

УДК 547.97: 547.9

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.5.2.14>

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ НАТУРАЛЬНИХ БАРВНИКІВ У ПОРІВНЯННІ ІЗ СИНТЕТИЧНИМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІТОТЕСТУВАННЯ

Науменко Т. А. – аспірант, асистент кафедри технології харчування
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0001-7884-6792
Researcher ID: MFH-9127-2025

Мельник О. Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології харчування
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-9201-7955
Scopus-Author ID: 57808779100
Researcher ID: ABD-5115-2020

У роботі представлено результати дослідження біологічної дії натуральних барвників у порівнянні із синтетичними за допомогою фітотестування. Експеримент здійснювали на сортовій посівній пшениці з лабораторною схожістю 95–96%. Пророщування проводили у чашках Петрі протягом чотирьох діб у 1%-му водному розчині відповідного барвника за температури $(28 \pm 1,5)^{\circ}\text{C}$ і відносної вологості 85–90% при режимі освітлення 12 годин темряви і 12 годин під дією ультрафіолету. Як контроль використовували насіння, пророщене у дистильованій воді, яке мало 94% проростання, середню довжину коренів $65,34 \pm 1,07$ мм і довжину епикотилів $60,0 \pm 1,58$ мм, що свідчить про оптимальні умови росту без інгібуючих факторів. При дії барвника E133 (діамантовий синій FCF) показники проростання залишалися високими – 92%, довжина коренів становила $66,62 \pm 1,61$ мм, а епикотилів – $60,0 \pm 1,43$ мм, що свідчить про відсутність суттєвого токсичного ефекту цього барвника за даних умов. На відміну від цього, барвник E122 (азорубін) повністю пригнічував проростання – насіння набухло, але не проросло, що вказує на виражену фітотоксичність і підтверджує дані літератури про цитотоксичність азобарвників, які розкладаються з утворенням ароматичних амінів, що здатні інгібувати ферментативну активність, порушувати клітинні мембрани та викликати окислювальний стрес.

При використанні натуральних барвників, отриманих з вичавок бузини, ожжини та йожити, спостерігалися високі показники проростання – 90–92%. Зокрема, при дії барвника з вичавок бузини відсоток проростання становив 92%, довжина коренів $66,06 \pm 1,03$ мм, епикотилів $58,0 \pm 1,88$ мм, при використанні барвника з ожжини – 90% проростання, довжина коренів $67,24 \pm 1,83$ мм, епикотилів $56,0 \pm 1,15$ мм, а при дії барвника з йожити – 90% проростання, довжина коренів $64,23 \pm 1,10$ мм і епикотилів $58,0 \pm 1,39$ мм. Незначне зниження довжин епикотилів та коренів порівняно з контролем може бути пов'язане з дією антоціанів і фенольних сполук, що входять до складу рослинних екстрактів, оскільки ці речовини здатні утворювати комплекси з білками, зокрема ферментами, які беруть участь у гідролізі запасних речовин, та проявляти як антиоксидантні, так і інгібуючі властивості. Найбільшу довжину коренів спостерігали у зразку з барвником із ожжини, що свідчить про можливу стимулюючу дію біоактивних компонентів цього екстракту.

Таким чином, результати дослідження підтвердили, що синтетичний барвник E122 проявляє виражену токсичність, тоді як E133 не чинить негативного впливу на проростання. Натуральні барвники, отримані з рослинної сировини, зберігають високу схожість насіння і не викликають істотних порушень ростових процесів, демонструючи лише незначні відхилення у довжині епикотилів і коренів. Це свідчить про їхню відносну безпечність та можливість використання як екологічно прийнятної альтернативи синтетичним барвникам, що є перспективним напрямом подальших досліджень у харчовій промисловості.

Ключові слова: натуральні барвники, синтетичні барвники, барвні речовини, вичавки, антоціани, фітотестування, пророщування.

Naumenko T. A., Melnyk O. Yu. Research on the biological action of natural dyes in comparison with synthetic ones using phytotesting

The paper presents the results of a study of the biological effect of natural dyes in comparison with synthetic ones using phytotesting. Experiments were carried out on varietal seed wheat with laboratory germination of 95–96%. Germination was carried out in Petri dishes for four days in a 1% aqueous solution of the corresponding dye at a temperature of $(28 \pm 1.5)^{\circ}\text{C}$ and a relative humidity of 85–90% with a lighting regime of 12 hours in the dark and 12 hours under the influence of ultraviolet light. As a control, a seedling germinated in distilled water was used, which had 94% germination, an average root length of 65.34 ± 1.07 mm and an epicotyl length of 60.0 ± 1.58 mm, which indicates optimal growth conditions without inhibitory factors. Under the influence of the dye E133 (Diamond Blue FCF), germination rates remained high – 92%, the length of the roots was 66.62 ± 1.61 mm, and epicotyls – 60.0 ± 1.43 mm, which indicates a violation of the significant toxic effect of this dye under these conditions. Based on this, the dye E122 (azorubine) completely suppressed germination – the contents swelled, but did not germinate, which indicates pronounced phytotoxicity and confirms the literature data on the cytotoxicity of azo dyes, which are formed with the formation of aromatic amines, which are able to inhibit enzymatic activity, disrupt cell membranes and cause oxidative stress.

When using natural dyes obtained from elderberry, blackberry and yoshta pomace, high germination rates were observed – 90–92%. In particular, when using elderberry pomace dye, the germination percentage was 92%, root length was 66.06 ± 1.03 mm, epicotyls 58.0 ± 1.88 mm, when using blackberry dye – 90% germination, root length was 67.24 ± 1.83 mm, epicotyls 56.0 ± 1.15 mm, and when using yoshta dye – 90% germination, root length was 64.23 ± 1.10 mm and epicotyls 58.0 ± 1.39 mm. A slight decrease in the lengths of epicotyls and roots compared to the control may be due to the action of anthocyanins and phenolic compounds included in plant extracts, since these substances are able to form complexes with proteins, in particular enzymes involved in the hydrolysis of reserve substances, and exhibit both antioxidant and inhibitory properties. The greatest root length was observed in the sample with blackberry dye, which indicates a possible stimulating effect of the bioactive components of this extract. Thus, the results of the study confirmed that the synthetic dye E122 exhibits pronounced toxicity, while E133 does not have a negative effect on germination. Natural dyes obtained from plant raw materials maintain high seed germination and do not cause significant disruptions in growth processes, demonstrating only minor deviations in the length of epicotyls and roots. This indicates their relative safety and the possibility of using them as an environmentally acceptable alternative to synthetic dyes, which is a promising direction for further research in the food industry.

Key words: natural dyes, synthetic dyes, coloring substances, pomace, anthocyanins, phytotesting, germination.

Постановка проблеми. Барвники належать до важливої групи харчових добавок, які застосовуються для покращення зовнішнього вигляду продукції шляхом відновлення або посилення природного кольору сировини та надання привабливого забарвлення продуктам без власного кольору. Їх використовують у виробництві кондитерських, молочних та кисломолочних виробів, напоїв, соусів, сирів, джемів, желе і десертів. Усі дозволені в ЄС барвники проходять експертизу та оцінку безпечності. Проте зростання попиту на екологічно чисті продукти підвищує потребу у дослідженні впливу барвників на живі організми. Для цього застосовують тваринні та рослинні тестові системи, які дають змогу оцінити токсичність і безпечність сполук.

Надмірне споживання синтетичних барвників може викликати алергічні реакції, порушення роботи печінки й нирок, гормональні порушення, гіперактивність у дітей, а також прояви мутагенних і канцерогенних ефектів. Тому актуальним є пошук натуральних барвників як безпечної альтернативи синтетичним. Природні пігменти, хоч і менш стійкі до впливу зовнішніх факторів, містять антоціани та фенольні сполуки з антиоксидантними, протизапальними, імуномодуючими та загальнозмцнювальними властивостями. Використання фітотестів дозволяє встановити можливі токсичні ефекти, визначити рівень безпечності та обґрунтувати перспективність застосування натуральних барвників у харчовій промисловості. Таким чином, використання фітотестів у порівнянні натуральних і синтетичних

барвників дає можливість визначити токсичність, рівень безпеки та перспективність застосування у харчовій промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рослини є наземними первинними продуцентами, що формують основу більшості екосистем. Вони перебувають у постійному обміні речовин із навколишнім середовищем і здатні акумулювати як корисні, так і токсичні сполуки. Завдяки цим властивостям рослини є важливою складовою системи тестів для оцінювання токсичності харчових барвників та їхнього впливу на живі організми. Рослини активно взаємодіють із середовищем, поглинаючи воду, вуглекислий газ, макро- та мікроелементи навіть при мінімальних концентраціях. У процесі обміну речовин вони здатні акумулювати забруднювальні речовини з повітря, води та ґрунту. Ця здатність до накопичення шкідливих сполук використовується у фітоіндикації та рекультивації забруднених територій [1].

Фітотестування як метод оцінки фітотоксичності ґрунтується на аналізі особливостей проростання та росту насіння під дією токсичних речовин у навколишньому середовищі. Використання біоаналітичних методів із рослинними тест-об'єктами забезпечує високу чутливість і точність при оцінюванні цитотоксичної активності сполук. Застосування рослинних систем для визначення генотоксичності має суттєві переваги перед тваринними моделями, оскільки більшість рослин характеризується невеликою кількістю хромосом, швидким поділом клітин меристеми та простими умовами культивування. Крім того, проведення досліджень не потребує складного обладнання, що робить методiku доступною та відтворюваною. Фітотести дозволяють виявляти генетичні зміни, спричинені хімічними поллютантами, а також оцінювати сумісний вплив кількох факторів, що забезпечує комплексну характеристику рівня забруднення та його біологічних наслідків [2].

Ростові фітотести поділяють на три основні групи: лабораторні, вегетаційні та мікроділянкові. Серед них найбільш ефективними для екологічного моніторингу вважаються лабораторні методи завдяки високій швидкості проведення, економічності та точності. Вони дозволяють здійснювати дослідження у контрольованих умовах, що забезпечує стабільність і відтворюваність результатів. Лабораторне фітотестування ґрунтується на чутливості рослин до дії хімічних речовин, зокрема харчових домішок, що проявляється у змінах ростових та морфологічних параметрів.

Через генетичну різноманітність представники різних видів і сортів рослин по-різному реагують на вплив забруднювачів. Одні види реагують лише на окремі речовини, інші – на кілька одночасно, а деякі не проявляють реакції або демонструють слабкий ефект. Тому при виборі рослин для біомоніторингу враховують їхню реактивність до забруднень, наявність видимих пошкоджень, зміни темпів росту, морфологічні відхилення, порушення цвітіння та врожайності. Оптимальними є види, що не потребують спеціальних умов утримання та відзначаються стійкістю до шкідників і хвороб [3].

Для оцінювання токсичності харчових домішок аналізують морфологічні параметри рослин: висоту, кількість пагонів, довжину та ширину листків та відсоток проростання. Крім того, застосовують фізіологічні, біохімічні та цитогенетичні показники ростових тест-систем, що дозволяє кількісно оцінити вплив домішок на живі організми. Рослинні та тваринні тестові моделі широко використовуються для визначення токсичної та мутагенної дії харчових барвників, таких як: E101a (рибофлавін), E102 (тартразин), E120 (кармін), E127 (еритрозин), E132 (індіго-кармін), E133 (діамантовий блакитний FCF) та інші [4].

Для фітотестування використовують такі рослини: льон звичайний (*Linum usitatissimum* L.), соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.), ріпак озимий

(*Brassica napus* L.), огірок звичайний (*Cucumis sativus* L.), просо звичайне (*Panicum miliaceum* L.), крес-салат (*Lepidium sativum* L.), кріп городній (*Anethum graveolens* L.), конюшина (*Trifolium pratense* L.), овес посівний (*Avena sativa* L.), гречка посівна (*Fagopyrum vulgare* St.) та пшениця посівна (*Triticum aestivum* L.)

Мета дослідження – встановити біологічну дію розроблених натуральних барвників та здійснити їх порівняння із синтетичними аналогами за допомогою фітотестування.

Матеріали і методи дослідження. У дослідженні використовували синтетичні барвники E122 (азорубін) та E133 (діамантовий синій FCF), а також натуральні барвники з вичавок бузини чорної [5, 7], з вичавок ожини [6] та з вичавок йошти. Експеримент проводили із застосуванням фітотесту на насінні сортової посівної пшениці з лабораторною схожістю 95–96%. Пророщування здійснювали у чашках Петрі протягом чотирьох діб у 1%-му водному розчині відповідного барвника за температури $(28 \pm 1,5)^\circ\text{C}$ та відносної вологості 85–90%. Як контроль використовували насіння пророщене у дистильованій воді.

Режим пророщування становив 12 год. у темряві та 12 год. під дією ультрафіолетового освітлення. Для запобігання пересиханню зразків здійснювали їх щоденне зволоження водопровідною водою м. Суми. На четверту добу експерименту визначали відсоток проростання насіння, а також довжину коренів та епікотилів проростків.

На основі отриманих результатів розраховували середні значення довжини коренів та епікотилів проростків за формулою:

$$s_c = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

де S_c – середнє арифметичне довжин коренів та епікотилів,

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – індивідуальні значення довжин,

n – кількість коренів або проростків у вибірці.

Похибку середнього арифметичного значення визначали за формулою:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (S_c - x_i)^2}{n(n-1)}}$$

де S_x – середня похибка середнього арифметичного,

S_c – середнє арифметичне довжин,

n – кількість вимірювань,

x_i – окреме значення довжини.



Рис. 1. Підготування зразків до проведення фітотестування:
1 – пророщування під УФ-освітленням, 2 – розміщення насіння у чашках Петрі з водними розчинами барвників, 3 – насіння сортової пшениці

Аналіз схожості насіння пшениці проводили відповідно до вимог ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [8]. Обробку експериментальних даних здійснювали з використанням програмного забезпечення Excel.

Виклад основного матеріалу. Проаналізуємо результати дослідження пророщування насіння пшениці, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження впливу синтетичних і натуральних барвників на пророщування насіння пшениці на четверту добу

Назва зразка	Відсоток проростання, %	Довжина коренів, мм	Довжина епикотилів, мм
Контроль (без барвника)	94,0	65,34±1,07	60,0±1,58
E122	-	Набухло, але не проросло	
E133	92,0	66,62±1,61	60,0±1,43
Барвник з бузини	92,0%	66,06±1,03	58,0±1,88
Барвник з ожини	90,0%	67,24±1,83	56,0±1,15
Барвник з йогурту	90,0%	64,23±1,1	58,0±1,39

Результати табл. 1 демонструють різний вплив синтетичних і натуральних барвників на процес проростання насіння пшениці. Найвищі показники проростання спостерігалися у контрольному зразку, де відсоток проростання становив 94 %, середня довжина коренів – 65,34±1,07 мм, а довжина епикотилів – 60,0±1,58 мм. Це свідчить про оптимальні умови розвитку насіння за відсутності інгібіторів росту.

Серед синтетичних барвників помітні відмінності у впливі на пророщування. При дії барвника E133 відсоток проростання становив 92 %, що лише незначно нижче від контролю. Довжина коренів досягала 66,62 ± 1,61 мм, а епикотилів – 60,0 ± 1,43 мм, тобто спостерігалися показники, практично ідентичні контрольним. Це свідчить про відсутність суттєвого токсичного ефекту барвника E133 у досліджених умовах. Аналогічні результати підтверджуються дослідженнями [9], де зазначається, що барвник E133 у низьких концентраціях не проявляє помітної фітотоксичності.

Натомість дія барвника E122 мала виражений негативний ефект: насіння набухло, але не проросло. Відсутність проростання свідчить про токсичну дію барвника на життєві процеси клітин зародка, що призвело до припинення ростових процесів уже на ранній стадії. Подібні результати підтверджуються у дослідженнях [11], де доведено цитотоксичність та генотоксичність E122 у модельних біосистемах. Це пояснюється тим, що азобарвники здатні розкладатися з утворенням ароматичних амінів, які пригнічують активність ферментів, викликають окислювальний стрес і порушують цілісність клітинних мембран, що призводить до погіршення процесів пророщування.



Рис. 2. Зразки після 4 діб проростання:
1 – барвник E133, 2 – барвник E122, 3 – контроль

Серед натуральних барвників, отриманих з вичавок плодів бузини, ожини та йошти, показники проростання були високими, хоча дещо нижчими за контроль. При використанні барвника з бузини відсоток проростання становив 92 %, довжина коренів – $66,06 \pm 1,03$ мм, епікотилів – $58,0 \pm 1,88$ мм. Для барвника з ожини спостерігалось 90 % проростання, довжина коренів – $67,24 \pm 1,83$ мм, епікотилів – $56,0 \pm 1,15$ мм. При дії барвника з йошти проросло 90% насіння, із середньою довжиною коренів $64,23 \pm 1,1$ мм і довжиною епікотилів $58,0 \pm 1,39$ мм. Використання натуральних барвників не призвели до істотного зниження схожості, проте відмічалось невелике зменшення довжин епікотилів і коренів порівняно з контролем. Це може бути обумовлено наявністю у рослинних екстрактах антоціанів та фенольних сполук, які мають складну біохімічну дію на клітини проростків. Зокрема, фенольні сполуки здатні утворювати комплекси з білками, змінюючи активність ферментів, у тому числі α -амілази, яка відіграє ключову роль у гідролізі крохмалю на етапі пророщування [11].

Зниження довжини епікотилів при використанні барвників з бузини, ожини та йошти можна пояснити частковим інгібуванням ферментативних процесів, що призводить до уповільнення росту проростків. При цьому антоціани, які є головними барвними пігментами ягідних вичавок, можуть чинити подвійний ефект: у низьких концентраціях вони виступають антиоксидантами, сприяючи стабілізації клітинних мембран, тоді як у вищих – здатні пригнічувати проліферацію клітин і викликати оксидативний дисбаланс [12].

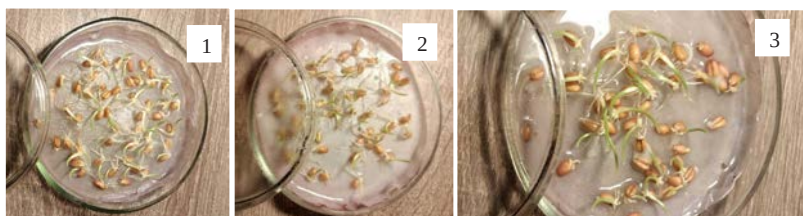


Рис. 3. Зразки після 4 діб проростання:

1 – барвник з бузини, 2 – барвник з ожини, 3 – барвник з йошти

Висновки. Проведене дослідження підтвердило, що натуральні барвники, отримані з рослинної сировини, не чинять істотного негативного впливу на процес проростання насіння пшениці, на відміну від окремих синтетичних азобарвників (зокрема Е122), які проявляють виражену фітотоксичну дію. Отримані результати узгоджуються з даними джерел [9, 11] і свідчать про доцільність використання фітотестування, як чутливого методу оцінки потенційної токсичності харчових барвників.

Таким чином, натуральні барвники можуть розглядатися як безпечна альтернатива синтетичним, оскільки вони не пригнічують основні фізіологічні процеси проростання. Водночас отримані дані демонструють важливість вибору типу та концентрації барвника, адже навіть природні сполуки можуть проявляти інгібувальний ефект на ріст проростків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Яковлева В. М. *Виявлення біологічних ефектів натуральних і синтетичних харчових барвників засобами фітотестування: кваліфікаційна робота (бакалавр)/* Херсонський держ. ун-т, каф. географії та екології. – Херсон, 2023. – 33 с.

2. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій : навч. посіб. Рівне : РДГУ, 2018. С. 76–77.
3. The first record of *Elodea nuttallii* (Hydrocharitaceae) in the Lower Dnipro River / A. O. Davydova et al. *Ukrainian Botanical Journal*. 2021. Vol. 78, no. 4. P. 303–307. URL: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj78.04.303>
4. Biological Effects of Food Coloring in In Vivo and In Vitro Model Systems / R. Merinas-Amo et al. *Foods*. 2019. Vol. 8, no. 5. P. 176. URL: <https://doi.org/10.3390/foods8050176>
5. Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. Технологія отримання антоціанового барвника з вичавок бузини чорної. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2025. № 1. С. 497–507. URL: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.51>
6. Ярмош Т. А., Мельник О. Ю. Технологія отримання антоціанового барвника з вичавок ожини. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes*. 2025. № 2. С. 81–86. URL: <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.2.13>
7. Investigating polyols to improve the efficiency of extracting anthocyanins from elderberry (*Sambucus nigra* L.) pomace / T. Yarmosh et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 3, no. 11 (135). P. 61–70. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.330457>
8. ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465
9. Amchova P., Siska F., Ruda-Kucerova J. Food Safety and Health Concerns of Synthetic Food Colors: An Update. *Toxics*. 2024. Vol. 12, no. 7. P. 466. URL: <https://doi.org/10.3390/toxics12070466>
10. Study of a common azo food dye in mice model: Toxicity reports and its relation to carcinogenicity / M. S. A. Reza et al. *Food Science & Nutrition*. 2019. Vol. 7, no. 2. P. 667–677. URL: <https://doi.org/10.1002/fsn3.906>
11. Rybak M., Wojdyło A. Inhibition of α -Amylase, α -Glucosidase, Pancreatic Lipase, 15-Lipoxygenase and Acetylcholinesterase Modulated by Polyphenolic Compounds, Organic Acids, and Carbohydrates of *Prunus domestica* Fruit. *Antioxidants*. 2023. T. 12, № 7. С. 1380. URL: <https://doi.org/10.3390/antiox12071380>
12. Anthocyanin can improve the survival of rice seeds from solar light outside the international space station / M. Sugimoto et al. *Life Sciences in Space Research*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2024.10.010>

REFERENCES:

1. Yakovlieva, V. M. (2023). *Vyivlennia biolohichnykh effektiv naturalnykh i syntetychnykh kharchovykh barvnykiv zasobamy fitotestuvannia* [Detection of biological effects of natural and synthetic food dyes by phytotesting]. Bachelor's qualification work, Kherson State University, Department of Geography and Ecology. Kherson, Ukraine.
2. Lysytsia, A. V. (2018). *Bioindykatsiia i biotestuvannia zabrudnynykh terytorii* [Bioindication and biotesting of polluted areas]. Rivne: Rivne State University of Humanities, pp. 76–77.
3. Davydova, A. O., et al. (2021). The first record of *Elodea nuttallii* (Hydrocharitaceae) in the Lower Dnipro River. *Ukrainian Botanical Journal*, 78(4), 303–307. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj78.04.303>
4. Merinas-Amo, R., et al. (2019). Biological effects of food coloring in *in vivo* and *in vitro* model systems. *Foods*, 8(5), 176. <https://doi.org/10.3390/foods8050176>
5. Yarmosh, T. A., & Pertsevoi, F. V. (2025). *Tekhnolohiia otrymannia antotsianovoho barvnyka z vychavok buzyny chornoi* [Technology for obtaining anthocyanin dye from elderberry pomace]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk. Seriia: Tekhnichni Nauky*, (1), 497–507. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.51>

6. Yarmosh, T. A., & Melnyk, O. Yu. (2025). *Tekhnolohiia otrymannia antotsianovoho barvnyka z vychavok ozhyny* [Technology for obtaining anthocyanin dye from blackberry pomace]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, (2), 81–86. <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.2.13>
7. Yarmosh, T., et al. (2025). Investigating polyols to improve the efficiency of extracting anthocyanins from elderberry (*Sambucus nigra* L.) pomace. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(11[135]), 61–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.330457>
8. Derzhavni Standarty Ukrainy. (2002). *DSTU 4138-2002 "Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti"* [DSTU 4138-2002 "Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality"]. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465
9. Amchova, P., Siska, F., & Ruda-Kucerova, J. (2024). Food safety and health concerns of synthetic food colors: An update. *Toxics*, 12(7), 466. <https://doi.org/10.3390/toxics12070466>
10. Reza, M. S. A., et al. (2019). Study of a common azo food dye in mice model: Toxicity reports and its relation to carcinogenicity. *Food Science & Nutrition*, 7(2), 667–677. <https://doi.org/10.1002/fsn3.906>
11. Rybak, M., & Wojdyło, A. (2023). Inhibition of α -amylase, α -glucosidase, \ pancreatic lipase, 15-lipoxygenase and acetylcholinesterase modulated by polyphenolic compounds, organic acids, and carbohydrates of *Prunus domestica* fruit. *Antioxidants*, 12(7), 1380. <https://doi.org/10.3390/antiox12071380>
12. Sugimoto, M., et al. (2024). Anthocyanin can improve the survival of rice seeds from solar light outside the International Space Station. *Life Sciences in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2024.10.010>

Дата першого надходження рукопису до видання: 22.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 20.11.2025

Дата публікації: 30.12.2025