

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-41>

УДК 635.3/635.5

О. П. Прісс, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-6395-4202

О. І. Яковер, здобувач

ORCID: 0009-0008-5588-7346

Т. І. Колісниченко, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0560-9520

П. О. Булгаков, доктор філософії

ORCID: 0009-0002-9011-8151

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: olesia.priss@tsatu.edu.ua

ЗМІНИ ВМІСТУ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК БЕБІ-ШПИНАТУ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

Анотація. Досліджено зміни вмісту біологічно активних сполук бебі-шпинату (*Spinacia oleracea* L.) під час зберігання в живильному середовищі на основі хітозану та рутину порівняно з контролем. Зберігали сорти шпинату Траверс, Такома, Трейлбос за температури $7 \pm 0,5$ °C та відносної вологості повітря вологості 95 ± 3 %. Оцінювали сухі речовини, аскорбінову кислоту, суму хлорофілів ($a + b$) та фенольних сполук. Установлено, що застосування живильного середовища істотно сповільнює деградацію компонентів: через 6 діб втрати фенолів скоротилися щонайменше вдвічі, хлорофілів у 2–6 разів менші, а збереження вітаміну С було на 20–30 % вищим. Після 12 діб зберігання збережено 65–80 % початкового рівня хлорофілів та понад 80 % аскорбінової кислоти (залежно від сорту). Запропонований підхід подовжує період свіжості бебі-шпинату та підтримує його біохімічний склад.

Ключові слова: бебі-шпинат, хітозан, рутин, фенольні сполуки, хлорофіли, аскорбінова кислота, зберігання, біополімери, антиоксиданти.

Постановка проблеми. Шпинат (*Spinacia oleracea* L.) є важливою листовою овочевою культурою, яка містить високі концентрації корисних фітохімічних речовин [1]. Шпинат є низькокалорійним і багатий такими незамінними мікронутрієнтами, як вітамін А, вітамін С [2], мінерали (зокрема, залізо, магній, калій, цинк, кальцій, фосфор) [3], поліфенольні сполуки [4]. Уміст поліфенолів у шпинаті сприяє його ефективним антиоксидантним та антимікробним властивостям [3]. Шпинат посідає третє місце за загальною антиоксидантною здатністю серед поширених овочів, поступаючись лише часнику (*Allium sativum*) та капусті кейл (*Brassica oleracea*) [1]. Проте шпинат дуже швидкопсувний продукт і погано зберігається, листя піддається механічним пошкодженням та мікробіологічному псуванню, особливо під час післязбиральної обробки та зберігання. Термін зберігання шпинату зазвичай становить менше 14 днів після збору й залежить від температури [4; 5]. Крім того, внаслідок фізичних пошкоджень, несприятливих умов навколишнього середовища, мікробних патогенів та фізіологічних стресів відбувається швидка втрата якості та вмісту поживних речовин [5]. Тож пошук технологій і способів зберігання направлених на подовження термінів зберігання шпинату при стабілізації вмісту біологічно активних речовин є актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Загалом, сьогодні дослідники сходяться на думці, що ключову роль у подовженні термінів зберігання відіграють оптимальні режими температури й вологості зберігання. Зниження температури дає змогу продовжити терміни зберігання. Ці висновки узгоджуються з дослідженнями шпинату та іншої листової зелені, які показують, що зберігання в холоді зберігає колір, уміст хлорофілу та поживну цінність, уповільнюючи метаболічні та окислювальні процеси. Мінімальна обробка в поєднанні з належним контролем темпера-

тури покращує збереження вітамінів та біоактивних сполук [6]. Свіжий шпинат, як мінімально оброблений, так і комерційно упакований, слід зберігати при температурі настільки низькій, наскільки це можливо, щоб мінімізувати втрати вітамінів [5]. Особливою популярністю серед споживачів сьогодні користується шпинат, вирощений за технологією baby leaf (бебі-шпинат). Це шпинат, зібраний на ранній стадії росту. Для шпинату, зібраного на ранній стадії (28 днів після посіву), рекомендується зберігання при 4 °C протягом не більш ніж 6 днів для досягнення високого вмісту фітохімічних речовин та мінералів. За 10 °C термін зберігання мінімально обробленого шпинату (за візуальною якістю) скорочується до 3 днів [6]. Низький температурний режим (зокрема, 4 °C) хоч і є критично важливим, але не гарантує максимального продовження термінів зберігання та збереження якості. Шпинат є продуктом, що швидко псується, має високу інтенсивність дихання та схильність до швидкої втрати якості, поживних речовин і розвитку мікроорганізмів, навіть за умов охолодження [1]. Модифікована атмосфера є одним із часто пропонувананих доповнень до холодильного зберігання, оскільки шпинат має відносно високу швидкість втрати води та дихання. Модифікована атмосфера, як правило, у поєднанні з низькою температурою, може значно подовжити термін придатності шпинату [4]. З іншого боку, при зниженні вмісту кисню й підвищенні CO₂ в упаковці може створюватись атмосфера, сприятлива для окремих патогенів. Для зелені, яка має велику поверхню випаровування й високу метаболічну активність, це особливо важливо [7]. Крім того, матеріали упаковки, контролювання газового складу, додаткове технологічне обладнання – усе це підвищує витрати [8]. Для збереження якості мінімально обробленого шпинату запропоновано також зберігати в пакуванні з поліпропілену: зберігання при 4 °C у такому пакуванні визнано найефективнішим методом для збереження якості мінімально обробленого шпинату. Зокрема, таке пакування підтримало найвищий уміст хлорофілу а та хлорофілу b, загального хлорофілу, суми каротиноїдів, антиоксидантної здатності та загального вмісту фенолів [6]. Однак використання полімерних пакувань завдає відчутної шкоди довкіллю та становить значну екологічну проблему [9], а обмеження щодо їх використання посилюються щороку.

Використання додаткових обробок, як-от покриття або попередня обробка, може підвищити стійкість шпинату до погіршення якості. Передзбиральна обробка шпинату екстрактом бурих водоростей може покращити якість під час зберігання шляхом зменшення втрати маси, покращення візуальної якості та тургору листя [1]. Нові біокомпозитні покриття, наприклад, на основі серицину та вуглецевих квантових точок, також є перспективним методом. Таке покриття успішно затримувало ріст колоній мікроорганізмів, зберігало аромат шпинату, знижувало втрату ваги та концентрацію малонового діальдегіду (МДА) [2], який є показником окислювального стресу. Погіршення якості, зокрема старіння листя, часто пов'язують саме з окислювальним стресом, який прискорює деградацію пігментів та розпад мембран. Тому одним із сучасних напрямів є застосування в складі покриттів антиоксидантів. Мелатонін, який є потужним ендогенним поглиначем вільних радикалів, ефективно подовжує термін зберігання шпинату та покращує його якість при 4 °C. Обробка шпинату мелатоніном у дозі 0,20 мг/мл затримувала деградацію хлорофілу, зберігала високий уміст розчинного цукру та розчинного білка, знижувала накопичення МДА [10]. Установлено, що застосування антиоксидантних речовин під час зберігання зелені петрушки в живильному середовищі сприяє стабілізації зеленого забарвлення та уповільненню деградації хлорофілу. Використання розчинів антиоксидантів (зокрема, хлорофіліпту та іонолу) дає змогу зменшити інтенсивність окислювальних процесів, зберегти візуальну привабливість, свіжість і біохімічну активність листків упродовж тривалішого періоду [11]. Живильне середовище на основі аграрного гідрогелю та антиоксидантів показує високу ефективність для продовження терміну зберігання, збереженості пігментного комплексу й вмісту аскорбінової кислоти при зберіганні бебі-шпинату [12]. Проте



основний компонент більшості аграрних гідрогелів поліакрилат натрію (Na-PAA). Його біодеградація – складний і актуальний аспект, оскільки від цього залежить екологічна безпечність таких матеріалів. Водночас природний біополімер хітозан з успіхом застосовують для створення біодеградабельних покриттів для зберігання спаржі [13]. Концентрування хітозанових розчинів дає змогу створювати гелеві структури [14] та може використовуватись як екологічна і безпечна основа живильного середовища для зберігання зеленних культур.

Отже, сучасні дослідження повинні бути спрямовані на використання саме природних антиоксидантів і полімерів, які уповільнюють окислення, старіння листя та розвиток мікроорганізмів, забезпечуючи довше збереження біологічно активних сполук шпинату.

Формулювання мети статті. Мета роботи – вивчити зміни вмісту поліфенолів, хлорофілів та аскорбінової кислоти під час зберігання бебі-шпинату в живильному середовищі на основі природного біополімеру хітозану й антиоксиданту рутину.

Матеріали і методика досліджень. У роботі використовували сорти шпинату городнього (*Spinacia oleracea* L.) Траверс і Такома (напівсавойський тип) та Трейлбос (гладкий тип) селекції компанії Enza Zaden (Нідерланди). Вирощування рослин здійснювали в умовах неопалюваних плівкових теплиць відповідно до положень методичних рекомендацій з експериментальної справи в овочівництві та баштанництві [15].

Для зберігання відбирали листки довжиною не більш ніж 10 см, що відповідали вимогам Стандарту ЄЕК ООН FFV-58 щодо реалізації та контролю якості листових овочів. Свіже листя формували в пучки масою по 50 г, після чого розміщували в пластикових ящиках. У кожен ящик установлювали лоток із живильним розчином, приготовленим на основі хітозану (Х) та природного антиоксиданту рутину (Р). Технологія приготування розчину хітозану з рутином описана в наших попередніх дослідженнях раніше [13]. Для отримання гелеподібної структури використовували концентрацію хітозану 3 %. Стеблові частини шпинату занурювали в отриманий гель на глибину близько 1 см.

Зберігання шпинату здійснювали за температури $7 \pm 0,5$ °C і відносної вологості 95 ± 3 %. Контрольним варіантом слугував шпинат, що зберігався за тих самих умов без живильного середовища. Уміст сухих речовин визначали термогравіметричним методом, аскорбінової кислоти (АК) – за реакцією з реактивом Тільманса [16]. Уміст хлорофілів і каротиноїдів визначали шляхом екстрагування пігментів ацетоном із подальшим спектрофотометричним аналізом оптичної густини [16]. Суму поліфенольних сполук за реакцією з реактивом Фоліна – Деніса з наступним визначенням оптичної густини спектрофотометрично [16]. Кожне біохімічне визначення виконували в триразовій повторності.

Зміни вмісту сухих речовин. Під час зберігання вміст сухих речовин закономірно зменшується в усіх варіантах – як у контролі, так і при зберіганні в живильному середовищі Х + Р (рис. 1).

Це типова закономірність для зеленних культур, пов'язана з диханням і витратою запасних речовин. Усі контрольні варіанти втрачали товарний вигляд після 6 діб зберігання, втрати маси від в'янення та загнивання перевищували допустимі значення. Сорт Траверс мав найвищий уміст сухих речовин на початку – близько 10,5 %, і навіть після 12 діб у живильному середовищі Х + Р зберігав порівняно високий рівень (~9 %). Це свідчить про високу стабільність біохімічного складу під час зберігання. Сорт Такома характеризувався найнижчими показниками на всіх етапах – близько 9 % до зберігання, далі до ~8 % у контролі та ~8,5 % у досліді, а на 12 добу зберігання лише 7,6 %. Імовірно, сортова специфіка пов'язана з меншою щільністю тканин та інтенсивнішим респіраторним метаболізмом. Шпинат Трейлбос посідав проміжне положення – стартові значення близько 10 %, після 12 діб залишалося ~8,5 %. Порівняно з контролем у варіанті з використанням живильного середовища Х + Р зниження сухих речовин відбувалося повільніше, що видно після 6 діб. Достовірність відмінностей підтверджена

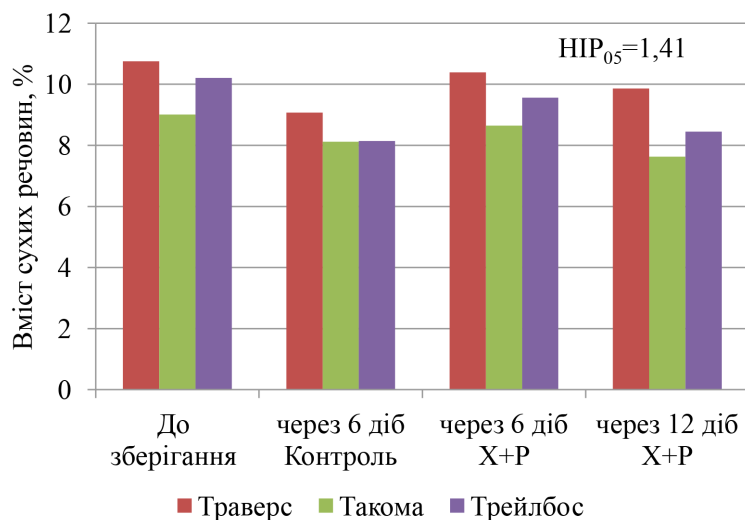


Рис. 1. Сухі речовини під час зберігання бебі-шпинату

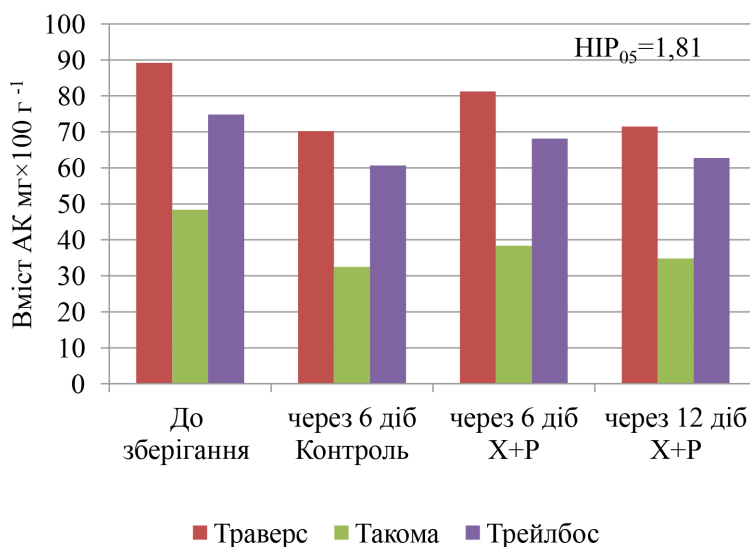


Рис. 2. Вміст аскорбінової кислоти під час зберігання бебі-шпинату

($H_{P_{05}} = 1,41$). Це може бути свідченням того, що використання живильного середовища Х + Р дає змогу зменшити транспіраційні втрати. У підсумку, застосування дослідного методу зберігання дало змогу сповільнити деградацію сухих речовин.

Зміни вмісту аскорбінової кислоти. Під час зберігання вміст аскорбінової кислоти закономірно зменшується в усіх варіантах, що пов'язано з окисненням вітаміну С, яке інтенсифікується внаслідок дихання та ферментативних процесів (рис. 2).

Проте ступінь зниження залежить від сорту та умов зберігання. У сорту Траверс найвищий серед досліджених початковий уміст АК (близько 89 мг/100 г). Через 6 діб у контрольному варіанті він знижується на 16 %. При зберіганні в середовищі Х + Р – збережено 85 мг/100 г, тобто втрати лише близько 5 %. Через 12 діб у середовищі Х + Р збережено понад 80 % початкового рівня. Початковий уміст АК у шпинаті Такома дещо вище – 48 мг/100 г. У контрольному варіанті через 6 діб втрати сягають 20 %. У дослідному варіанті на цей же час втрати АК не перевищували 10 %. Після 12 діб тенденція збереження на рівні 34 мг/100 г. Трейлбос початково містив близько 74 мг/100 г. Через 6 діб зберігання в контролі спостерігалось зниження вмісту АК на 17 %. У середовищі Х + Р втрати не перевищували 10 %. Через 12 діб у дослідному варіанті вміст АК сягав 62 мг/100 г.

У процесі зберігання вітамін С у шпинаті знижується в усіх сортів, але живильне середовище з хітозаном і рутином помітно зменшило деградацію АК. Це пов'язано з тим, що рутин у поєднанні з аскорбіновою кислотою проявляє синергічний антиоксидантний ефект і може захищати вітамін С від окиснення [17]. Крім того, у харчових матрицях хітозанові антиоксидантні плівки / покриття зменшують окиснювальні втрати. Показано й краще збереження ендогенної аскорбінової кислоти при включенні АК в хітозанове покриття [18]. Водночас ефект залежить від матриці та умов. Є публікації про можливу антагоністику АК та рутину в препараті «аскорутин» [19], тому добір концентрацій важливий.

Зміни вмісту хлорофілів. Уміст хлорофілів – показник, який прямо відображає фізіологічний стан листя, інтенсивність старіння та загальну якість зелені. На рисунку 3 показано зміну суми хлорофілів (а + b) у бебі-шпинаті за різних способів зберігання. Початково всі сорти шпинату мають відносно високі значення: Траверс близько 37 мг/100 г, Такома – 26 мг/100 г, Трейлбос – 22 мг/100 г. У всіх сортів спостерігається зменшення вмісту хлорофілів під час зберігання. Втрати в контрольних зразках сягають 16–32 % уже через 6 діб, що відповідає активним процесам старіння та окиснення пігментів. Вплив способу зберігання зі застосуванням живильного середовища Х + Р достовірно ($HP_{05} = 2,16$) зменшує деградацію хлорофілів.

Через 6 діб втрати зменшені у 2–6 разів порівняно з контролем. Навіть через 12 діб зберігання в живильному середовищі Х + Р дає змогу зберегти близько 65–80 % початкового рівня хлорофілів. Сорт Траверс має найвищий вихідний рівень пігментів, проте середній темп деградації. Шпинат Такома проявляє найкращу стабільність у покритті Х + Р (втрати лише 4 % за 6 діб). Найбільш чутливий до зберігання сорт Трейлбос: 36 % після 12 діб. Отримані тенденції цілком узгоджуються з науковими даними, а механізм впливу середовища зберігання виявляється в такому. Хітозан має антибактеріальний ефект, знижує транспірацію вологи, що

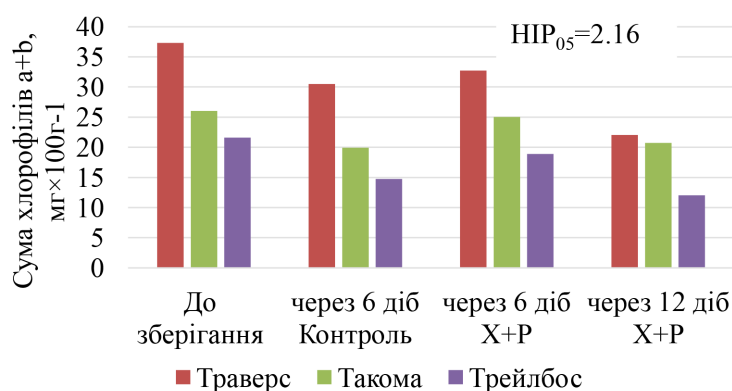


Рис. 3. Сума хлорофілів (а + b) під час зберігання бебі-шпинату

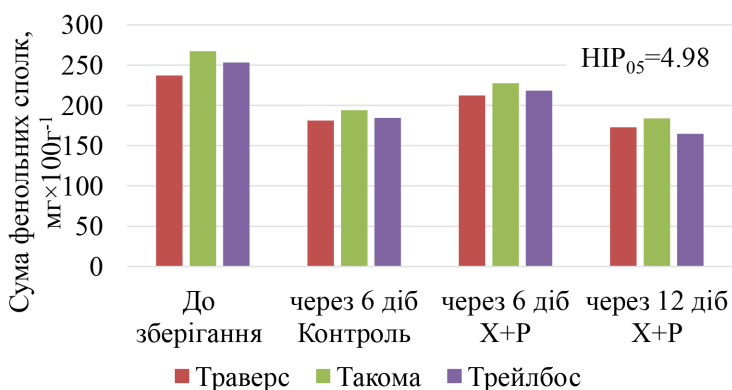


Рис. 4. Сума фенольних сполук під час зберігання бебі-шпинату

зменшує окисне руйнування хлорофілів [20]. Рутин як природний флавоноїд є антиоксидантом, зв'язує активні форми кисню, пригнічуючи ферменти Mg-дехелатазу й хлорофілазу [21]. Комбінація хітозану та природних флавоноїдів забезпечує антиоксидантно-бар'єрний ефект й уповільнення пожовтіння листків [22].

Зміни вмісту фенольних сполук. За нашими даними, уміст фенольних сполук у шпинаті знижується (рис. 4).

Для шпинату зменшення вмісту фенольних сполук під час зберігання вважають закономірним [23]. У контрольних зразках через 6 діб спостерігається значна втрата фенольних сполук (25–44 %). У групах з використанням живильного середовища Х + Р втрати через 6 діб суттєво менші – 12–15 %, залежно від сортових особливостей. Надалі втрати зростають, але все ще є нижчими або зіставними з втратами в контролі через 6 діб. Сортowa специфіка зберігається. Найчутливіший сорт Трейлбос (велика початкова втрата в контролі), а найбільш стабільний – Такома з використанням живильного середовища Х + Р. Сортowi відмінності пов'язані з вихідним пулом фенолів, а також, можливо, зі структурою листка, швидкістю дихання чи чутливістю до стресу. Зниження фенольних сполук може бути зумовлене окисно-ферментативними процесами втратами в метаболічних процесах або кращою мобілізацією фенолів у захисних процесах. Живильне середовище Х + Р, імовірно, уповільнює метаболічні процеси: хітозан зменшує проникнення O_2 , рутин діє як антиоксидант – тому фенольні сполуки споживаються повільніше.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що зберігання бебі-шпинату в живильному середовищі на основі природного біополімеру хітозану (Х) в поєднанні з природним антиоксидантом рутином (Р) позитивно впливає на збереження його біохімічного складу та сповільнює процеси старіння листя.

Втрати сухих речовин під час зберігання у варіанті із живильним середовищем Х + Р були нижчими порівняно з контролем. Сорт Траверс виявився найбільш стійким до деградації сухих речовин, зберігаючи понад 85 % початкового рівня після 12 діб зберігання.

Уміст аскорбінової кислоти закономірно знижувався в усіх сортах, проте швидкість її деградації у варіанті зберігання бебі-шпинату в живильному середовищі Х + Р була у 2–3 рази нижчою, ніж у контролі. Найвищу стабільність спостережено в сорту Траверс, де через 12 діб у середовищі Х+Р збережено понад 80 % початкової кількості АК. Це підтверджує синергічну антиоксидантну дію рутину та вітаміну С.

Сума хлорофілів (а + b) зменшувалася під час зберігання, проте застосування живильного середовища з хітозаном і рутином достовірно сповільнило деградацію пігментів. Сорти Такома та Траверс продемонстрували найкращу збереженість зеленого кольору листя.

Уміст фенольних сполук знижувався під час зберігання в усіх варіантах, однак у середовищі Х + Р втрати становили лише 12–15 % через 6 діб, тоді як у контрольних зразках – 25–44 %. Це свідчить про збереження антиоксидантного потенціалу завдяки антиоксидантно-бар'єрним властивостям живильного середовища.

Комплексна дія хітозану та рутину проявилася в зменшенні швидкості деградації біохімічних компонентів, що забезпечило подовження періоду свіжості шпинату до 12 діб при збереженні високої біологічної цінності. Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні складу біополімерних живильних середовищ з використанням природних флавоноїдів різної природи та дослідженні їх впливу на ферментативну активність й окисно-відновні процеси під час зберігання зелених культур.

Список використаних джерел

1. Fan D., Kandasamy S., Hodges D. M., Critchley A. T., & Prithiviraj B. Pre-harvest treatment of spinach with *Ascophyllum nodosum* extract improves post-harvest storage and quality. *Scientia Horticulturae*. 2014. 170. P. 70–74. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.038>
2. Zhu S., Jin L., Zhang Y., Chen F., Farouk A., Yang T., Yi G., Li H., Ban Z. J., & Liu L. Enhancing fresh-cut spinach preservation with carbon quantum dot-based composite coatings. *Scientific Reports*. 2025. 15(1). P. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07882-x>
3. Huda-Faujan N., Zubairi S. I., & Baker A. A. A. Nutritional and bioactive constituents of antioxidant and antimicrobial properties in *Spinacia oleracea*: A review. *Sains Malaysiana*. 2023. 52(9). P. 2571–2585. <https://doi.org/10.17576/JSM-2023-5209-08>
4. Garrido Y., Tudela J. A., Hernández J. A., & Gil M. I. Modified atmosphere generated during storage under light conditions is the main factor responsible for the quality changes of baby spinach. *Postharvest Biology and Technology*. 2016. 114. P. 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.001>
5. Pandrangi S., LaBorde L. F. Retention of folate, carotenoids, and other quality characteristics in commercially packaged fresh spinach. *Journal of Food Science*. 2004. 69(9). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09919.x>
6. Akan S. Effects of storage temperature and packaging on physiological and nutritional quality preservation of minimally processed spinach. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2022. 24(3). P. 679–691.
7. Caleb O. J., Mahajan P. V., Al-Said F. A.-J., & Opara U. L. Modified atmosphere packaging technology of fresh and fresh-cut produce and the microbial consequences – a review. *Food and Bioprocess Technology*. 2013. 6(2). P. 303–329. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0932-4>
8. Czerwiński K., Rydzkowski T., Wróblewska-Krepsztul J., & Thakur V. K. Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: challenges and sustainable developments. *Coatings*. 2021. 11(12). <https://doi.org/10.3390/coatings11121504>
9. Ncube L. K., Ude A. U., Ogunmuyiwa E. N., Zulkifli R., & Beas I. N. Environmental impact of food packaging materials: a review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid-based materials. *Materials (Basel)*. 2020. 13(21). <https://doi.org/10.3390/ma13214994>
10. Wang M., Xu J., Ding Z., & Xie J. Prolong the postharvest shelf life of spinach through the antioxidative ability of melatonin. *Food Chemistry: X*. 2023. 19. 100769. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100769>
11. Priss O. P., & Kulik A. S. Color stabilization of green vegetables at storage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. 4(10(70)). P. 53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26231>
12. Прісс О. П., Улянич О. І., Шевчук К. М., Яковер О. І., & Ваховська А. В. Зберігання зелені шпинату городнього з використанням живильного середовища. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2023. 103(1). С. 7–17. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-103-1-7-17>
13. Priss O., Hutsol T., Glowacki S., Bulhakov P., Bakhlukova K., Osokina N., Nurek T., Horetska I., & Mykhailova L. Effect of asparagus chitosan-rutin coating on losses and waste reduction during storage. *Agricultural Engineering*. 2024. 28(1). P. 99–118. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2024-0008>
14. Yang J., Shen M., Luo Y., Wu T., Chen X., Wang Y., & Xie J. Advanced applications of chitosan-based hydrogels: from biosensors to intelligent food packaging system. *Trends in Food Science and Technology*. 2021. 110. P. 822–832. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.032>
15. Бондаренко Г. Л., Яковенко К. І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків : Основа, 2001. 369 с.
16. Сердюк М. Є., Прісс О. П., Гапріндашвілі Н. А., Здоровцева Л. М., Сухаренко О. І., Іванова І. Є. Дослідницький практикум. Частина 1. Методи дослідження плодовоовочевої та ягідної продукції. Люкс, 2020. 307 с.
17. Gęgotek A., Jarocka-Karpowicz I., & Skrzydlewska E. Synergistic cytoprotective effects of rutin and ascorbic acid on the proteomic profile of 3D-cultured keratinocytes exposed to UVA or UVB radiation. *Nutrients*. 2019. 11(11). <https://doi.org/10.3390/nu11112672>
18. Wang J., Yuan Y., Liu Y., Li X., & Wu S. Application of chitosan in fruit preservation: a review. *Food Chemistry: X*. 2024. 23. 101589. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101589>
19. Maslov O. Y., Komisarenko M. A., Kolisnyk S. V., & Golik M. Y. Investigation of antioxidant interaction between ascorbic acid and rutin in medicine “Ascorutin.” *Current Issues in Pharmacy and Medicine: Science and Practice*. 2024. 17(1). P. 17–20. <https://doi.org/10.14739/2409-2932.2024.1.295418>

20. Meitha K., Pramesti Y., Signorelli S., & Kriswantoro J. A. Postharvest chitosan application maintains the quality of spinach through suppression of bacterial growth and elicitation. *Horticulture, Environment and Biotechnology*. 2022. 63(2). P. 217–227. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00397-0>
21. Lopez-Polo J., Soto A., Zamorano M., Silva-Weiss A., Oyarzun-Ampuero F. A., Brossard N., Fuentes J., & Osorio F. A. Effect of the incorporation of liposomes loaded with rutin on the transport properties of edible film produced with hydroxypropyl methylcellulose: an *in vitro* release study. *LWT*. 2024. 191. 115583. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115583>
22. Feng K., Feng X., Tan W., Zheng Q., Zhong W., Liao C., Liu Y., Li S., & Hu W. Development of a food preservative from sea buckthorn together with chitosan: application in and characterization of fresh-cut lettuce storage. *Frontiers in Microbiology*. 2023. 14. 1080365. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1080365>
23. Manzoor M. F., Waseem M., Javed M. R., Saleem M., Khalil A. A., Althawab S. A., Ahmed I. A. M., & Zeng X.-A. Unlocking spinach polyphenols: novel extraction, impact of processing, value-addition and therapeutic potentials. *Food Reviews International*. 2025. P. 1–38. <https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2562437>

Стаття надійшла до редакції 12.10.2025

Стаття прийнята 29.10.2025

Статтю опубліковано 22.12.2025



O. Priss, O. Yakover, T. Kolisnychenko, P. Bulgakov
Dmytro Motornyi Tauria State Agrotechnological University

CHANGES IN THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS IN BABY SPINACH DURING STORAGE

Summary

The study investigates the dynamics of biologically active compounds in baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in a nutrient medium based on natural chitosan and the flavonoid rutin, compared with conventional storage conditions. The experiment aimed to assess the effect of the chitosan–rutin medium on the preservation of dry matter, ascorbic acid, total chlorophylls (a + b), and phenolic compounds in spinach leaves of three cultivars—Travers, Tacoma, and Trailboss—during refrigerated storage at 7 ± 0.5 °C and 95 ± 3 % relative humidity.

The results demonstrated that all cultivars exhibited a gradual decline in biochemical indicators during storage; however, samples stored in the chitosan–rutin (X + P) medium maintained significantly higher levels of active substances compared to the control. After six days, losses of phenolic compounds in the treated samples were reduced by two to three times (12–15 % vs. 25–44 % in control), and the degradation of chlorophylls decreased 2–6 fold, which effectively delayed leaf yellowing. The retention of ascorbic acid was also substantially improved: vitamin C content remained 20–30 % higher than in the control. After twelve days of storage, spinach maintained 65–80 % of its initial chlorophyll level and more than 80 % of ascorbic acid, depending on the cultivar.

The obtained data confirm that chitosan and rutin act synergistically: chitosan forms a semi-permeable film that reduces transpiration and oxygen permeability, while rutin exhibits pronounced antioxidant properties, neutralizing reactive oxygen species and stabilizing cell membranes. The combination provides both barrier and antioxidant protection, slowing oxidative degradation of pigments and phenolics and extending the shelf life of baby spinach without synthetic preservatives.

The proposed eco-friendly approach is consistent with sustainable food preservation strategies, reducing postharvest losses and maintaining nutritional and sensory quality. The findings support the feasibility of using biodegradable chitosan–flavonoid coatings as an alternative to conventional packaging for leafy vegetables.

Keywords: baby spinach, chitosan, rutin, phenolic compounds, chlorophylls, ascorbic acid, postharvest storage, biopolymers, antioxidants, biopolymers.