

УДК 633.822:631.531.027.2:581.192
DOI <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2026-2-255>

Руслан ОСИПЧУК

аспірант кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (ruslan0399os@gmail.com)

ORCID: 0009-0007-2193-0839

SCOPUS: 60058857700

Олена КУЧМЕНКО

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (kuchtenko1978@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-3021-8583

SCOPUS: 57212154851

Роман ІВАННИКОВ

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу тропічних і субтропічних рослин, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України, вул. Садово-Ботанічна, 1, м. Київ, Україна, 01014 (namor.iv22@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-5917-2980

SCOPUS: 57205161051

Віктор АНІЩЕНКО

кандидат хімічних наук, науковий співробітник відділу спектрохімічних досліджень, Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії імені Л. М. Литвиненка Національної академії наук України, Харківське шосе, 50, м. Київ, Україна, 02155 (anishchvic@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-5076-3549

SCOPUS: 55335249700

Дмитро КАРПЕНКО

аспірант кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, вул. Графська, 2, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600 (Karpenko.legal@gmail.com)

ORCID: 0009-0005-8982-0455

Наталія ІВАННИКОВА

провідний інженер лабораторії біотехнології рослин, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України, вул. Садово-Ботанічна, 1, м. Київ, Україна, 01014 (ivannikova08@gmail.com)

ORCID: 0009-0006-2228-7542

Бібліографічний опис статті: Осипчук Р., Кучменко О., Іванніков Р., Аніщенко В., Карпенко Д., Іваннікова Н. (2026). Вплив передпосівної обробки насіння базиліку (*Ocimum basilicum* L.) композиціями метаболічно активних речовин на вміст вторинних метаболітів та інтенсивність окисних процесів. *Фітотерапія. Часопис*, 2, 255–264, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2026-2-255>

**ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ БАЗИЛІКУ (*OCIMUM BASILICUM* L.)
КОМПОЗИЦІЯМИ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ВМІСТ ВТОРИННИХ
МЕТАБОЛІТІВ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ ОКИСНИХ ПРОЦЕСІВ**

Актуальність. Вторинні метаболіти рослин слід розглядати як алохімічні ефектори, які беруть участь у формуванні фітохімічного середовища ценозів, що реалізують механізми алелопатичної взаємодії, впорядковуючи внутрішньо- та між-видову комунікацію через інгібування або стимуляцію фізіолого-біохімічних процесів у реципієнтних організмах. Останнім часом зростає інтерес до дослідження вторинних метаболітів у насінні базиліку, що зумовлено доступністю цієї рослини, її широким застосуванням та вираженим антиоксидантним потенціалом.

Мета дослідження – встановити вплив передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук на вміст вторинних метаболітів, ТБК-позитивних продуктів та карбонільних продуктів перекисного окиснення білків у насінні базиліку.

Матеріали та методи дослідження. Насіння базиліку (*Ocimum basilicum* L.) сорту Rosie. Схема дослідження передбачала 4 варіанти: контроль (насіння, зібране з рослин, що перед посівом були оброблені дистильованою водою), група 1 (насіння, що було зібране з рослин, які перед посівом були оброблені композицією вітамін E (10^{-8} М) + ПОБК (параоксibenзойна кислота) (0,001 %) + метіонін (0,001 %) (ЕПМ)), група 2 (насіння, зібране з рослин, що перед посівом були оброблені композицією вітамін E (10^{-8} М) + ПОБК (0,001 %) + метіонін (0,001 %) + $MgSO_4$ (0,001 %) (ЕПММg)) та група 3 (насіння, зібране з рослин, що перед посівом були оброблені композицією вітамін E (10^{-8} М) + убіхінон-10 (CoQ10) (10^{-4} М) (EQ)).

Результати дослідження. У насінні першої дослідної групи (ЕПМ) міститься найвища кількість тригліцеридів та антоціанів, що може свідчити про високу стійкість рослин до біотичних та абіотичних факторів стресу. У насінні другої дослідної групи (ЕПММg) спостерігається найвищий рівень флавонолів. Високі рівні кемферолу та глікозидів кверцетину можуть свідчити про ймовірний протизапальний та імуномодулюючий потенціал. У насінні третьої дослідної групи (EQ) продемонстровано найвищий рівень більшості досліджуваних вторинних метаболітів, а саме монотерпеноїдів та ізопреноїдів, флавононів, похідних 4-, 7-дигідроксифлавонону, катоболітів хлорофілів А та В, каротиноїдів. Ці результати можуть свідчити про потужний антиоксидантний потенціал отриманого насіння та його високу стійкість до стресу.

Найнижчий вміст ТБК-позитивних продуктів, що характеризують рівень окиснення ліпідів, спостерігається в насінні контрольної та другої дослідної груп, що може свідчити про нижчу інтенсивність перебігу процесів перекисного окиснення ліпідів. Проте під час дослідження вмісту карбонільних продуктів окиснення білків було продемонстровано значне інгібування цього процесу в насінні всіх дослідних груп, що може свідчити про його нормалізацію, а отже, зменшення інтенсивності накопичення продуктів окиснення білкових молекул.

Висновки. Найвищий рівень антиоксидантного потенціалу продемонструвало насіння базиліку дослідної групи 2 (ЕПММg) та дослідної групи 3 (EQ). Ці результати можуть бути використані в рослинництві, а також у медичній, фармацевтичній чи харчовій промисловості.

Ключові слова: насіння базиліку, передпосівна обробка, вітамін E, метіонін, параоксibenзойна кислота, убіхінон, вторинні метаболіти, перекисне окиснення ліпідів та білків.

Ruslan OSYPOCHUK

PhD Student at the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, Graftska str., 2, Nizhyn, Chernihiv region, Ukraine, 16600 (ruslan0399os@gmail.com)

ORCID: 0009-0007-2193-0839

SCOPUS: 60058857700

Olena KUCHMENKO

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Biology Department, Nizhyn Mykola Gogol State University, Graftska str., 2 Nizhyn, Chernihiv region, Ukraine, 16600 (kuchmenko1978@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-3021-8583

SCOPUS: 57212154851

Roman IVANNIKOV

Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of Tropical and Subtropical Plants, M. M. Gryshko National Botanic Garden of National Academy of Sciences of Ukraine, Sadovo-Botanichna str., 1, Kyiv, Ukraine, 01014 (namor.iv22@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-5917-2980

SCOPUS: 57205161051

Viktor ANISHCHENKO

PhD of Chemical Sciences, Researcher at the Department of Spectrochemical Research, L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkivske Highway, 50, Kyiv, Ukraine, 02155 (anishchvic@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-5076-3549

SCOPUS: 55335249700

Dmytro KARPENKO

PhD Student at the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, Graftska str., 2, Nizhyn, Chernihiv region, Ukraine, 16600 (Karpenko.legal@gmail.com)

ORCID: 0009-0005-8982-0455

Natalia IVANNIKOVA

Lead Engineer, Plant Biotechnology Laboratory, M. M. Gryshko National Botanic Garden of National Academy of Sciences of Ukraine, Sadovo-Botanichna str., 1, Kyiv, Ukraine, 01014 (ivannikova08@gmail.com)

To cite this article: Osypchuk R., Kuchmenko O., Ivannikov R., Anishchenko V., Karpenko D., Ivannikova N. (2026). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia bazylika (*Ocimum basilicum* L.) kompozytsiinykh metabolichno aktyvnykh rehovyn na vmist vtorynykh metabolitiv ta intensyvnykh oksyynykh protsesiv [Effect of basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) priming with compositions of metabolically active substances on the content of secondary metabolites and the intensity of oxidative processes]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 2, 255–264, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2026-2-255>

EFFECT OF BASIL SEEDS (*OCIMUM BASILICUM* L.) PRIMING WITH COMPOSITIONS OF METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON THE CONTENT OF SECONDARY METABOLITES AND THE INTENSITY OF OXIDATIVE PROCESSES

Relevance. Secondary plant metabolites should be considered as allelochemical effectors that participate in the formation of the phytochemical environment of coenoses that implement mechanisms of allelopathic interaction, regulating intra- and interspecific communication through inhibition or stimulation of physiological and biochemical processes in recipient organisms. Recently, there has been growing interest in the study of secondary metabolites in basil seeds, driven by the accessibility of this plant, its wide range of applications, and its pronounced antioxidant potential.

Objective of the study. To determine the effect of pre-sowing seed treatment with compositions of metabolically active compounds on the content of secondary metabolites, TBA-reactive substances, and carbonyl products of protein peroxidation in basil seeds.

Materials and methods. Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.), cultivar Rosie, were used in the study. The experimental design included four variants: control (seeds collected from plants that had been treated with distilled water before sowing); group 1 (seeds collected from plants pre-treated with a composition of vitamin E (10^{-8} M) + p-hydroxybenzoic acid (PHBA) (0.001%) + methionine (0.001%) (EPM)); group 2 (seeds collected from plants pre-treated with a composition of vitamin E (10^{-8} M) + PHBA (0.001%) + methionine (0.001%) + MgSO_4 (0.001%) (EPMg)); and group 3 (seeds collected from plants pre-treated with a composition of vitamin E (10^{-8} M) + ubiquinone-10 (CoQ10) (10^{-4} M) (EQ)).

Results of the study. Seeds of the first experimental group (EPM) contained the highest levels of triglycerides and anthocyanins, which may indicate a high resistance of plants to biotic and abiotic stress factors. Seeds of the second experimental group (EPMg) showed the highest level of flavonols. Elevated levels of kaempferol and quercetin glycosides may suggest potential anti-inflammatory and immunomodulatory properties. Seeds of the third experimental group (EQ) exhibited the highest levels of most of the studied secondary metabolites, namely monoterpenoids and isoprenoids, flavanones, derivatives of 4-, 7-dihydroxyflavone, chlorophyll A and B catabolites, and carotenoids. These results may indicate a strong antioxidant potential of the obtained seeds and their high stress tolerance.

The lowest content of TBA-reactive substances, which characterize the level of lipid oxidation, was observed in the seeds of the control and the second experimental group, indicating a lower intensity of lipid peroxidation processes. However, analysis of the content of carbonyl products of protein oxidation revealed significant inhibition of this process in the seeds of all experimental groups, which may suggest its normalization and, accordingly, a reduced accumulation of protein oxidation products.

Conclusion. The highest level of antioxidant potential was demonstrated by basil seeds from experimental group 2 (EPMg) and experimental group 3 (EQ). These results may be applied in crop production, as well as in the medical, pharmaceutical, and food industries.

Key words: basil seeds, pre-sowing treatment, vitamin E, methionine, p-hydroxybenzoic acid, ubiquinone, secondary metabolites, lipid and protein peroxidation.

Вступ. Вторинні метаболіти рослин слід розглядати як алелохімічні ефектори, які беруть участь у формуванні фітохімічного середовища ценозів та реалізують механізми алелопатичної взаємодії, впорядковуючи внутрішньо- та міжвидову комунікацію через інгібування або стимуляцію фізіолого-біохімічних процесів у реципієнтних організмах. Природний імунітет рослинного організму забезпечується різного роду патоген-індукованими та конститутивними фітохімікатами (Piasecka, 2015, pp. 948–964). Фітопатогенні мікроорганізми стимулюють різноманітні захисні механізми рослин у відповідь на численні біотичні та абіотичні стресові чинники, зокрема пігментацію, ріст пилкової трубки, вплив ультрафіолетового випромінювання, інфекції та ушкодження фітофагами (Onkokesung, 2014, pp. 2203–2217).

Кемпферол (Kr), кверцетин (Qu) та антоціани належать до важливих флавоноїдів, які здатні утворювати глікозидні похідні шляхом приєднання глюкози до атомів вуглецю у положеннях 3 і 7 (Davoris, 2025, pp. 1–18). Глікозиди Kr та Qu також належать до флавоноїдів і виконують функцію антиоксидантів. Їхні гідроксильні групи взаємодіють із вільними радикалами, передаючи електрон або атом водню

(Han, 2012, pp. 2140–2160). Порівняно з іншими флавоноїдами Kr та Qu характеризуються вищою антиоксидантною активністю (Chouikh, 2025, pp. 1–18). Накопичення вільних радикалів є однією з причин розвитку оксидативного стресу, що сприяє динамічному утворенню активних форм кисню (ROS), тоді як накопичення флавоноїдів допомагає зменшити їх рівень (Chouikh, 2025, pp. 1–18).

Антоціани, як і інші флавоноїди, виконують захисну функцію, допомагаючи рослинам протистояти стресовим чинникам. Зростає зацікавленість у вивченні механізмів, за допомогою яких антоціани сприяють зниженню рівня стресу рослин. Встановлено, що вони беруть участь у нейтралізації активних форм кисню, а також впливають на гормональні сигнальні шляхи, пов'язані зі стресовою відповіддю (Nakabayashi, 2014, pp. 367–379).

Останнім часом зростає інтерес до дослідження вторинних метаболітів у насінні базилика, що зумовлено доступністю цієї рослини, її широким застосуванням та вираженим антиоксидантним потенціалом (Осипчук, 2024, с. 25–33).

Базилік (*Ocimum basilicum* L.) поширений у всьому світі та широко застосовується в харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості. Проте

харчові та функціональні властивості його насіння залишаються недостатньо вивченими. Насіння базилику містить значну кількість білків та всі незамінні амінокислоти, за винятком триптофану (Bilal, 2012, pp. 73–83). Крім того, воно багате на лінолеву кислоту та мінерали, як-от Ca, Mg і K. Нещодавні дослідження показали, що насіння базилику містить орнітин і розмаринову кислоту (Khaliq, 2017, pp. 189–194). Споживання насіння базилику визнано корисним для профілактики діабету 2-го типу та серцево-судинних захворювань (Arundhathu, 2022; Rezapour, 2016).

Насіння базилику характеризується високою активністю каталази й аскорбатпероксидази, а також значним вмістом загальних і білкових SH-груп, відновленого глутатіону та ТБК-позитивних продуктів (Осипчук, 2024, с. 25–33).

Наявність у рослин таких сполук, як глікозиди (глікозиди апігеніну, кверцетину, лютеоліну, кемпферолу, флаванонів, антоціану, 4-, 7-дигідроксифлавоно), ізофлавоно, оксикоричні кислоти, стілбеноїди, монотерпеноїди, стерини, тригліцериди та каротиноїди, свідчить про їхню високу стійкість до біотичних та абіотичних стресових факторів (Santanu, 2022; Sarikurucu, 2020; Simunkova, 2021). Крім того, ці сполуки надають рослинній сировині імуномодуючу та антиоксидантну дію за застосування людиною (Silva, 2024; Othman, 2022; Misbaudeen, 2021; Fabio, 2023).

Метою роботи було встановити вплив передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних сполук на вміст вторинних метаболітів, ТБК-позитивних продуктів та карбонільних продуктів окиснення білків у насінні базилику.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження використовували насіння базилику (*Ocimum basilicum* L.) сорту Rosie. Схема дослідження передбачала 4 варіанти: контроль (насіння, зібране з рослин, що перед посівом були оброблені дистильованою водою), група 1 (насіння, що було зібране з рослин, які перед посівом були оброблені композицією вітамін Е (10^{-8} М) + ПОБК (параоксibenзойна кислота) (0,001 %) + метіонін (0,001 %) (ЕПМ)), група 2 (насіння, зібране з рослин, що перед посівом були оброблені композицією вітамін Е (10^{-8} М) + ПОБК (0,001 %) + метіонін (0,001 %) + MgSO_4 (0,001 %) (ЕПММg)) та група 3 (насіння, зібране з рослин, що перед посівом були оброблені композицією вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон-10 (CoQ10) (10^{-4} М) (EQ)). Ці композиції метаболічно активних сполук уже продемонстрували ефективне підвищення антиоксидантного потенціалу в насінні базилику (Осипчук, 2024, с. 25–33).

Насіння базилику було замочене на 6 годин у розчинах і висаджене у відкритий ґрунт у вигляді 4 груп на відстані 3 метрів одне від одного в середині травня 2024 року. Насіння з 4 груп рослин було зібране наприкінці серпня 2024 року.

Насіння висушувалось у добре провітрюваному приміщенні за температури 23–28 °С без прямого потрапляння сонячних променів.

Для дослідження вмісту вторинних метаболітів насіння ретельно розтирали в керамічній ступці та переносили у скляну віалу. Наважки заливали сумішшю органічних розчинників (метанол-тетрагідрофуран-вода у пропорції 55 : 40 : 5) у розрахунку 10 мл на 1 г сировини. Процедура екстракції проводили під дією ультразвуку за температури 50 °С протягом 2 годин (4 періоди по 30 хв з перервами у 15 хв). Далі проводилося концентрування екстрактів за такою процедурою: 20 мл екстракту випаровували в ротаційному випаровувачі за температури 45 °С, сухий залишок розчиняли у 1 мл суміші метанолу ТГФ (1 : 1). Отриманий розчин концентрату екстракту фільтрували крізь фільтр із мембраною з тефлону діаметром 25 мм та порами 0,22 мкм. Отриманий фільтрат зберігали за температури –20 °С. Отримані розчини екстрактів та їхніх концентратів фільтрували крізь фільтр. Отримані фільтрати зберігали за температури –20 °С.

Аналіз вторинних метаболітів здійснювали з використанням методу обернено-фазової високо-ефективної рідинної хроматографії на базі ЦККП “ВЕРХ” у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка Національної академії наук України. Розділення зразків проводили на хроматографічній системі Agilent 1100 з 4-канальним насосом, вакуумним дегазатором, автосамплером, термостатом колонок та діодно-матричним детектором. Використовували двоелюентну схему (елюент А – 0,05 М водний розчин ортофосфорної кислоти H_3PO_4 ; В – ацетонітрил; усі елюенти й добавки були придбані в Sigma-Aldrich, градація чистоти HPLC) на колонці Poroshell 120 EC-C18, 2,7 мкм, $2,1 \times 150$ мм. Об’єм зразка – 2 мкл. Детектування відбувалося на довжинах хвиль 206 нм, 254 нм, 300 нм, 350 нм та 450 нм.

Для всіх речовин реєстрували спектри поглинання в ультрафіолетовому та видимому діапазонах із метою встановлення природи вторинних метаболітів та віднесення хроматографічних піків до певних груп речовин. Вміст окремих груп речовин було розраховано в перерахунку на наявні стандарти.

Вміст різних класів сполук було оцінено з використанням рівняння:

Вміст різних класів сполук було оцінено з використанням рівняння:

$$c = \frac{\sum A \cdot V}{RF_{cm} \cdot m},$$

де:

c – концентрація сполук, мг в 1 г насіння; $\sum A$ – сума площ піків, віднесених до сполук одного класу; V – об’єм екстрагенту, мл; RF_{cm} – коефіцієнт пропорційності, визначений для стандартної речовини цього класу сполук, мл/мг; m – маса сировини, г.

Вміст ТБК-позитивних продуктів оцінювали спектрофотометрично шляхом утворення триметинового комплексу альдегідів з 2-тіобарбітуровою кислотою за нагрівання до 100 °С (Осипчук, 2021, с. 94–98).

Принцип методу визначення карбонільних продуктів перекисного окислення білків полягає у взаємодії окиснених продуктів амінокислотних залишків із 2,4-динітрофенілгідрaziном (Кузьмак, 2017, с. 114–118, з модифікаціями).

Статистична обробка результатів здійснювалася за допомогою методів математичної статистики з використанням стандартних вбудованих функцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel – 2010.

Результати та їх обговорення. За результатами дослідження було встановлено наявність антоціанів (AC), похідних карбонових та гідробензойних кислот (B), похідних 4-, 7-дигідроксифлавоу (diF), флавонолів (F), флавононів (FA), оксикоричних кислот (OC), стилбеноїдів (Stil), тригліцеридів (TG), монотерпеноїдів та ізопреноїдів (TS), катаболітів хлорофілу А (X-A), катаболітів хлорофілу В (X-B), каротиноїдів (Y) у насінні базилику.

Серед похідних карбонових та гідроксibenзойних кислот було виявлено ванілінову кислоту та ванілін, серед оксикоричних кислот – кавову, п-кумарову та розмаринову (OC-6) кислоти.

Так, було встановлено, що в насінні контрольної групи вміст похідних карбонових, гідроксibenзойних та оксикоричних кислот вищий порівняно з іншими групами. Зокрема, вміст карбонових та гідроксibenзойних кислот у контрольній групі вищий на 0,4, 0,25 та 0,4 мг/г порівняно з першою, другою та третьою дослідними групами відповідно (табл. 1). Також вміст розмаринової кислоти вищий на 1, 0,4 та 1,3 мг/г, вміст оксикоричних кислот вищий на 0,8, 0,4 та 0,96 мг/г порівняно з першою, другою та третьою дослідними групами відповідно.

Антоціани – це природні флавоноїдні пігменти, які переважно зумовлюють різноманіття забарвлення квіток і плодів. Вони також здатні накопичуватися в листках, забезпечуючи захист фотосинтетичного апарату та світлочутливих сполук від дії ультрафіолетового випромінювання. Їх накопичення часто індукується впливом екологічних стресових чинників, зокрема УФ-випромінюванням, екстремальними температурами та посухою. Антоціани відіграють важливу роль у формуванні стійкості рослин до біотичних та абіотичних стресів, нейтралізуючи вільні радикали та пероксиди. Крім того, їхня антиоксидантна активність має істотне значення для підтримки здоров’я людини (Moraes, 2016; Liobikas, 2016; Qin, 2018).

Під час дослідження вмісту тригліцеридів та антоціанів було встановлено, що насіння дослідної групи 1 (ЕПМ) містить вищий рівень тригліцеридів на 0,1, 0,1 та 1,6 мг/г, а також вищий рівень антоціанів на 0,099, 0,099 та 0,002 мг/г порівняно з контрольною, другою та третьою дослідними групами відповідно (табл. 1).

Насіння дослідної групи 2 (ЕПММg) містить вищий рівень флавонолів в 1,2, 2,9 та 2,5 раза порів-

Таблиця 1

Вміст вторинних метаболітів у насінні базилику, мг/г

	Контроль	Група 1 (ЕПМ)	Група 2 (ЕПММg)	Група 3 (ЕQ)
Похідні карбонових та гідро-бензойних кислот	1,1	0,7	0,85	0,7
Монотерпеноїди та ізопреноїди	6,9	11,9	10	13,2
Тригліцериди	6,8	6,9	6,8	5,2
Стилбеноїди	0,1	0,1	0,1	0
Оксикоричні кислоти	1,5	0,7	1,1	0,55
Розмаринова кислота	2	1	1,6	0,7
Флавонони	0,021	0,06	0,025	0,09
Флавоноли	0,06	0,025	0,073	0,029
Похідні 4-, 7-дигідроксифлавоу	0,04	0,021	0,013	0,078
Антоціани	0,043	0,142	0,043	0,140
Катаболіти хлорофілу А	0,011	0,028	0,016	0,05
Катаболіти хлорофілу В	0,017	0,032	0,022	0,051
Каротиноїди	0,040	0,071	0,048	0,091

няно з контрольною, першою та третьою дослідними групами відповідно (табл. 1).

Високий вміст у рослинах монотерпеноїдів, стеринів та тригліцеридів (табл. 1) свідчить про високий вміст ефірних олій. Ефірні олії та рослинна сировина, що їх містить, характеризуються широким спектром біологічної активності. Вони проявляють бактерицидні, протизапальні, спазмолітичні, відхаркувальні, вітрогінні та антигельмінтні властивості. Такі сполуки застосовують для лікування захворюваннях верхніх дихальних шляхів, травної системи, нервової системи та інших патологічних станів (Тржецинський, 2014, с. 131).

Флавонові глікозиди, флавоноїди та ізофлавонони також необхідні рослинним організмам для набуття толерантності до біотичного стресу.

Значне збільшення вмісту вторинних метаболітів зафіксовано у групі 3 (EQ). Так, у насінні третьої дослідної групи вміст монотерпеноїдів та ізопреноїдів вищий на 6,3, 1,3 та 3,2 мг/г, вміст флавононів вищий на 0,069, 0,03 та 0,065 мг/г, вміст похідних 4-, 7-дигідроксифлавону вищий на 0,038, 0,057 та 0,065 мг/г, вміст катаболітів хлорофілу А вищий на 0,039, 0,022 та 0,034 мг/г, вміст катаболітів хлорофілу В вищий на 0,034, 0,019 та 0,029 мг/г, а також вміст каротиноїдів вищий на 0,051, 0,021 та 0,043 мг/г порівняно з контрольною, першою та другою дослідними групами відповідно.

Щоб ретельніше оцінити антиоксидантний потенціал насіння базилику та швидкість перебігу процесів вільнорадикального окиснення органічних сполук, було проведено оцінку вмісту ТБК-позитивних продуктів та карбонільних продуктів перекисного окиснення білків.

За рівнем ТБК-позитивних продуктів можна оцінити інтенсивність протікання процесів неконтрольованого перекисного окиснення ліпідів. Перебіг цих процесів відбувається за участю вільних радикалів. Висока інтенсивність неферментного (неконтрольованого) окиснення ліпідів може призвести до накопичення продуктів окиснення, пошкодження макромолекул та мембранних структур клітин і розвитку різних патологічних станів, зокрема онкологічних, серцево-судинних захворювань та ін. (Aguota, 1985, pp. 593–597).

Було встановлено, що вміст ТБК-позитивних продуктів у насінні базилику, зібраного з 2 груп рослин, які перед посівом були оброблені композиціями ЕПМ та EQ, вищий в 1,5 та 1,4 раза відповідно порівняно з контрольною групою (табл. 2). Натомість вміст ТБК-позитивних продуктів у насінні з 2-ї групи, яке було оброблене композицією ЕПММg нижчий на 1,9 мкмоль/г порівняно з контрольною групою.

Таблиця 2

Вміст ТБК-позитивних продуктів у насінні базилику, ммоль/г

	ТБК-позитивні продукти, ммоль/г
Контроль	18,03 ± 0,95
Група 1 (ЕПМ)	27,24 ± 2,10*
Група 2 (ЕПММg)	16,13 ± 1,23
Група 3 (EQ)	25,21 ± 0,43*

Примітка: * – вірогідні відмінності ($p < 0,05$) порівняно з групою контролю.

Важливим індикатором, за яким можна оцінити інтенсивність перебігу процесів окиснення білків, є карбонільні продукти, які утворюються внаслідок цього процесу. До них належать: нейтральні альдегід-динітрофенілгідразони (спектр поглинання 356 нм), основні альдегід-динітрофенілгідразони (спектр поглинання 370 нм), нейтральні кетон-динітрофенілгідразони (спектр поглинання 430 нм) та основні кетон-динітрофенілгідразони (спектр поглинання 530 нм) (Берник, 2010, с. 89–92).

Під час дослідження вмісту карбонільних продуктів перекисного окиснення білків було встановлено, що насіння базилику з першої, другої та третьої дослідних груп має вищий вміст нейтральних альдегідних продуктів окиснення на 74,1, 60,7 та 74,3 %, вищий вміст основних альдегідних продуктів окиснення на 75,8, 79,6 та 80,9 %, вищий вміст нейтральних кетонних продуктів окиснення на 73,97, 83,97 та 86,2 % і вищий вміст основних кетонних продуктів окиснення на 84,2, 84,7 та 87,9 % відповідно порівняно з контрольною групою (табл. 3).

Порівнюючи результати оцінки вмісту ТБК-позитивних продуктів та карбонільних продуктів перекисного окиснення білків, ми встановили, що рівень продуктів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) у дослідній групі 2 знизився недостовірно (ЕПММg), а в дослідних групах 1 та 3 (ЕПМ та EQ) взагалі збільшився порівняно з контрольною групою. Натомість рівень вмісту карбонільних продуктів окиснення білків достовірно знизився в усіх дослідних групах порівняно з контролем.

Таке одночасне зростання рівня ТБК-позитивних продуктів і зниження рівня продуктів перекисного окиснення білків може свідчити про різні механізми контролю процесів перекисного окиснення ліпідів та білків. Продукти перекисного окиснення ліпідів включають первинні та вторинні продукти. Якщо антиоксидантні системи рослинних організмів активно руйнують або відновлюють гідроперокси, їх концентрація знижується. Водночас продовжується процес утворення вторинних продуктів ПОЛ унаслідок розпаду наявних гідропероксидів,

Таблиця 3

Вміст карбонільних продуктів окислення білків у насінні базилику, нмоль/мг

	356 нм	370 нм	430 нм	530 нм
Контроль	53,04 ± 7,58	71,21 ± 10,61	95,46 ± 4,55	105,58 ± 8,44
Група 1 (ЕПМ)	13,79 ± 6,90*	17,27 ± 7,90*	24,85 ± 3,37*	16,67 ± 7,62*
Група 2 (ЕПММg)	16,06 ± 3,77*	14,55 ± 2,84*	15,30 ± 3,11*	16,21 ± 2,20*
Група 3 (EQ)	13,64 ± 6,19*	13,64 ± 5,11*	13,18 ± 5,48*	12,73 ± 5,23*

Примітка: * – вірогідні відмінності ($p < 0,05$) порівняно з групою контролю.

що призводить до зростання показника ТБК-позитивних продуктів. Таким чином, зменшення рівня первинних продуктів ПОЛ може супроводжуватися збільшенням вторинних продуктів ПОЛ (Abeurathne, 2021, pp. 1–19). Також варто зазначити, що метод визначення ТБК-позитивних продуктів не є абсолютно специфічним до малонового діальдегіду. Доведено, що з тіобарбітуровою кислотою можуть реагувати інші альдегіди та кетони, продукти окиснення білків, цукри, амінокислоти, фенольні сполуки та їхні продукти окиснення (Guillen-Sans, 1998, pp. 315–350).

Карбонілювання білків є незворотною модифікацією. У рослинних організмів карбонільовані білки розпізнаються та вибірково деградується переважно за участю 20S-протеасоми. Тому навіть за умов активного оксидативного стресу їхній вміст може зменшуватись, якщо швидкість деградації перевищує швидкість утворення нових пошкоджених білків. Водночас продукти ПОЛ можуть продовжувати накопичуватися, що проявляється у зростанні рівня ТБК-позитивних продуктів (Ciaska, 2020, pp. 1–13).

Порівнюючи всі отримані результати, можна зробити висновок, що всі дослідні групи відреагували по-різному на вплив композицій метаболічно активних сполук. Усі досліджувані нами метаболічно активні речовини не вплинули на вміст похідних карбонових, гідроксибензойних та оксикоричних кислот у насінні базилику. Проте насіння з дослідної групи 1 (ЕПМ) продемонструвало найвищий рівень тригліцеридів та антоціанів. Найвищий вміст кемпферолу та кверцитину міститься в дослідній групі 2 (ЕПММg). Найефективніше збільшення вмісту вторинних метаболітів продемонструвала композиція EQ (дослідна група 3), що свідчить про доцільність її використання для ефективною активації захисних та адаптаційних процесів у рослинному організмі.

Висновки. Для насіння базилику контрольної групи характерний найвищий вміст похідних карбонових та гідроксибензойних кислот, оксикоричних кислот. Насіння першої дослідної групи (ЕПМ) містить найбільше тригліцеридів

та антоціанів, що може свідчити про високу стійкість рослин до біотичних та абіотичних факторів стресу.

Насіння другої дослідної групи (ЕПММg) містить найбільше флавонолів. Високі рівні кемпферолу та глікозидів кверцитину демонструють імовірний протизапальний та імунomodуючий потенціал.

У насінні третьої дослідної групи (EQ) міститься найбільша кількість різних досліджуваних вторинних метаболітів: монотерпеноїдів та ізопреноїдів, флавононів, похідних 4-, 7-дигідроксифлавону, катаболітів хлорофілів А та В, каротиноїдів. Ці результати демонструють потужний антиоксидантний потенціал цього насіння та його високу стійкість до стресу.

Також встановлено, що насіння базилику з контрольної та другої дослідної груп містить найнижчий рівень ТБК-позитивних продуктів, що свідчить про нижчу інтенсивність протікання процесів перекисного окиснення ліпідів.

Проте за результатами дослідження вмісту карбонільних продуктів перекисного окиснення білків встановлено, що в насінні базилику всіх дослідних груп спостерігається значне інгібування окиснення білкових структур, що може свідчити про нормалізацію цього процесу та, відповідно, зменшення інтенсивності накопичення продуктів окиснення.

Таке одночасне зростання рівня ТБК-позитивних продуктів та зниження рівня продуктів перекисного окиснення білків може свідчити про те, що процеси окиснення ліпідів та білків перебувають під різним контролем.

Отримані результати демонструють, що композицію метаболічно активних сполук вітамін Е + CoQ10 доцільно використовувати для активації та комплексного посилення захисних та адаптаційних механізмів у базилику.

Ці результати можуть бути використані в рослинництві, а також у медичній, фармацевтичній чи харчовій промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

- Piasecka A. Secondary metabolites in plant innate immunity: Conserved function of divergent chemicals. *New Phytol.* 2015. Vol. 206. P. 948–964.
- Onkokesung N. Modulation of flavonoid metabolites in *Arabidopsis thaliana* through overexpression of the MYB75 transcription factor: Role of kaempferol-3,7-dirhamnoside in resistance to the specialist insect herbivore *Pieris brassicae*. *J. Exp. Bot.* 2014. Vol. 65. P. 2203–2217.
- Davoris D., Sola I., Ludwig-Müller J. Variances in physiological parameters associated with stress tolerance between seven *Brassica oleracea* varieties. *Frontiers in Plant Science.* 2025. Vol. 16. P. 1–18. DOI: 10.3389/fpls.2025.1713155.
- Han R. Reaction Dynamics of Flavonoids and Carotenoids as Antioxidants. *Molecules.* 2012. Vol. 17. P. 2140–2160.
- Atef Chouikh, Aouatef Chenguel, Anis Ben Ali. Understanding the role of free radicals, oxidative stress, and antioxidants: a comprehensive review. *Letters in applied NanoBioScience.* 2025. Vol. 14. № 2. P. 1–18. DOI: 10.33263/LIANBS142.066.
- Nakabayashi R., Yonekura-Sakakibara K. Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by overaccumulation of antioxidant flavonoids. *Plant J.* 2014. Vol. 77. P. 367–379.
- Осипчук Р., Кучменко О. Оцінка антиоксидантного потенціалу водних екстрактів із листя винограду, квіток робінії, насіння базиліку та зерен пшениці. *Наукові записки. Біологічні науки.* 2024. № 3. С. 25–33. DOI: 10.31654/2786-8478-2024-BN-3-25-33.
- Bilal A., Jahan N., Ahmed A., Bilal S.N., Habib S., Hajra S. Phytochemical and pharmacological studies on *Ocimum basilicum* Linn-A review. *Int. J. Curr. Res. Rev.* 2012. Vol. 2. № 2. P. 73–83.
- Khaliq R., Tita O., Sand C. A comparative study between seeds of sweet basil and psyllium on the basis of proximate analysis. *Sci. Pap. Ser. Manag. Econ. Eng. Agric. Rural. Dev.* 2017. Vol. 17. № 3. P. 189–194.
- Arundhathu S., Tejeshwar C., Sumeet S., Madathilparambil V. S., Bindu M., Krishnan R. The Holy Basil Administration Diminishes the NF-κB Expression and Protects Alveolar Epithelial Cells from Pneumonia Infection through Interferon Gamma. Author manuscript. *Phytother Res.* 2022. Vol. 36. № 4. P. 1822–1835. DOI: 10.1002/ptr.7428.
- Rezapour R., Ghiassi Tarzi B., Movahed S. The effect of adding sweet basil seed powder (*Ocimum basilicum* L.) on rheological properties and staling of baguette bread. *Food Biosci. Technol.* 2016. Vol. 6. № 2. P. 41–46.
- Santanu S., Prakash S. An anti-leishmanial compound 40, 7-dihydroxyflavone elicits ROS-mediated apoptosis-like death in *Leishmania parasite*. *The FEBS J.* 2022. № 290. P. 3646–3663. DOI: 10.1111/febs.16770.
- Sarikurkcü C., Locatelli M., Tartaglia A., Ferrone V., M Juszcak A., Ozer M. S., Tepe B., Tomczyk M. Enzyme and Biological Activities of the Water Extracts from the Plants *Aesculus hippocastanum*, *Olea europaea* and *Hypericum perforatum* That Are Used as Folk Remedies in Turkey. *Molecules.* 2020. Vol. 25. P. 1202–1217. DOI: 10.3390/molecules25051202.
- Simunkova M., Barbierikova Z., Jomova K., Hudecova L., Lauro P., Alwasel S. H., Alhazza I., Rhodes C. J., Valko M. Antioxidant vs. Prooxidant Properties of the Flavonoid, Kaempferol, in the Presence of Cu(II) Ions: A ROS-Scavenging Activity, Fenton Reaction and DNA Damage Study. *International Journal of Molecular Sciences.* 2021. Vol. 22. P. 1619–1636. DOI: 10.3390/ijms22041619.
- Silva B. N., Cadavez V., Caleja C., Pereira E., Calhella R. C., Molina A. K., Finimundy T., Kostić M., Soković M., Teixeira J. A., Barros L., Gonzales-Barron U. Chemical profiles and bioactivities of polyphenolic extracts of *Lavandula stoechas* L., *Artemisia dracunculoides* L. and *Ocimum basilicum* L.. *Food Chemistry.* 2024. Vol. 451. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.139308.
- Othman A. J., Vodomezova E. S., Mardini M., Hanana M. B. Dataset for the content of bioactive components and phytonutrients of (*Ocimum basilicum* and *Brassica rapa*) microgreens. *Data in Brief.* 2022. Vol. 40. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.dib.2021.107737.
- Misbaudeen A., Ibrahim O. Virtual screening, ADMET profiling, PASS prediction, and bioactivity studies of potential inhibitory roles of alkaloids, phytosterols, and flavonoids against COVID-19 main protease (M^{pro}). *Natural Product Research.* 2021. Vol. 36. № 12. P. 1–7.
- Fabio B. Efficacy and Mechanisms of Action of Essential Oils' Vapours against Blue Mould on Apples Caused by *Penicillium expansum*. *International Journal of Molecular Sciences.* 2023. Vol. 24. P. 1–15.
- Осипчук Р. Біохімічна характеристика антиоксидантного потенціалу коров'ячого та козиного молока. *Молодий вчений.* 2021. № 11. С. 94–98. DOI: 10.32839/2304-5809/2021-11-99-21.
- Кузьмак І., Дмухальська Є. Окиснювальна модифікація білків у щурів різного віку за умов гострого отруєння токсинами білої поганки. *Медична та клінічна хімія.* 2017. Т. 19. № 1. С. 114–118.
- Morais C. Anthocyanins as inflammatory modulators and the role of the gut microbiota. *J. Nutr. Biochem.* 2016. Vol. 33. P. 1–7.
- Liobikas J. Anthocyanins in cardioprotection: a path through mitochondria. *Pharmacol. Res.* 2016. Vol. 113. P. 808–815.
- Qin X. Beneficial phytochemicals with anti-tumor potential revealed through metabolic profiling of new red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.). *Int. J. Mol. Sci.* 2018. Vol. 19. P. 1165.
- Методи фармакогностичного аналізу. Первинні метаболіти. Терпеноїди. Тритерпеноїди. Кардіостероїди : навчально-методичний посібник з фармакогнозії з основами фітокосметики / уклад.: Тржецинський С. Д., Доля В. С. Запоріжжя : Запорізький державний медичний університет, 2014. 131 с.
- Aruoma O. I., Halliwell B., Hoey B. M., Bucler J. The antioxidant action of N-acetylcysteine: its reaction with hydrogen peroxide, hydroxyl radical, superoxide, and hypochlorous acid. *Free Radical Biology and Medicine.* 1985. P. 593–597.

Берник О., Савчук О. Пероксидне окиснення білків печінки за умов гіпоацидного стану. *Фізика живого*. 2010. Т. 18. № 3. С. 89–92.

Abeyrathne E., Nam K., Ahn D. U. Analytical methods for Lipid Oxidation and Antioxidant Capacity in Food Systems. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10. P. 1–19. DOI: 10.3390/antiox10101587.

Guillen-Sans R., Guzman-Chozas M. The Thiobarbituric Acid (TBA) Reaction in Feeds: A Review. *Food Science and Nutrition*. 1998. Vol. 38. № 4. P. 315–350.

Ciacka K., Tyminski M., Gniazdowska A. Carbonylation of proteins — an element of plant ageing. *Planta*. 2020. Vol. 252. № 12. P. 1–13. DOI: 10.1007/s00425-020-03414-1.

REFERENCES

Piasecka, A. (2015). Secondary metabolites in plant innate immunity: Conserved function of divergent chemicals. *New Phytol.*, 206, 948–964.

Onkokesung, N. (2014). Modulation of flavonoid metabolites in *Arabidopsis thaliana* through overexpression of the MYB75 transcription factor: Role of kaempferol-3,7-dirhamnoside in resistance to the specialist insect herbivore *Pieris brassicae*. *J. Exp. Bot.*, 65, 2203–2217.

Davoris, D., Sola, I., Ludwig-Müller, J. (2025). Variances in physiological parameters associated with stress tolerance between seven Brassica oleracea varieties. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1713155>.

Han, R. (2012). Reaction Dynamics of Flavonoids and Carotenoids as Antioxidants. *Molecules*, 17, 2140–2160.

Atef Chouikh, Aouatef Chenguel, Anis Ben Ali (2025). Understanding the role of free radicals, oxidative stress, and antioxidants: a comprehensive review. *Letters in applied NanoBioScience*, 14 (2), 1–18. <https://doi.org/10.33263/LIANBS142.066>.

Ami'c, D. (2003). Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croat. Chem.*, 76, 55–61.

Nakabayashi, R., Yonekura-Sakakibara, K. (2014). Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by overaccumulation of antioxidant flavonoids. *Plant J.*, 77, 367–379.

Osyphuk, R., Kuchmenko, O. (2024). Otsinka antyoksydantnoho potentsialu vodnykh ekstraktiv iz lystia vynohradu, kvitok robinii, nasinnia bazyliku ta zeren pshehytsi [Assessment of the antioxidant potential of aqueous extracts from grape leaves, robinia flowers, basil seeds and wheat grains.]. *Naukovi zapysky. Biolohichni nauky*, 3, 25–33. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-3-25-33> [in Ukrainian].

Bilal, A., Jahan, N., Ahmed, A., Bilal, S.N., Habib, S., Hajra, S. (2012). Phytochemical and pharmacological studies on *Ocimum basilicum* Linn-A review. *Int. J. Curr. Res. Rev.*, 2 (2), 73–83.

Khalik, R., Tita, O., Sand, C. (2017). A comparative study between seeds of sweet basil and psyllium on the basis of proximate analysis. *Sci. Pap. Ser. Manag. Econ. Eng. Agric. Rural. Dev.*, 17 (3), 189–194.

Arundhathu, S., Tejeshwar, C., Sumeet, S., Madathilparambil, V. S., Bindu, M., Krishnan, R. (2022). The Holy Basil Administration Diminishes the NF-κB Expression and Protects Alveolar Epithelial Cells from Pneumonia Infection through Interferon Gamma. Author manuscript. *Phytother Res.*, 36 (4), 1822–1835. <https://doi.org/10.1002/ptr.7428>.

Rezapour, R., Ghiassi Tarzi, B., Movahed, S. (2016). The effect of adding sweet basil seed powder (*Ocimum basilicum* L.) on rheological properties and staling of baguette bread. *Food Biosci. Technol.*, 6 (2), 41–46.

Santanu, S., Prakash S. (2022). An anti-leishmanial compound 40 ,7-dihydroxyflavone elicits ROS-mediated apoptosis-like death in *Leishmania* parasite. *The FEBS J.*, 290, 3646–3663. <https://doi.org/10.1111/febs.16770>.

Sarikurcu, C., Locatelli, M., Tartaglia, A., Ferrone, V., M Juszcak, A., Ozer, M. S., Tepe, B., Tomczyk, M. (2020). Enzyme and Biological Activities of the Water Extracts from the Plants *Aesculus hippocastanum*, *Olea europaea* and *Hypericum perforatum* That Are Used as Folk Remedies in Turkey. *Molecules*, 25, 1202–1217. <https://doi.org/10.3390/molecules25051202>.

Simunkova, M., Barbierikova, Z., Jomova, K., Hudecova, L., Lauro, P., Alwasel, S. H., Alhazza, I., Rhodes, C. J., Valko, M. (2021). Antioxidant vs. Prooxidant Properties of the Flavonoid, Kaempferol, in the Presence of Cu(II) Ions: A ROS-Scavenging Activity, Fenton Reaction and DNA Damage Study. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 1619–1636. <https://doi.org/10.3390/ijms22041619>.

Silva, B. N., Cadavez, V., Caleja, C., Pereira, E., Calhelha, R. C., Molina, A. K., Finimundy, T., Kostić, M., Soković, M., Teixeira, J. A., Barros, L., Gonzales-Barron, U. (2024). Chemical profiles and bioactivities of polyphenolic extracts of *Lavandula stoechas* L., *Artemisia dracunculus* L. and *Ocimum basilicum* L.. *Food Chemistry*, 451, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139308>.

Othman, A. J., Vodorezova, E. S., Mardini, M., Hanana, M. B. (2022) Dataset for the content of bioactive components and phytonutrients of (*Ocimum basilicum* and *Brassica rapa*) microgreens. *Data in Brief*, 40, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107737>.

Misbaudeen, A., Ibrahim, O. (2021). Virtual screening, ADMET profiling, PASS prediction, and bioactivity studies of potential inhibitory roles of alkaloids, phytosterols, and flavonoids against COVID-19 main protease (M^{pro}). *Natural Product Research*, 36 (12), 1–7.

Fabio, B. (2023). Efficacy and Mechanisms of Action of Essential Oils' Vapours against Blue Mould on Apples Caused by *Penicillium expansum*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24, 1–15.

Osypchuk, R. (2021). Biokhimichna kharakterystyka antyoksydantnoho potentsialu korov'achoho ta kozynoho moloka [Biochemical characteristics of the antioxidant potential of cow's and goat's milk]. *Molodyi vchenyi – Young Scientist*, 11, 94–98. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-11-99-21> [in Ukrainian].

Kuzmak, I., Dmukhalska, Ye. (2017). Okysniuvalna modyfikatsiia bilkiv u shchuriv riznoho viku za umov hostroho otruiennia toksynamy blidoi pohanky [Oxidative modification of proteins in rats of different ages under conditions of acute poisoning by toxins of pale toadstool]. *Medychna ta klinichna khimiia*, 19 (1), 114–118 [in Ukrainian].

Morais, C. (2016). Anthocyanins inflammatory modulators and the role of the gut microbiota. *J. Nutr. Biochem.*, 33, 1–7.

Liobikas J. (2016) Anthocyanins in cardioprotection: a path through mitochondria. *Pharmacol. Res.*, 113, 808–815.

Qin, X. (2018) Beneficial phytochemicals with anti-tumor potential revealed through metabolic profiling of new red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.). *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 1165.

Trzhetsynskyi, S. D., Dolia, V. S. (2014). Metody farmakohnostychnoho analizu. Pervynni metabolity. Terpenoidy. Tryterpenoidy. Kardiosteroidy. [Methods of pharmacognostic analysis. Primary metabolites. Terpenoids. Triterpenoids. Cardiosteroids.]. *Navchalno-metodychnyi posibnyk z farmakohnozii z osnovamy fitokosmetyky. Zaporizkyi derzhavnyi medychnyi universytet*. 131 [in Ukrainian].

Aruoma, O. I., Halliwell, B., Hoey, B. M., Bucler, J. (1985). The antioxidant action of N-acetylcysteine: its reaction with hydrogen peroxide, hydroxyl radical, superoxide, and hypochlorous acid. *Free Radical Biology and Medicine*, 593–597 [in English].

Bernyk, O., Savchuk, O. (2010). Peroksydne okysnennia bilkiv pechinky za umov hipoatsydnoho stanu [Peroxide oxidation of liver proteins under conditions of hypoacid state]. *Fizyka zhyvoho*, 18 (3), 89–92 [in Ukrainian].

Abeyrathne, E., Nam, K., Ahn, D. U. (2021) Analytical Methods for Lipid Oxidation and Antioxidant Capacity in Food Systems. *Antioxidants*, 10, 1–19. <https://doi.org/10.3390/antiox10101587>.

Guillen-Sans, R., Guzman-Chozas, M. (1998) The Thiobarbituric Acid (TBA) Reaction in Feeds: A Review. *Food Science and Nutrition*, 38 (4), 315–350.

Ciacka, K., Tyminski, M., Gniazdowska, A. (2020) Carbonylation of proteins – an element of plant ageing. *Planta*, 252 (12), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03414-1>.

Стаття надійшла до редакції 30.01.2026

Стаття прийнята до друку 20.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 03.09.2026

Конфлікт інтересів: відсутній.

Внесок авторів:

Осипчук Р.П. – дизайн та проведення досліджень, написання статті;

Кучменко О.Б. – дизайн досліджень, коригування статті;

Іванніков Р.В. – проведення хроматографічних досліджень, аналіз та інтерпретація отриманих результатів;

Аніщенко В.Н. – проведення хроматографічних досліджень;

Іваннікова Н.С. – допоміжні технічні роботи для хроматографічних досліджень;

Карпенко Д.В. – проведення досліджень.

Електронна адреса для листування з авторами:

kuchmenko1978@gmail.com