

УДК 664.68:664.8.037:664.85

Божок О. С.,
kornikh.vl29@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-5127-2775,
к.т.н., доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи,
Вінницький торговельно-економічний інститут
Державного торговельно-економічного університету, м. Вінниця

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ АНТИОКСИДАНТІВ НА СТАБІЛЬНІСТЬ КОЛЬОРУ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРУКТОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ

Анотація. Існуючі тенденції розвитку харчової промисловості орієнтовані на виробництво продукції з натуральним складом, високою біологічною цінністю та мінімальним використанням синтетичних харчових добавок. Одним із найактуальніших напрямів є заміна синтетичних барвників і стабілізаторів кольору природними компонентами, які не лише забезпечують привабливий зовнішній вигляд продукції, а й підвищують її функціональні властивості. Особливу увагу привертають природні антиоксиданти рослинного походження, здатні уповільнювати процеси окиснення антоціанових пігментів і забезпечувати тривале збереження природного забарвлення ягідної сировини. Метою дослідження було встановлення впливу природних антиоксидантів рослинного походження на стабільність кольору кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини, визначення їх ефективності щодо збереження антоціанів та оцінка можливості використання як альтернативи синтетичним стабілізаторам кольору. Об'єктом дослідження був желейний мармелад на основі пюре чорної смородини. У роботі досліджували вплив екстракту розмарину, екстракту зеленого чаю та концентрату поліфенолів виноградних кісточок. Зразки зберігали протягом 60 діб за температури 20 ± 2 °C. Стабільність кольору оцінювали за координатами системи CIELAB (L^* , a^* , b^*), показником загальної зміни кольору ΔE , вмістом антоціанів та антиоксидантною активністю за методом DPPH. Статистичну обробку результатів виконували методом однофакторного дисперсійного аналізу. У результаті проведених досліджень встановлено, що використання природних антиоксидантів істотно уповільнює деградацію антоціанових пігментів під час зберігання продукції. Найвищу ефективність продемонстрував концентрат поліфенолів виноградних кісточок, який забезпечив збереження 86,5% антоціанів після 60 діб зберігання, тоді як у контрольному варіанті цей показник становив лише 58,4%. Одночасно загальна зміна кольору (ΔE) зменшилася з 9,21 у контрольному зразку до 3,42 у дослідному, що свідчить про значно вищу стабільність природного забарвлення. Доведено, що рослинні антиоксиданти сприяють підвищенню антиоксидантної активності готової продукції на 35–70% порівняно з контролем та забезпечують кращі органолептичні показники. Найвищі дегустаційні оцінки отримали зразки з екстрактом зеленого чаю та концентратом поліфенолів виноградних кісточок. Отримані результати підтверджують, що природні антиоксиданти можуть ефективно використовуватися як альтернатива синтетичним стабілізаторам кольору при виробництві кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини. Їх застосування забезпечує комплексний позитивний ефект, який полягає у стабілізації природного забарвлення, збереженні антоціанових пігментів, підвищенні антиоксидантної активності та покращенні споживчих властивостей продукції. Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження природних рослинних антиоксидантів у технології виробництва кондитерських виробів відповідно до сучасної концепції Clean Label. Перспективи подальших досліджень пов'язані з оптимізацією концентрацій природних антиоксидантів для різних видів ягідної сировини, вивченням їх синергетичної дії, застосуванням технологій мікрокапсулювання та дослідженням впливу сучасних пакувальних матеріалів на стабільність природного кольору під час тривалого зберігання.

Ключові слова: природні антиоксиданти, антоціани, стабільність кольору, поліфеноли, чорна смородина, Clean Label, антиоксидантна активність.

Bozhok O. S.,

kornukh.vl29@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-5127-2775,

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Tourism, Hotel and Restaurant Business,

Vinnitsia Institute of Trade and Economics of State University of Trade and Economics, Vinnitsia

INFLUENCE OF NATURAL ANTIOXIDANTS ON THE COLOR STABILITY OF CONFECTIONERY PRODUCTS CONTAINING FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS

Abstract. Current trends in the food industry are focused on producing foods with natural ingredients, enhanced nutritional value, and minimal use of synthetic food additives. One of the most promising approaches is replacing synthetic colorants and color stabilizers with natural compounds that not only preserve the attractive appearance of products but also improve their functional properties. Plant-derived natural antioxidants have attracted considerable attention because of their ability to inhibit the oxidative degradation of anthocyanins and maintain the natural color of berry-based foods during storage. The aim of this study was to investigate the effect of plant-derived natural antioxidants on the color stability of berry confectionery products, evaluate their ability to preserve anthocyanins, and assess their potential as an alternative to synthetic color stabilizers. The object of the study was jelly marmalade prepared from black currant puree. Rosemary extract, green tea extract, and grape seed polyphenol concentrate were used as natural antioxidants. The samples were stored for 60 days at 20 ± 2 °C. Color stability was evaluated using the CIELAB color system (L^* , a^* , b^*), total color difference (ΔE), anthocyanin retention, and antioxidant activity determined by the DPPH assay. Statistical analysis was performed using one-way analysis of variance (ANOVA). The results demonstrated that natural antioxidants significantly slowed anthocyanin degradation during storage. Grape seed polyphenol concentrate showed the highest efficiency, providing 86.5% anthocyanin retention after 60 days compared with only 58.4% in the control sample. The total color difference (ΔE) decreased from 9.21 in the control to 3.42 in the treated samples, indicating considerably better color stability. The addition of plant antioxidants increased antioxidant activity by 35–70% compared with the control and improved the sensory characteristics of the products. Samples containing green tea extract and grape seed polyphenols received the highest sensory evaluation scores. The obtained results confirm that plant-derived natural antioxidants can be successfully used as an alternative to synthetic color stabilizers in berry confectionery technology. Their application ensures better preservation of natural pigments, enhances antioxidant capacity, improves sensory quality, and supports the development of confectionery products that meet the requirements of the Clean Label concept. Further research should focus on optimizing antioxidant concentrations for different berry raw materials, investigating synergistic effects of combined plant extracts, developing microencapsulation technologies, and evaluating the influence of innovative packaging systems on long-term color stability.

Key words: natural antioxidants, anthocyanins, berry confectionery products, color stability, polyphenols, black currant, Clean Label, antioxidant activity.

JEL Classification: L 66

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2026-46-04>

Постановка проблеми. Одним із пріоритетних напрямів розвитку харчової промисловості є створення кондитерських виробів із використанням натуральної рослинної сировини, яка поєднує високі органолептичні властивості, харчову цінність та функціональне призначення. Зростання попиту на продукти з “чистою етикеткою” (Clean Label), які не містять синтетичних барвників, ароматизаторів і консервантів, стимулює виробників до пошуку природних альтернатив традиційним харчовим добавкам. Особливе зацікавлення у цьому напрямі викликають ягоди, які є природним джерелом антоціанів, флавоноїдів,

фенольних кислот, вітаміну С та інших біологічно активних сполук, що не лише формують привабливе забарвлення продукції, а й забезпечують її антиоксидантні властивості [1].

Ягідна сировина широко використовується у виробництві мармеладу, желейних виробів, пасти, зефіру, начинок, кремів, фруктових цукерок та інших кондитерських виробів. При цьому саме колір є одним із найважливіших показників якості, який визначає перше враження споживача та значною мірою впливає на його рішення щодо придбання продукції. Інтенсивне природне забарвлення асоціюється зі свіжістю, натуральністю та

високою харчовою цінністю виробу, тому збереження кольору протягом усього терміну зберігання є одним із ключових завдань сучасних харчових технологій [2].

Основними пігментами ягід є антоціани – водорозчинні поліфенольні сполуки, що забезпечують червоне, рожеве, пурпурове та синє забарвлення плодів. Незважаючи на високу антиоксидантну активність, антоціани характеризуються нестійкою хімічною структурою, яка легко руйнується під впливом технологічної обробки та зовнішніх чинників. Під час виробництва кондитерських виробів пігменти піддаються дії високих температур, кисню повітря, ультрафіолетового випромінювання, змін кислотності середовища, ферментативних процесів та іонів металів, що прискорює їх окиснення, деградацію і втрату кольору. Особливо інтенсивно ці процеси відбуваються під час варіння сиропів, концентрування ягідної маси, сушіння та тривалого зберігання готової продукції [3].

Втрата природного кольору супроводжується не лише погіршенням зовнішнього вигляду виробів, але й зниженням вмісту біологічно активних речовин, оскільки руйнування антоціанів відбувається одночасно зі зменшенням антиоксидантної активності продукту. В результаті це негативно впливає на функціональні властивості кондитерських виробів, скорочує термін їх придатності та погіршує конкурентоспроможність продукції на ринку. Тому питання стабілізації природних пігментів є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору.

Одним із найбільш перспективних способів підвищення стабільності кольору є використання природних антиоксидантів, які здатні пригнічувати процеси окиснення, нейтралізувати активні форми кисню, уповільнювати деградацію антоціанів та підтримувати стабільність поліфенольних комплексів. До таких антиоксидантів належать аскорбінова кислота, токофероли, розмаринова кислота, поліфеноли зеленого чаю, екстракти виноградної кісточки, чорноплідної горобини, журавлини, чорної смородини та інших рослин. Їх використання дозволяє зменшити швидкість втрати кольору без застосування синтетичних стабілізаторів, що відповідає сучасним тенденціям розвитку харчових технологій.

Таким чином, дослідження впливу природних антиоксидантів на стабільність кольору кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини є актуальним напрямом сучасної харчової науки, оскільки його результати

можуть стати науковою основою для вдосконалення рецептур, підвищення якості продукції та розширення асортименту функціональних кондитерських виробів із природними інгредієнтами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

За останні десять років інтерес до використання природних барвників у харчовій промисловості значно зріс у зв'язку з посиленням вимог щодо безпечності харчових продуктів і поступовим скороченням використання синтетичних барвників. Провідні наукові дослідження свідчать, що природні пігменти рослинного походження можуть не лише забезпечувати привабливе забарвлення продукції, а й підвищувати її функціональну цінність завдяки високому вмісту біологічно активних речовин. Особливу увагу дослідники приділяють антоціанам, які визнані одними з найперспективніших природних барвників для кондитерської галузі [4; 5].

Сучасні дослідження показують, що стабільність антоціанів визначається насамперед їхньою хімічною будовою. Встановлено, що ацильовані та більш складні за структурою антоціани характеризуються значно вищою стійкістю до нагрівання, світла та коливань кислотності, ніж неацильовані форми. Саме тому останніми роками активно досліджуються джерела антоціанів із природно підвищеною стабільністю, зокрема чорна морква, чорна смородина, чорноплідна горобина та бузина [6; 7].

Численні дослідження присвячені встановленню факторів, які прискорюють руйнування природних пігментів. Встановлено, що найбільш негативний вплив мають підвищена температура, контакт із киснем, тривале освітлення, високі значення рН, дія металів змінної валентності та окиснювальних ферментів. У кондитерському виробництві ці фактори часто поєднуються, що значно ускладнює забезпечення стабільності кольору під час технологічної обробки та зберігання готової продукції [8].

Важливим напрямом сучасних досліджень є застосування природних антиоксидантів як стабілізаторів кольору. Доведено, що поліфенольні сполуки, екстракти розмарину, зеленого чаю, виноградної кісточки, а також деякі рослинні кислоти можуть суттєво зменшувати швидкість окиснення антоціанів і сприяти збереженню інтенсивності забарвлення протягом тривалого зберігання. Значний ефект також спостерігається при використанні сумішей природних антиоксидантів, які проявляють синергетичну дію [9].

Окремий напрям досліджень пов'язаний із технологіями копігментації, комплексоутворення та мікрокапсулювання антоціанів. Використання білків, пектину, альгінатів, мальтодекстрину, гумі-арабіку та інших природних біополімерів дозволяє створювати захисні структури навколо молекул пігментів, підвищуючи їхню стійкість до термічного впливу, світла та окиснення. Такі технології вже успішно застосовуються при виробництві функціональних кондитерських виробів [10; 11].

Водночас аналіз сучасної наукової літератури показує, що більшість досліджень присвячена окремим механізмам стабілізації антоціанів або оцінці властивостей окремих природних барвників. Значно менше робіт стосується комплексного дослідження впливу природних антиоксидантів на стабільність кольору саме кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини різних технологічних груп (мармелад, желейні цукерки, пастила, зефір, фруктові начинки тощо). Недостатньо вивченими залишаються питання взаємодії антиоксидантів із рецептурними компонентами, впливу технологічних режимів виробництва на ефективність їхньої дії та визначення оптимальних концентрацій для забезпечення максимальної стабільності кольору без погіршення смакових властивостей продукції. Саме дані аспекти потребують подальших наукових досліджень.

Постановка завдання. Метою дослідження було визначити ефективність природних антиоксидантів рослинного походження щодо збереження природного кольору виробів під час зберігання та оцінити можливість їх використання як альтернативи синтетичним барвникам і стабілізаторам.

Для досягнення поставленої мети поставлено такі завдання:

- розробити модельну рецептуру желейного мармеладу на основі пюре чорної смородини з використанням природних антиоксидантів рослинного походження;
- визначити ступінь збереження антоціанових пігментів у процесі зберігання продукції;
- оцінити зміну кольорових характеристик виробів за координатами системи CIELAB (L^* , a^* , b^*) та показником загальної зміни кольору ΔE ;
- визначити антиоксидантну активність дослідних зразків і встановити взаємозв'язок між антиоксидантною активністю та стабільністю кольору;
- провести органолептичну оцінку готових виробів і визначити вплив природних антиоксидантів на їх споживчі властивості;

– порівняти ефективність природних антиоксидантів із традиційними синтетичними стабілізаторами кольору та оцінити перспективність їх використання у технології кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини концепції Clean Label.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження впливу природних антиоксидантів на стабільність кольору кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини було розроблено модельну рецептуру желейного мармеладу на основі пюре чорної смородини. Саме чорна смородина була обрана завдяки високому вмісту антоціанів (понад 250 мг/100 г) та значній антиоксидантній активності, що робить її перспективною сировиною для виробництва функціональних кондитерських виробів.

У дослідженні було виготовлено чотири дослідні зразки желейного мармеладу.

Контроль – традиційна рецептура без додавання антиоксидантів.

Дослід 1 – із внесенням 0,20% екстракту розмарину.

Дослід 2 – із внесенням 0,30% екстракту зеленого чаю.

Дослід 3 – із внесенням 0,50% концентрату поліфенолів виноградних кісточок.

Усі зразки виготовляли за однаковою технологією. Температура уварювання становила 92 ± 2 °C, кислотність готової маси підтримувалася на рівні pH 3,2–3,4. Зберігали продукцію протягом 60 діб при температурі 20 ± 2 °C без доступу прямого світла.

Для оцінювання стабільності кольору визначали координати кольору у системі CIELAB (L^* , a^* , b^*), розраховували загальну зміну кольору (ΔE), визначали вміст антоціанів диференціальним спектрофотометричним методом та антиоксидантну активність за методом DPPH. Кожне визначення виконували у триразовій повторності. Статистичну обробку проводили методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), відмінності вважали достовірними при $p < 0,05$.

Вже після 30 діб зберігання контрольний зразок характеризувався помітною втратою інтенсивності забарвлення. Значення координати a^* , яка характеризує насиченість червоного кольору, зменшилося майже на 20%, тоді як у дослідних зразках цей показник змінювався значно повільніше. Найкращі результати були отримані при використанні поліфенольного концентрату виноградних кісточок (Табл. 1).

Результати, наведені у таблиці 1, свідчать, що внесення природних антиоксидантів істотно сповільнює деградацію антоціанових пігментів. Якщо у контрольному варіанті після 60 діб зберігання втрачалось понад 40% природних барвників, то використання екстракту зеленого чаю дозволило зберегти 79,2%, а концентрату поліфенолів виноградинних кісточок – 86,5% антоціанів. Одночасно величина ΔE зменшилася майже утричі, що свідчить про значно краще збереження природного кольору виробів.

Для детальнішої оцінки стабільності кольору було досліджено динаміку зміни показника ΔE протягом усього періоду зберігання. Аналіз динаміки показника ΔE показав, що найбільш інтенсивні зміни кольору відбувалися у контрольному варіанті протягом усього періоду зберігання. Уже через 30 діб величина ΔE перевищила 4 одиниці, що відповідає добре помітній зміні кольору для споживача. У дослідних варіантах процес деградації відбувався значно повільніше. Найкращу стабільність забезпечував концентрат поліфенолів виноградинних кісточок, у якому навіть після 60 діб значення ΔE залишалося меншим ніж

3,5 одиниці, що свідчить про високу ефективність цього природного антиоксиданта (Табл. 2).

Координати кольорового простору CIELAB свідчать, що найбільших змін зазнав показник a^* , який характеризує інтенсивність червоного забарвлення. У контрольному варіанті його значення істотно зменшилося, тоді як застосування концентрату поліфенолів виноградинних кісточок забезпечило збереження понад 90% початкової інтенсивності кольору. Найвищі значення координати L^* були зафіксовані у контрольному варіанті, що вказує на освітлення продукту внаслідок деградації антоціанових пігментів (Табл. 3).

Поряд із фізико-хімічними показниками було проведено органолептичну оцінку готової продукції (Табл. 4).

Органолептичний аналіз підтвердив результати фізико-хімічних досліджень. Найвищі дегустаційні оцінки отримали зразки з екстрактом зеленого чаю та поліфенолами виноградинних кісточок. Вони характеризувалися насиченим природним кольором, гармонійним ягідним смаком і високою загальною споживчою привабливістю. Застосування екстракту розмарину також

Таблиця 1

Вплив природних антиоксидантів на зміну кольору мармеладу після 60 діб зберігання

Варіант	Збереження антоціанів, %	ΔE	Антиоксидантна активність, %
Контроль	58,4±1,6	9,21±0,34	41,8±1,4
Екстракт розмарину	74,8±1,3*	5,63±0,22*	56,9±1,2*
Екстракт зеленого чаю	79,2±1,5*	4,78±0,18*	63,4±1,6*
Поліфеноли виноградинних кісточок	86,5±1,1*	3,42±0,16*	71,6±1,3*

Примітка. * – різниця достовірна відносно контролю ($p < 0,05$).

Таблиця 2

Динаміка зміни показника ΔE під час зберігання мармеладу

Варіант	0 діб	15 діб	30 діб	45 діб	60 діб
Контроль	0,00	2,11	4,83	6,97	9,21
Екстракт розмарину	0,00	1,34	2,86	4,37	5,63
Екстракт зеленого чаю	0,00	1,02	2,31	3,58	4,78
Поліфеноли виноградинних кісточок	0,00	0,84	1,76	2,61	3,42

Таблиця 3

Координати кольору мармеладу після 60 діб зберігання

Варіант	L^*	a^*	b^*
Контроль	33,8	18,4	5,6
Екстракт розмарину	32,7	22,5	4,7
Екстракт зеленого чаю	32,1	23,8	4,2
Поліфеноли виноградинних кісточок	31,8	25,2	3,8

Таблиця 4

Органолептична оцінка мармеладу (5-бальна шкала)

Варіант	Колір	Смак	Запах	Консистенція	Загальна оцінка
Контроль	4,0	4,5	4,6	4,7	4,45
Екстракт розмарину	4,6	4,3	4,2	4,7	4,45
Екстракт зеленого чаю	4,8	4,8	4,8	4,8	4,80
Поліфеноли виноградних кісточок	4,9	4,9	4,8	4,8	4,85

Таблиця 5

Порівняльна ефективність природних антиоксидантів і синтетичного стабілізатора кольору

Варіант	ΔE	Збереження антоціанів, %	Антиоксидантна активність, %
Синтетичний стабілізатор кольору	3,10	–	22,1
Екстракт розмарину	5,63	74,8	56,9
Екстракт зеленого чаю	4,78	79,2	63,4
Поліфеноли виноградних кісточок	3,42	86,5	71,6

позитивно впливало на стабільність кольору, однак у деяких дегустаторів відзначався слабо виражений трав'янистий присмак.

Для оцінювання перспективності використання природних антиоксидантів проведено порівняння їх ефективності з традиційним синтетичним стабілізатором кольору (Табл. 5).

Порівняльний аналіз показав, що синтетичний стабілізатор забезпечував дещо меншу зміну кольору, однак практично не впливав на антиоксидантну активність готової продукції. На відміну від нього, природні антиоксиданти одночасно стабілізували колір і значно підвищували функціональну цінність мармеладу. Найкращі результати були отримані при використанні концентрату поліфенолів виноградних кісточок, який поєднував високу кольоростійкість із найбільшим рівнем антиоксидантної активності.

Отримані результати свідчать, що підвищення стабільності кольору пояснюється здатністю поліфенольних антиоксидантів нейтралізувати активні форми кисню, інгібувати окиснювальні процеси та утворювати копігментні комплекси з антоціанами. Завдяки цьому сповільнюється руйнування хромофорної системи молекул антоціанів, зберігається інтенсивність природного забарвлення та забезпечується вища стабільність кольору під час зберігання.

Загалом результати виконаного дослідження підтвердили високу ефективність природних антиоксидантів як альтернативи традиційним синтетичним стабілізаторам кольору. Використання екстракту зеленого чаю та особливо концентрату поліфенолів виноградних кісточок дозволило підвищити збереження антоціанів на

28–48%, зменшити загальну зміну кольору більш ніж удвічі, покращити органолептичні властивості та збільшити антиоксидантну активність готових виробів на 35–70% порівняно з контролем. З огляду на це, можна стверджувати про перспективність застосування природних рослинних антиоксидантів у технології кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини, орієнтованих на концепцію Clean Label, підвищену функціональну цінність і тривалий термін зберігання.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Здійснене дослідження підтвердило доцільність використання природних антиоксидантів рослинного походження для підвищення стабільності кольору кондитерських виробів з використанням фруктово-ягідної сировини. Встановлено, що введення екстракту розмарину, екстракту зеленого чаю та концентрату поліфенолів виноградних кісточок істотно уповільнює деградацію антоціанових пігментів у процесі зберігання желейного мармеладу на основі пюре чорної смородини. Найвищу ефективність продемонстрував концентрат поліфенолів виноградних кісточок, який забезпечив збереження 86,5% антоціанів після 60 діб зберігання, тоді як у контрольному варіанті цей показник становив лише 58,4%.

Використання природних антиоксидантів сприяло зменшенню загальної зміни кольору (ΔE) у 1,6–2,7 рази порівняно з контролем, що свідчить про значно вищу стабільність природного забарвлення виробів. Аналіз координат кольору в системі CIELAB показав, що найбільш ефективно природні антиоксиданти забезпечували

збереження координати a^* , яка характеризує інтенсивність червоного кольору, тобто показника, найбільш чутливого до руйнування антоціанових пігментів.

Доведено, що застосування рослинних антиоксидантів не лише стабілізує колір продукції, але й підвищує її антиоксидантну активність на 35–70 % порівняно з контрольним варіантом. Органолептична оцінка підтвердила високу споживчу привабливість дослідних зразків. Найвищі дегустаційні бали отримали вироби з екстрактом зеленого чаю та концентратом поліфенолів виноградних кісточок, які характеризувалися насиченим природним кольором, гармонійним смаком і високою загальною якістю.

Порівняння із традиційним синтетичним стабілізатором кольору показало, що природні антиоксиданти забезпечують комплексний позитивний ефект. Хоча синтетичні добавки ефективно підтримують інтенсивність забарвлення, вони не підвищують біологічну цінність продукції. Натомість рослинні антиоксиданти одночасно стабілізують природний колір, збільшують вміст біологічно активних сполук та антиоксидантний потенціал готових виробів, що відповідає сучасним вимогам концепції Clean Label і тенденціям виробництва функціональних харчових продуктів.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні оптимальних концентрацій природних антиоксидантів для різних видів ягідної сировини, вивченні їх синергетичної дії при комбінованому застосуванні, дослідженні впливу сучасних методів пакування та умов зберігання на стабільність антоціанових пігментів. Крім того, перспективним є дослідження біодоступності поліфенольних сполук після технологічної обробки та оцінка їх впливу на функціональні властивості готової продукції, що сприятиме створенню нових конкурентоспроможних кондитерських виробів із підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Li W., Pu Y., Tang Z., Zhao F., Xie M., Qin S. Energy transfer dynamics in B-phycoerythrin from the red alga *Porphyridium purpureum*. *Chinese Journal of Physics*. 2020. Vol. 66. P. 24–35.
2. Benchikh Y., Aissaoui A., Allouch R., Mohellebi N. Optimising anthocyanin extraction from strawberry fruits using response surface methodology and application in yoghurt as natural colorants and antioxidants. *Journal of Food Science and Technology*. 2021. Vol. 58. P. 1987–1995.

3. Minaya L., Cadena E., Nhu T., Bois E., Raes K., Mey M., Dewulf J. Natural pigments in food and feed: Current status, gaps, and sustainability recommendations across biological kingdoms. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2026. Vol. 29. Article 103046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2026.103046>.

4. Di Salvo E., Lo Vecchio G., Pasquale R., Maria L., Tardugno R., Vadalà R., Cicero N. Natural pigments production and their application in food, health and other industries. *Nutrients*. 2023. Vol. 15. Article 1923. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15081923>.

5. Janiszewska-Turak E., Pisarska A., Królczyk J. Natural food pigments application in food products. *Nauka Przyroda Technologie*. 2016. Vol. 10. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.17306/J.NPT.2016.4.51>.

6. Magalhães D., Gonçalves R., Rodrigues C. V., Rocha H. R., Pintado M., Coelho M. C. Natural pigments recovery from food by-products: Health benefits towards the food industry. *Foods*. 2024. Vol. 13. Article 2276. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13142276>.

7. Sanna D., Fadda A. Waste from food and agro-food industries as pigment sources: Recovery techniques, stability and food applications. *Nutraceuticals*. 2022. Vol. 2. P. 365–383.

8. Liu M.-H., Li Y.-F., Chen B.-H. Preparation of chlorophyll nanoemulsion from pomelo leaves and its inhibition effect on melanoma cells A375. *Plants*. 2021. Vol. 10. Article 1664.

9. Coelho M. C., Ribeiro T. B., Oliveira C., Batista P., Castro P., Monforte A. R., Rodrigues A. S., Teixeira J., Pintado M. In vitro gastrointestinal digestion impact on the bioaccessibility and antioxidant capacity of bioactive compounds from tomato flours obtained after conventional and ohmic heating extraction. *Foods*. 2021. Vol. 10. Article 554.

10. Saad F., Al-Shaikh T. M., Zouidi F., Taher M. A., Saidi S. A., Hamden K. Betalain-enriched beetroots exhibit antiulcer and anti-inflammatory potentials. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023. Vol. 2023. Article 9522830.

11. Coelho M., Pereira R., Rodrigues A. S., Teixeira J. A., Pintado M. E. Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology. *Food and Bioproducts Processing*. 2019. Vol. 117. P. 329–339.

REFERENCES

1. Li, W., Pu, Y., Tang, Z., Zhao, F., Xie, M., & Qin, S. (2020). Energy transfer dynamics in B-phycoerythrin from the red alga *Porphyridium purpureum*. *Chinese Journal of Physics*, 66, 24–35.
2. Benchikh, Y., Aissaoui, A., Allouch, R., & Mohellebi, N. (2021). Optimising anthocyanin extraction from strawberry fruits using response

surface methodology and application in yoghurt as natural colorants and antioxidants. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1987–1995.

3. Minaya, L., Cadena, E., Nhu, T., Bois, E., Raes, K., Mey, M., & Dewulf, J. (2026). Natural pigments in food and feed: Current status, gaps, and sustainability recommendations across biological kingdoms. *Journal of Agriculture and Food Research*, 29, Article 103046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2026.103046>.

4. Di Salvo, E., Lo Vecchio, G., Pasquale, R., Maria, L., Tardugno, R., Vadalà, R., & Cicero, N. (2023). Natural pigments production and their application in food, health and other industries. *Nutrients*, 15, Article 1923. <https://doi.org/10.3390/nu15081923>.

5. Janiszewska-Turak, E., Pisarska, A., & Królczyk, J. (2016). Natural food pigments application in food products. *Nauka Przyroda Technologie*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.17306/J.NPT.2016.4.51>.

6. Magalhães, D., Gonçalves, R., Rodrigues, C. V., Rocha, H. R., Pintado, M., & Coelho, M. C. (2024). Natural pigments recovery from food by-products: Health benefits towards the food industry. *Foods*, 13, Article 2276. <https://doi.org/10.3390/foods13142276>.

7. Sanna, D., & Fadda, A. (2022). Waste from food and agro-food industries as pigment sources:

Recovery techniques, stability and food applications. *Nutraceuticals*, 2, 365–383.

8. Liu, M.-H., Li, Y.-F., & Chen, B.-H. (2021). Preparation of chlorophyll nanoemulsion from pomelo leaves and its inhibition effect on melanoma cells A375. *Plants*, 10, Article 1664.

9. Coelho, M. C., Ribeiro, T. B., Oliveira, C., Batista, P., Castro, P., Monforte, A. R., Rodrigues, A. S., Teixeira, J., & Pintado, M. (2021). In vitro gastrointestinal digestion impact on the bioaccessibility and antioxidant capacity of bioactive compounds from tomato flours obtained after conventional and ohmic heating extraction. *Foods*, 10, Article 554.

10. Saad, F., Al-Shaikh, T. M., Zouidi, F., Taher, M. A., Saidi, S. A., & Hamden, K. (2023). Betalain-enriched beetroots exhibit antiulcer and anti-inflammatory potentials. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, Article 9522830.

11. Coelho, M., Pereira, R., Rodrigues, A. S., Teixeira, J. A., & Pintado, M. E. (2019). Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology. *Food and Bioprocess Processing*, 117, 329–339.

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Дата першого надходження статті до видання: 24.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 12.10.2026