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ТА ЇХ КОМБІНАЦІЙ НА ВМІСТ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ ТА ФЛАВОНОЇДІВ У ЛИСТКАХ СІЯЧІВ *GINKGO BILOBA* L.

Актуальність. Удосконалення технологій вирощування *Ginkgo biloba* L. (гінкго дволопатеве) у помірноконтинентальних кліматичних умовах може забезпечити стаке постачання сировини для виробництва ліків і біологічно активних добавок. Створення спеціалізованих плантацій дозволить організувати ефективне виробництво високоякісної сировини для фармацевтичної промисловості. Заходом для підвищення посівної якості, росту молодих рослин і формування лікарської сировини може бути передпосівна обробка насіння гінкго метаболічно активними речовинами природного походження, як-от вітамін Е, убіхінон-10, метіонін, MgSO_4 , параоксibenзойна кислота, їх комбінаціями, які не токсичні для здоров'я людини та тварин, мають високу ефективність у малих концентраціях.

Мета дослідження – встановлення впливу метаболічно активних речовин та їх комбінацій за їх застосування для обробки насіння перед висівом на вміст аскорбінової кислоти та флавоноїдів у листках сіячів гінкго.

Матеріал і методи. У дослідженні використовували посівний матеріал, який формувався в умовах міста Києва. Насіння обробляли розчинами досліджуваних сполук, а також їх комбінаціями. Вміст аскорбінової кислоти та суми флавоноїдів визначали в листках 75-денних сіячів гінкго спектрофотометрично.

Результати дослідження. Отримані результати свідчать, що накопичення аскорбінової кислоти було найбільшим у варіантах, де для обробки насіння перед висівом використовували розчин MgSO_4 та комбінацію речовин у такому складі: вітамін Е + метіонін + параоксibenзойна кислота. Дані речовини забезпечили зростання вмісту аскорбінової кислоти на 26,6 і 26,4% відповідно, порівняно з контролем.

Застосування всіх препаратів приводило до більшого накопичення флавоноїдів, порівняно з контрольним варіантом. Найбільше значення було відмічено у варіантах із застосуванням таких комбінацій речовин: вітамін Е + метіонін + параоксibenзойна кислота + MgSO_4 , вітамін Е + метіонін + параоксibenзойна кислота. Вони перевищували контрольні значення на 125,6 і 127,2% відповідно.

Висновок. Передпосівна обробка насіння гінкго метаболічно активними речовинами та їх комбінаціями має позитивну дію на накопичення вторинних метаболітів у листках сіячів релікта. Застосування таких речовин є ефективним заходом для підвищення вмісту аскорбінової кислоти та флавоноїдів у листках сіячів гінкго, що дозволяє отримувати сировину для фармацевтичної промисловості під час плантаційного вирощування.

Ключові слова: *Ginkgo biloba* L., плантаційне вирощування, вітамін Е, убіхінон-10, параоксibenзойна кислота, метіонін, MgSO_4 , аскорбінова кислота, флавоноїди, антиоксидантний захист.

Nataliia DONETS

PhD in Biological Science, Head of the Educational and Research Agrobiostation, Mykola Gogol Nizhyn State University, Hrafska Street, 2, Nizhyn, Chernihiv Region, Ukraine, 16600 (nataliavdonets@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-1187-6721

Svitlana PRYPLAVKO

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, Hrafska Street, 2, Nizhyn, Chernihiv Region, Ukraine, 16600 (ngubiolog@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-4326-8547

Olena KUCHMENKO

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, Hrafska Street, 2, Nizhyn, Chernihiv Region, Ukraine, 16600 (kuchmeh@yahoo.com)

ORCID: 0000-0002-3021-8583

SCOPUS: 35191936100

Valentyna HAVII

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, Hrafska Street, 2, Nizhyn, Chernihiv Region, Ukraine, 16600 (gaviyv@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-2804-0456

Yuliia PALYVODA

PhD in Biological Science, Assistant Professor at the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, Hrafska Street, 2, Nizhyn, Chernihiv Region, Ukraine, 16600

ORCID: 0000-0001-6544-3441

To cite this article: Donets N., Pryplavko S., Kuchmenko O., Havii V., Palyvoda Yu. (2025). Vplyv metabolichno aktyvnykh rehovyn ta yikh kombinatsii na vmist askorbinovoyi kysloty ta flavonoyidiv u lystkakh siiantsiv *Ginkgo biloba* L. [Influence of metabolically active substances and their combinations on the content of ascorbic acid and flavonoids in the leaves of *Ginkgo biloba* L. seedlings]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 3, 221–227, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2025-3-221>

INFLUENCE OF METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES AND THEIR COMBINATIONS ON THE CONTENT OF ASCORBIC ACID AND FLAVONOIDS IN THE LEAVES OF *GINKGO BILOBA* L. SEEDLINGS

Actuality. Improving the cultivation technologies for *Ginkgo biloba* L. in moderately continental climatic conditions can ensure a sustainable supply of raw materials for the production of medicines and biologically active supplements. Creating specialized plantations will enable the organization of efficient production of high-quality raw materials for the pharmaceutical industry. A measure to improve seed quality, growth of young plants, and the formation of medicinal raw materials can be pre-sowing treatment of ginkgo seeds with metabolically active substances of natural origin, such as vitamin E, ubiquinone-10, methionine, MgSO_4 , para-hydroxybenzoic acid, and their combinations, which are non-toxic to human and animal health and exhibit high efficacy at low concentrations.

The aim of the study is to establish the influence of metabolically active substances and their combinations, when applied for pre-sowing seed treatment, on the content of ascorbic acid and flavonoids in the leaves of ginkgo seedlings.

Material and methods. In the study, seed material formed in Kyiv was used. Seeds were treated with solutions of the investigated compounds and their combinations. The contents of ascorbic acid and total flavonoid were determined spectrophotometrically in the leaves of 75-day-old ginkgo seedlings.

Research results. Our findings indicate that the highest accumulation of ascorbic acid was observed in variants where MgSO_4 solution and the combination of vitamin E + methionine + para-hydroxybenzoic acid were used for pre-sowing seed treatment. These substances led to an increase in ascorbic acid content by 26,6 and 26,4%, respectively, compared to the control.

The application of all tested preparations resulted in greater flavonoid accumulation compared to the control variant. The most significant increases were noted in variants using the combinations of vitamin E + methionine + para-hydroxybenzoic acid + MgSO_4 and vitamin E + methionine + para-hydroxybenzoic acid. These exceeded control values by 125,6 and 127,2%, respectively.

Conclusion. Pre-sowing treatment of ginkgo seeds with metabolically active substances and their combinations has a positive effect on the accumulation of secondary metabolites in the leaves of relic seedlings. The use of such substances is an effective measure to increase the content of ascorbic acid and flavonoids in the leaves of ginkgo seedlings, which allows for obtaining raw materials for the pharmaceutical industry through plantation cultivation.

Key words: *Ginkgo biloba* L., plantation cultivation, vitamin E, ubiquinone-10, para-hydroxybenzoic acid, methionine, MgSO_4 , ascorbic acid, flavonoids, antioxidant protection.

Вступ. Актуальність. Деревні лікарські рослини – це дерева, кущі та ліани, сировину яких часто використовують у медицині для лікування захворювань або як допоміжні засоби для підтримання здоров'я людини. Кора, листя, плоди або насіння таких рослин містять багато активних речовин, які мають лікувальні властивості. Чималий список лікарських речовин мають голонасінні рослини. Найбільш значущою голонасінною рослиною, яка має велику кількість лікарських сполук, є гінкго дволопатеве (*Ginkgo biloba* L.). Це дерево – жива викопна рослина, яка належить до родини гінкгових, яка існує на нашій планеті вже понад 270 мільйонів років. Природні ареали поширення цієї рослини значно віддалені. Але, завдяки достатній зимостійкості, високій вітростійкості, резистентності до шкідників і хвороб, а також атмосферних викидів важких металів і радіоактивного забруднення, це дерево може рости в умовах помірно континентального клімату. Удосконалення технологій вирощування гінкго в таких умовах може забезпечити стаке постачання сировини для виробництва ліків і біологічно активних добавок, адже гінкго має значні лікувальні властивості. Створення спеціалізованих плантацій дозволить організувати ефективне виробництво високоякісної сировини для фармацевтичної промисловості.

Заходом для підвищення посівної якості, росту молодих рослин і формування лікарської сировини може бути передпосівна обробка насіння гінкго метаболічно активними речовинами природного походження, як-от вітамін Е, убіхінон-10, метіонін, MgSO_4 , параоксибензойна кислота (далі – ПОБК), та їх комбінаціями, які не токсичні для здоров'я людей і тварин, мають високу ефективність, у малих концентраціях.

Рослини розвинули складні фізіологічні та біохімічні адаптації, щоб справлятися з різними чинниками впливу на ріст і розвиток організму (Osakabem, 2014), сприяти накопиченню вторинних метаболітів (Dawane, 2020). Такі вторинні метаболіти, як аскорбінова кислота (далі – АК), флавоноїди й інші, є неферментними антиоксидантами прооксидантно-антиоксидантної системи рослин. Їхній синтез залежить від генетичних особливостей рослини й умов середовища. Вони відіграють ключову роль в антиоксидантному захисті клітин від пошкодження вільними радикалами (Vauzour, 2010). Окрім важливої ролі у фізіології стресу рослин для адаптації до стресу, вторинні метаболіти, що містяться в рослинах, надають їм лікувальних властивостей і роблять їх цінною сировиною для фармацевтичної промисловості.

Мета дослідження – встановлення впливу метаболічно активних речовин та їх комбінацій під час застосування для обробки насіння перед висівом на вміст аскорбінової кислоти та флавоноїдів у листках сіянців гінкго.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводили в умовах закритого ґрунту, опалювальної стаціонарної скляної теплиці на території навчально-дослідної агробіостанції та в навчально-науковій лабораторії з біохімічних і медико-валеологічних досліджень Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Використовували посівний матеріал, який формувався у кліматичних умовах м. Києва. Насіння гінкго збирали впродовж 2019–2023 рр. з екземплярів, які зростають у Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка НАН України (м. Київ), у жовтні – листопаді. Матеріалом дослідження слугували молоді рослини *Ginkgo biloba*, отримані після проростання насіння (рис. 1). Для обробки насіння використовували метаболічно активні речовини: вітамін Е (10^{-8} М) – Е, убіхінон-10 (10^{-8} М) – Q, параоксибензойну кислоту (ПОБК) (0,001%) – П, магній сульфат (MgSO_4) (0,001%) – Mg, метіонін (0,001%) – М, а також їх комбінації в такому складі: вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон-10 (10^{-8} М) – EQ, вітамін Е (10^{-8} М) + метіонін + ПОБК (0,001%) – ЕМП, вітамін Е (10^{-8} М) + метіонін + ПОБК (0,001%) + MgSO_4 (0,001%) – ЕМПМg.

Для порівняння дії досліджуваних речовин використовували біостимулятор росту Стимпо (0,2 мл на 200 мл води). Насінневий матеріал витримували в розчинах метаболічно активних речовин протягом однієї доби. У контрольному варіанті застосовували дистильовану воду.

Висів здійснювали в ємкості з підготовленим субстратом, який складався з дернового ґрунту, торфу та листового перегною у співвідношенні 1:1:3, в однакові терміни (21–30 грудня).



Рис. 1. Сіянці гінкго дволопатевого

Визначення вмісту аскорбінової кислоти в листках 75-денних сіянців гінкго здійснювали згідно з методом E.J. Hewitt і G.J. Dickes (Hewitt, 1961).

Визначення вмісту суми флавоноїдів проводили спектрофотометрично, у перерахунку на рутин (Zhu, 2010). Дослідження проводили у третій декаді червня, на 80-денних сіянцях гінкго.

Вміст суми флавоноїдів у перерахунку на рутин і абсолютно сухої речовини (%) розраховували за формулою:

$$X = \frac{D \cdot m_0 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{D_0 \cdot m \cdot 100 \cdot (100 - W)},$$

де:

D – оптична щільність досліджуваного розчину;

D_0 – оптична щільність розчину рутину;

m – маса сировини, г;

m_0 – маса рутину, г;

W – втрата в масі під час висушування сировини, % (Глуценко, 2014).

Статистична обробка результатів здійснювалась методами математичної статистики за допомогою стандартних вбудованих функцій пакету спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel – 2010 (пакет «Аналіз даних») (Томашевський, 2015).

Результати дослідження та їх обговорення.

Синтез аскорбінової кислоти важливий для рослин, оскільки вона є субстратом для знешкодження активних утворень кисню, в умовах окисного стресу (Foyer, 2011). Вона також бере участь у процесах росту, у водному обміні, стимулює реакції метаболізму, пов'язані з обміном нуклеїнових кислот і синтезом протеїну, а також виступає в ролі кофактору у процесах регуляції активності ензимів (Conklin, 2001). Аскорбінова кислота вступає в синергічну дію із флавоноїдами, регенерує окиснену форму вітаміну Е чи каротиноїдів, відновлює їхню антиоксидантну активність (Imai, 1999). Високий вміст цієї сполуки (приблизно 10%) у хлоропластах свідчить про її адаптивну роль у захисті фотосинтетичного апарату рослин від пошкоджень, зумовлених надлишком світла або іншими стресовими факторами (Noctor, 1998).

Результати дослідження впливу метаболічно активних речовин і їх комбінацій на вміст аскорбінової кислоти в сіянцях гінкго представлено в таблиці 1.

Отримані нами результати свідчать, що накопичення аскорбінової кислоти було найбільшим у варіантах, де для обробки насіння перед висівом використовували розчин Mg та комбінацію речовин у складі ЕМП. Дані речовини забезпечили зростання вмісту АК на 26,6 і 26,4% відповідно, порівняно з контролем, та на 9,0 і 8,8% порівняно з варіантом використання препарату Стимпо.

Таблиця 1

Вплив метаболічно активних речовин та їх комбінацій на вміст аскорбінової кислоти в листках 75-денних сіянців *Ginkgo biloba* L. (середнє за 2020–2024 рр.)

Варіанти дослідів	Вміст аскорбінової кислоти	
	мкмоль/г сирової маси	% до контролю
Контроль	17,92 ± 0,39	100,0
Стимпо	21,02 ± 0,56*	117,6
П	21,35 ± 0,59*	119,1
М	21,52 ± 0,97*	120,1
Mg	22,69 ± 0,69*#	126,6
Е	20,61 ± 0,99*	114,9
Q	18,67 ± 0,91	104,2
EQ	19,88 ± 0,86*	110,9
ЕМП	22,65 ± 0,93*#	126,4
ЕМПМg	22,18 ± 0,87*	123,7

Примітки: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$; # – достовірно порівняно з варіантом, насіння якого оброблене стимулятором росту Стимпо, $p < 0,05$.

Варто зазначити, що в інших варіантах показники теж перевищували контрольні значення (у межах 4,2–23,7%), але у варіантах з використанням Е, Q, а також комбінації речовин з EQ значення були нижчими, ніж у варіанті застосування препарату Стимпо. Збільшення вмісту аскорбінової кислоти в листках сіянців гінкго може свідчити про те, що в період активного росту рослин вона необхідна для синтезу білків та інших біомолекул, а під час фотосинтезу допомагає захищати хлорофіл від окиснення.

Найбільш численною групою вторинних метаболітів, які входять до складу прооксидантно-антиоксидантної системи рослин, є флавоноїди – група поліфенольних сполук C6-C3-C6-ряду, які синтезуються суто у вищих рослинах. Роль флавоноїдів полягає у здатності стабілізувати клітинні мембрани; модулювати активність різних ферментів, впливати на різноманітні біохімічні процеси в організмі; інгібувати ріст патогенних грибів, бактерій і вірусів; захищати від УФ-променів; хелатувати іони металів.

Флавоноїди є основними фізіологічно активними компонентами рослин, відіграють важливу роль у поглинанні активних форм кисню та забезпеченні нормального росту та розвитку рослин. Зміни умов вирощування, як-от освітленість, вологість, температура, мінеральне живлення, можуть істотно вплинути на синтез і накопичення флавоноїдів у гінкго (Wang, 2022). Завдяки здатності знижувати мета-

болічну активність ферментів у шляхах генерації активних форм кисню флавоноїди індують активізацію антиоксидантних систем клітини. Особливо важливою властивістю флавоноїдів є їхня здатність до синергізму з іншими антиоксидантами. Наприклад, у поєднанні з аскорбіновою кислотою флавоноїди утворюють ефективні антиоксидантні пари. Аскорбінова кислота відновлює окиснені флавоноїди, відновлює їхню антиоксидантну активність. Отже, цей тандем забезпечує більш тривалу й ефективну нейтралізацію вільних радикалів, захищає клітини від окисного пошкодження (Чекман, 2000).

Флавоноїди містяться в епідермісі листя і зазвичай накопичуються у формі глікозидів у вакуолях рослинних клітин (Cheng, 2000).

Результати дослідження впливу метаболічно активних речовин та їх комбінацій на вміст флавоноїдів у листках сіянців гінкго відображені в таблиці 2.

Таблиця 2

Вплив метаболічно активних речовин та їх комбінацій на сумарний вміст флавоноїдів у листках 80-денних сіянців *Ginkgo biloba* L. (середнє за 2020–2024 рр.)

Варіанти дослідів	Вміст флавоноїдів	
	%	% до контролю
Контроль	1,25 ± 0,11	100,0
Стимпо	1,81 ± 0,09*	144,8
П	2,03 ± 0,09*#	162,4
М	2,65 ± 0,08*#	212,0
Mg	1,40 ± 0,06	112,0
Е	1,90 ± 0,05*	152,0
Q	2,50 ± 0,08*#	200,0
EQ	2,02 ± 0,06*	161,6
ЕМП	2,84 ± 0,07*#	227,2
ЕМПМg	2,82 ± 0,09*#	225,6

Примітки: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$; # – достовірно порівняно з варіантом, насіння якого оброблене стимулятором росту Стимпо, $p < 0,05$.

У результаті проведених нами досліджень з'ясовано, що передпосівна обробка насіння досліджуваними речовинами сприяла збільшенню вмісту флавоноїдів у листках сіянців гінкго. Застосування всіх препаратів приводило до більшого накопичення флавоноїдів, порівняно з контрольним варіантом. Найбільше значення було відмічено у варіантах із застосуванням комбінацій речовин з ЕМПМg та ЕМП. Вони перевищували контрольні значення на 125,6 і 127,2% відповідно. Величини показників вмісту флавоноїдів у листках сіянців гінкго, за обробки насіння розчинами М, Q, П, EQ, Е, Mg, перевищують значення контролю на 112,0; 100,0; 62,4; 61,6; 52,0

та 12,0% відповідно. Порівняно з варіантом застосування стимулятора росту Стимпо застосування досліджуваних речовин також має перевагу, окрім варіанту використання Mg. Підвищений синтез флавоноїдів у листках сіянців гінкго може бути результатом не тільки генетично детермінованих особливостей розвитку рослини, спрямованих на забезпечення її виживання на ранніх етапах онтогенезу, а й впливу на рослини метаболічно активних речовин. Флавоноїди можуть відігравати важливу роль у регуляції росту й розвитку рослин, а також бути наслідком адаптації до специфічних умов вирощування, як-от брак або занадто яскраве освітлення.

Стимулюючий ефект впливу досліджуваних речовин можна пояснити їхньою здатністю стимулювати експресію ключових генів і активність ферментів у шляху біосинтезу рослин, контролюючи синтез вторинних метаболітів, які беруть участь в антиоксидантному захисті, перешкоджають окисному пошкодженню клітин (Miret, 2015).

Одним з найпоширеніших антиоксидантів серед метаболічно активних речовин, які було використано для досліджень, є вітамін Е (α -токоферол), який відіграє ключову роль у підтриманні оптимального окисно-відновного балансу у клітині. Він запобігає перекисному окисненню ліпідів шляхом знешкодження АФК та впливає на вироблення сигнальних молекул у регуляції експресії генів, які беруть участь у різних фізіологічних процесах. α -Токоферол належить до неферментних антиоксидантів. На думку вчених (Ohara, 2004), вітамін Е може виступати прооксидантом, але завдяки синергійній дії з аскорбіновою кислотою та каротиноїдами відбувається його регенерація. Вітамін Е – важлива ланка в системі антиоксидантного захисту рослин і тісно пов'язаний з гормональною регуляцією, впливає на біосинтез вторинних метаболітів.

Убіхінон-10 (коензим Q) також характеризується високими антиоксидантними властивостями. Шляхом регенерації токоферолу коензим Q знешкоджує вільні радикали та захищає клітини від перекисного окиснення ліпідів, водночас захищає рослину від наслідків окисного стресу. Убіхінон-10 – це багатифункціональна речовина, яка зміцнює клітинні мембрани, допомагає виробляти енергію у клітинах, захищає білки і ДНК від пошкоджень, відіграє важливу роль в енергетичному обміні клітини. Завдяки здатності індукувати утворення перекису водню убіхінон-10 опосередковано впливає на передачу сигналів між клітинами та регуляцію генної експресії, що є важливими процесами для забезпечення адаптації рослин до стресових умов, підтримання нормаль-

ного функціонування клітини. Убіхінон як потужний антиоксидант захищає ферменти, які беруть участь у синтезі вторинних метаболітів, від окиснювального пошкодження, тим самим підтримує їхню активність (Ohara, 2004). Амінокислоти, зокрема метіонін, є незамінними компонентами рослинних клітин, оскільки слугують вихідними сполуками для синтезу широкого спектра біологічно активних речовин, зокрема й ферментів, вітамінів і поліфенолів. Метіонін захищає клітину від окисного стресу, що важливо для збереження цілісності молекул, які беруть участь у біосинтезі вторинних метаболітів (Lenhart, 2015).

Роль параоксibenзойної кислоти як антиоксиданта в біологічних системах полягає в регуляції активності антиоксидантних ферментів, що забезпечує захист клітин від шкідливого впливу вільних радикалів (Barkosky, 2003).

Магній сульфат відіграє важливу роль у захисних механізмах рослинних організмів, впливає на різні біохімічні процеси, зокрема бере участь у синтезі вторинних метаболітів (Guo, 2016). Окрім того, як кофак-

тор для низки ферментів Mg^{2+} контролює детоксикацію активних форм кисню та синтез захисних сполук, створює безпосередній захист від біотичних стресових факторів (Faizan, 2022). Сульфур у складі магній сульфату впливає на активацію ферментів, які беруть участь у метаболічних процесах і підвищують стійкість рослин до хвороб, а також як складник амінокислот є будівельним матеріалом для білків і ферментів, які виконують різноманітні функції в рослині. Сульфур також бере участь в антиоксидантній системі клітини, захищає її від пошкоджень (Guo, 2016).

Висновки. Отже, вивчення впливу передпосівної обробки насіння гінкго метаболічно активними речовинами та їх комбінаціями показало позитивну дію на накопичення вторинних метаболітів у листках сіянців релікта. Це надає молодим рослинам додаткового антиоксидантного захисту. Застосування таких речовин є ефективним заходом для підвищення вмісту аскорбінової кислоти та флавоноїдів у листках сіянців гінкго, що дозволяє отримувати сировину для фармацевтичної промисловості під час плантаційного вирощування.

ЛІТЕРАТУРА

- Глушенко А. В. Методика визначення кількості вмісту флавоноїдів в екстрактах кураю пагорбкового (*Salsola Collina* L.). *Український біофармацевтичний журнал*. 2014. № 2. С. 46–49.
- Томашевський О. В., Рісіков В. П. Комп'ютерні технології статистичної обробки даних : навчальний посібник. Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2015. 175 с.
- Чекман І. С. Флавоноїди – клініко-фармакологічний аспект. *Фітотерапія в Україні*. 2000. № 2. С. 3–5.
- Barkosky R. R., Einhellig F. A. Allelopathic interference of plant water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 2003. Vol. 44. P. 53–58.
- Cheng S., Gu M., Shu H. Advances in research on flavonoids in *Ginkgo biloba* leaf. *Scientia Silvae Sinicae* 2000. Vol. 36. P. 110–115.
- Conklin P. I. Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. *Plant Cell Environ.* 2001. Vol. 24. P. 383–94.
- Dawane V., Pathak B. Assessment of secondary metabolite profile and quantification method development for Lupeol and Caffeic acid by HPTLC in *Avicennia marina* pneumatophore roots. *Biocatal. Agricult. Biotechnol.* 2020. Vol. 26.
- Faizan M., Bhat J. A., El-Serehy H. A., Moustakas M., & Ahmad P. Magnesium oxide nanoparticles (MgO-NPs) alleviate arsenic toxicity in soybean by modulating photosynthetic function, nutrient uptake and antioxidant potential. *Metals*. 2022. Vol. 12 (12). P. 2030.
- Foyer C. H., Noctor G. Ascorbate and glutathione: the heart of the redox hub. *Plant Physiol.* 2011. № 155. P. 16. DOI: 10.1104/pp.110.167569.
- Guo W., Nazim H., Liang Z., Yang D. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *The Crop Journal*. 2016. Vol. 4 (2). P. 83–91.
- Hewitt E. J., Dickes G. J. Spectrophotometric measurements on ascorbic acid and their use for the estimation of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in plant tissue. *The Biochemical J.* 1961. Vol. 78. № 2. P. 384–391.
- Hongbin Zhu, Yuzhi Wang, Yuxuan Liu et al. Analysis of Flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by UV-Vis-Spectrophotometry with Comparative Study on Different Extraction Technologies. *Food Anal. Methods*. 2010. Vol. 3. P. 90–97.
- Imai T., Kingston-Smith A. H., Foyer C. H. Inhibition of endogenous ascorbate synthesis in potato leaves supplied with exogenous ascorbate. *Free Rad Res.* 1999. Vol. 31. P. 171–179.
- Lenhart K., Althoff F., Greule M., Keppler, F. Methionine, a precursor of methane in living plants. *Biogeosciences*. 2015. Vol. 12 (6). P. 1907–1914.
- Miret J. A., Munné-Bosch S. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci*. 2015. P. 29–38. DOI: 10.1111/nyas.12639.
- Noctor G., Foyer C. H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 1998. Vol. 49. P. 249–279.
- Ohara K., Kokado Y., Yamamoto H., Sato F., Yazaki K. Engineering of ubiquinone biosynthesis using the yeast *coq2* gene confers oxidative stress tolerance in transgenic tobacco. *Plant J*. 2004. № 40. P. 734–743. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2004.02246.x.
- Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L. S. P. Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*. 2014. Vol. 5. P. 86.

Vauzour D., Rodriguez-Mateos A., Corona G., Oruna-Concha M. J., Spencer J. P. E. Polyphenols and human health: prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients*. 2010. Vol. 2. Iss. 11. P. 1106–1131.

Wang Q., Jiang Y., Mao X., Yu W., Lu J., Wang L. Integration of morphological, physiological, cytological, metabolome and transcriptome analyses reveal age inhibited accumulation of flavonoid biosynthesis in *Ginkgo biloba* leaves. *Industrial Crops and Products*. 2022. P. 187, 115405.

REFERENCES

Hlushchenko, A.V. (2014). Metodyka vyznachennia kilkosti vmistu flavonoidiv v ekstraktakh kuraiu pahorbkovoho (Salsola Collina L.) [Methodology for determining the amount of flavonoids in extracts of Salsola Collina L.]. *Ukrainskyi biofarmatsevtychnyi zhurnal – Ukrainian Biopharmaceutical Journal*. 2. 46–49 [in Ukrainian].

Tomashevskiy, O.V., & Rysikov, V.P. (2015). Kompiuterni tekhnolohii statystychnoi obrobky danykh : navch. posib. [Computer technologies of statistical data processing: teaching aids]. Zaporizhzhia: Zaporizkyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet [in Ukrainian].

Chekman, I.S. (2000) Flavonoidy – kliniko-farmakolohichniy aspekt [Flavonoids – clinical and pharmacological aspects]. *Fitoterapiya v Ukraïni – Phytotherapy in Ukraine*. 2. 3–5 [in Ukrainian].

Barkosky, R.R., & Einhellig, F.A. (2003) Allelopathic interference of plant water relationships by para-hydroxybenzoic acid. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 44. 53–58.

Cheng, S., Gu, M., & Shu, H. (2000) Advances in research on flavonoids in *Ginkgo biloba* leaf. *Scientia Silvae Sinicae*. 36. 110–115.

Conklin, P.I. (2001) Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. *Plant Cell Environ*. 24. 383–394.

Dawane, V., & Pathak, B. (2020) Assessment of secondary metabolite profile and quantification method development for Lupeol and Caffeic acid by HPTLC in *Avicennia marina* pneumatophore roots. *Biocatal. Agricult. Biotechnol*. 26.

Faizan, M., Bhat, J.A., El-Serehy, H.A., Moustakas, M., & Ahmad P. (2022) Magnesium oxide nanoparticles (MgO-NPs) alleviate arsenic toxicity in soybean by modulating photosynthetic function, nutrient uptake and antioxidant potential. *Metals*. 12 (12). 2030.

Foyer, C.H., & Noctor, G. (2011) Ascorbate and glutathione: the heart of the redox hub. *Plant Physiol*. 155. 16. DOI: 10.1104/pp.110.167569.

Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., & Yang, D. (2016.) Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *The Crop Journal*. 4 (2). 83–91.

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 tissue. *The Biochemical J*. 78 (2). 384–391.

Hongbin Zhu, Yuzhi Wang, Yuxuan Liu et al. (2010). Analysis of Flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by UV-Vis-Spectrophotometry with Comparative Study on Different Extraction Technologies. *Food Anal. Methods*. 3. 90–97.

Imai, T., Kingston-Smith, A.H., & Foyer, C.H. (1999) Inhibition of endogenous ascorbate synthesis in potato leaves supplied with exogenous ascorbate. *Free Rad Res*. 31. 171–179.

Lenhart, K., Althoff, F., Greule, M., & Keppler, F. (2015.) Methionine, a precursor of methane in living plants. *Biogeosciences*. 12 (6). 1907–1914.

Miret, J.A., & Munné-Bosch, S. (2015) Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E. *Ann N Y Acad Sci*. 29–38. DOI: 10.1111/nyas.12639.

Noctor, G., & Foyer, C.H. (1998) Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 49. 249–279.

Ohara, K., Kokado, Y., Yamamoto, H., Sato, F., & Yazaki, K. (2004). Engineering of ubiquinone biosynthesis using the yeast coq2 gene confers oxidative stress tolerance in transgenic tobacco. *Plant J*. 40. 734–743. DOI: 10.1111/j.1365-3113.2004.02246.x.

Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L.S.P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*. 5. 86.

Vauzour, D., Rodriguez-Mateos, A., Corona, G., Oruna-Concha, M.J., & Spencer, J.P.E. (2010). Polyphenols and human health: prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients*. 2 (11). 1106–1131.

Wang, Q., Jiang, Y., Mao, X., Yu, W., Lu, J., & Wang, L. (2022). Integration of morphological, physiological, cytological, metabolome and transcriptome analyses reveal age inhibited accumulation of flavonoid biosynthesis in *Ginkgo biloba* leaves. *Industrial Crops and Products*. 187, 115405.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2025

Стаття прийнята до друку 02.07.2025

Опубліковано: 15.10.2025

Конфлікт інтересів: відсутній.

Внесок авторів:

Донець Н.В. – ідея, дизайн дослідження, збір і аналіз літератури, коректування статті;

Приплавко С.О. – участь у написанні статті;

Кучменко О.Б. – участь у написанні та коректуванні статті;

Гавій В.М. – участь у написанні статті;

Паливода Ю.М. – участь у коректуванні статті.

Електронна адреса для листування з авторами: nataliavdonets@gmail.com