

УДК 631.53:658.562

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2026.3.36>

## ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОГО ПАКУВАННЯ НА ОСНОВІ БІОПОЛІМЕРІВ І РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

**Святненко Р. С.** – кандидат технічних наук, старший дослідник,  
старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0003-0895-6982

**Маринін А. І.** – кандидат технічних наук, старший дослідник,  
старший науковий співробітник,  
завідувач Проблемної науково-дослідної лабораторії  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0001-6692-7472

**Демченко В. Л.** – доктор хімічних наук, старший дослідник,  
провідний науковий співробітник відділу зварювання пластмас  
Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона  
Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0001-9146-8984

**Пасічний В. М.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології  
м'яса і м'ясних продуктів Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0003-0138-5590

**Мельник Н. А.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри процесів і апаратів харчових виробництв  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0002-1611-0285

**Корсун А. Я.** – начальник мікробіологічної лабораторії  
Науково-дослідного випробувального центру харчової продукції  
ДП «Полтавастандартметрологія»  
ORCID ID: 0009-0001-8662-1734

У статті розглянуто сучасні підходи до створення та застосування активного пакування для зберігання харчових продуктів, зокрема білого м'яса курчат-бройлерів. Проведено аналітичний огляд наукових досліджень у сфері розроблення біополімерних пакувальних матеріалів із антимікробними та антиоксидантними властивостями.

Проведено аналітичний огляд наукових досліджень у сфері розроблення біополімерних пакувальних матеріалів із антимікробними та антиоксидантними властивостями. Значну увагу приділено застосуванню природних рослинних екстрактів, ефірних олій (орегано, гвоздики, розмарину), поліфенолів та інших біологічно активних сполук як ефективних агентів для пригнічення розвитку мікроорганізмів і уповільнення окислювальних процесів.

© Святненко Р. С., Маринін А. І., Демченко В. Л., Пасічний В. М., Мельник Н. А., Корсун А. Я., 2026



Стаття поширюється на умовах  
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Досліджено вплив різних типів пакування на якість філе курчат-бройлерів протягом зберігання. Показано, що застосування пакування з поглиначами кисню, особливо у подвійному варіанті, забезпечує найкращі результати щодо збереження вологості, стабільності рН та вологоутримуючої здатності м'яса.

Проаналізовано ефективність антимікробних плівок і покриттів на основі біополімерів, зокрема полілактиду, хітозану та білкових матриць, модифікованих рослинними компонентами. Встановлено, що такі системи сприяють зниженню мікробного обмінування, збереженню фізико-хімічних і органолептичних показників продукції та суттєвому подовженню термінів її зберігання. Особливо відзначено ефективність рослинних екстрактів як природних антиоксидантів, що забезпечують захист від ліпідного окиснення та стабілізацію якості м'ясної продукції.

Визначено основні обмеження впровадження біополімерних пакувальних систем, серед яких нестабільність активних компонентів, складність їх рівномірного розподілу в полімерній матриці та вплив зовнішніх чинників на кінетику вивільнення діючих речовин, що відкриває перспективність подальших досліджень.

**Ключові слова:** рослинні екстракти, упаковка, фізико-хімічні показники, термін зберігання, поглиначі кисню, активне пакування.

**Syvatnenko R. S., Marynin A. I., Demchenko V. L., Pasichnyi V. M., Melnyk N. A., Korsun A. Ya. Research on active packaging based on biopolymers and plant extracts for preserving food quality**

The article examines modern approaches to the development and application of active packaging for food preservation, in particular for broiler chicken white meat. An analytical review of scientific studies in the field of biopolymer-based packaging materials with antimicrobial and antioxidant properties has been conducted.

Special attention is paid to the use of natural plant extracts, essential oils (oregano, clove, rosemary), polyphenols, and other biologically active compounds as effective agents for inhibiting microbial growth and slowing down oxidative processes.

The influence of different types of packaging on the quality of broiler chicken fillets during storage has been investigated. It has been shown that the use of packaging with oxygen absorbers, especially in a double configuration, provides the best results in terms of moisture retention, pH stability, and water-holding capacity of the meat.

The effectiveness of antimicrobial films and coatings based on biopolymers, including polylactide, chitosan, and protein matrices modified with plant components, has been analyzed. It has been established that such systems contribute to reducing microbial contamination, preserving physicochemical and organoleptic properties of the product, and significantly extending its shelf life. The effectiveness of plant extracts as natural antioxidants, providing protection against lipid oxidation and stabilization of meat quality, has been particularly emphasized.

The main limitations of implementing biopolymer packaging systems have been identified, including the instability of active components, difficulties in their uniform distribution within the polymer matrix, and the influence of external factors on the release kinetics of active substances, which highlights the prospects for further research.

**Key words:** plant extracts, packaging, physicochemical properties, shelf life, oxygen absorbers, active packaging.

**Постановка проблеми.** Соціально-економічні зміни, зокрема трансформація споживчого попиту, підвищення рівня життя, зростання обсягів промислового виробництва, розвиток роздрібною торгівлі, поява нових маркетингових стратегій та зміни у стилі життя споживачів, виступають ключовими чинниками розвитку нових і інноваційних підходів до пакування. Саме ці процеси зумовлюють потребу у створенні упаковки, яка відповідала б сучасним вимогам ринку та водночас враховувала перспективні тенденції [1, с. 119].

Головними функціями упаковки є збереження безпечності та якості харчових продуктів, а також подовження строку їх придатності. З часом роль упаковки значно розширилася: від простого засобу зберігання вона перетворилася на багатофункціональний елемент, що забезпечує зручність для споживача, збереження цілісності продукції під час транспортування та зберігання, ефективне представлення товару в місцях продажу, оптимізацію використання матеріалів

і ресурсів, підвищення безпеки харчових продуктів та врахування екологічних аспектів [2, с. 120].

Сучасні тенденції розвитку упаковки передбачають використання нових, більш екологічно безпечних матеріалів, впровадження технологій, які зменшують утворення відходів і споживання енергії, а також застосування інноваційних рішень, що відповідають принципам сталого розвитку та підвищують ефективність пакувальних систем [3, с. 122].

**Метою даної статті** є аналіз сучасних наукових досліджень щодо створення біополімерних пакувальних матеріалів з антимікробними властивостями на основі полілактиду та природних біологічно активних компонентів, а також оцінка їх ефективності для забезпечення якості, безпечності та подовження термінів зберігання харчових продуктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наразі активно проводяться дослідження біоматеріалів, здатних формувати плівки з нанокompозитами, які можуть використовуватися як носії активних компонентів, зокрема антиоксидантів і антибактеріальних речовин. Особливу увагу заслуговує використання наночастинок срібла, відомого своїми вираженими антибактеріальними властивостями щодо широкого спектра бактерій і грибів. Антимікробний ефект срібла пояснюється його здатністю взаємодіяти з ДНК, білками та ферментами мікроорганізмів, що порушує їхні життєві процеси та зумовлює бактеріостатичну дію [4, с. 1418].

Під час дослідження ефективності антимікробних нанокompозитних плівок із полівінілхлориду, що містять наночастинок срібла, для подовження строку зберігання курячої грудки, вчені [5, с. 1668] встановили, що бактерії – як чисті культури, так і мікрофлора, ізольована з м'ясних продуктів – виявили чутливість до наночастинок срібла (Ag NPs). Також використання нанокompозитних ПВХ плівок із AgNPs дозволяє потовжити термін придатності продукту та зменшило інтенсивність окиснення ліпідів у запакованому філе курячої грудки.

**Виклад основного матеріалу.** Вчені [6, с. 1668] дослідили процес створення бактерицидних плівок шляхом вакуумного наплення наночастинок срібла на матриці з поліелектролітних комплексів (хітозан/КМЦ та хітозан/пектин). Авторами доведено високу антимікробну активність отриманих матеріалів щодо *S.aureus*, *E.coli*, *P.aeruginosa* та *C.albicans*, а також їхню здатність інгібувати вірус простого герпесу 1-го типу. Окремо відзначено відсутність цитотоксичної дії на культури клітин MDCK та ВНК-21, що підтверджує безпечність композитів для біомедичного застосування.

Авторами [7, с. 22] розроблено багат шарову антимікробну плівку на основі полімолочної кислоти (PLA), модифікованої нановолокнами желатину та хітозану, що містять бактеріоцин нізин. Ними встановлено, що застосування даної композитної плівки дозволило подовжити термін придатності охолоджених шматочків риби на 4–6 діб в порівнянні з контрольною групою.

Авторами [8, с. 44] розроблено активний пакувальний матеріал на основі полімолочної кислоти (PLA) із додаванням каприлової кислоти (CA) як природного антимікробного агента для боротьби з біоплівками *Salmonella* у м'ясній промисловості. Ними доведено, що застосування розроблених плівок дозволяє суттєво знизити бактеріальне обсіменіння яловичини та свинини без зміни органолептичних показників продукту.

У дослідженні [9, с. 125] було вивчено вплив різних типів упаковки на фізико-хімічні властивості насіння гарбуза протягом зберігання. Результати показали, що упаковка ПЛА-ПКЛ (80-20 мас.%) з додаванням наночастинок срібла (Ag) була найефективнішою для збереження якості насіння, забезпечуючи стабільність

фізико-хімічних параметрів та мінімальні зміни перекисного і кислотного чисел протягом трьох місяців.

У даному дослідженні [10, с. 70] встановлено, що для поліпшення якості та подовження терміну придатності курячої грудки розроблено харчові покриття на основі ізоляту сироваткового протеїну (WPI) з додаванням ефірних олій (ЕО) орегано або гвоздики, які відомі своїми природними протимікробними властивостями. Запропоновані плівки з концентрацією (ЕО) орегано на рівні 20 г на кілограм готової продукції продемонстрували високу ефективність, при цьому термін зберігання курячої грудки зріс з 6 до 13 діб. Порівняння результатів прямого нанесення ЕО на поверхню курячих грудок та застосування їстівних покриттів підтвердило переваги останніх як ефективних носіїв протимікробних речовин.

Вчені [11, с. 142] досліджували процес десорбції парів етанолу сорбентами, що використовуються у системах активного пакування. Ними встановлено, що через 100–150 хв після пакування концентрація парів етанолу в упаковці досягає рівноважного стану, та доведено, що випарювач етанолу не має значного бактеріостатичного ефекту на мікрофлору варених ковбас, проте він ефективно пригнічує ріст пліснявих грибів у варених сосисках, не впливаючи на розвиток дріжджів.

Автори [12, с. 1] вивчали вплив різних концентрацій  $\text{CO}_2$  у модифікованій атмосфері на збереження м'яса яловичини. Було показано, що  $\text{CO}_2$  значно пригнічує ріст бактерій, зокрема *Pseudomonas*, та продовжує термін зберігання м'яса до 9 діб.

Вчені [13, с. 1] встановили, що збільшення рівня  $\text{CO}_2$  в упаковці значно уповільнює ріст бактерій, що призводить до продовження терміну зберігання м'яса. Додатково, висока концентрація  $\text{CO}_2$  сприяє збереженню яскраво-червоного кольору яловичини, що є одним з важливих факторів для споживачів.

Група дослідників під керівництвом Ahmad [14, с. 23] синтезувала складні триполімерні матриці (желатин, хітозан, КМЦ), модифіковані яблучними поліфенолами (AP). Дані дифрактометрії (XRD) та ІЧ-спектроскопії чітко вказують на те, що включення AP не просто механічно заповнює матрицю, а зміцнює систему водневих зв'язків, що позитивно впливає на кристалічність та загальну стабільність плівок. У практичному аспекті це дало змогу пригнітити ріст *E. coli* та *S. aureus* сирій яловичини. Як результат – термін придатності м'яса при стандартній температурі зберігання 4 °C зріс на три доби. Також вони встановили, що плівка відсікає до 60% УФ-випромінювання, фактично блокуючи фотоокислення ліпідів та руйнування білкових фракцій.

Khoshdouni Farahani та ін. [15, с. 23] продемонстрували, що застосування 3% екстракту гвоздики для обробки м'яса курятини (4 °C) ефективно запобігає мікробному псуванню та окислювальним процесам. У порівнянні з контрольною групою, було зафіксовано суттєве зниження показників рН, перекисного числа та вмісту тіобарбітурової кислоти. Окрім покращення мікробіологічних показників, зразки отримали високу органолептичну оцінку, що свідчить про перспективність цього методу для консервування курячого філе.

Martins та ін. [16, с. 103] дослідили, що використання активного пакування на основі полілактиду (PLA), модифікованого екстрактом зеленого чаю, дозволяє затримувати процеси окиснення ліпідів у копченому лососі протягом 60 діб зберігання. У свою чергу, Vilarinho та ін. [17, с. 18] розробили активне пакування на основі PLA з додаванням екстракту зеленого чаю та нанокристалів целюлози, яке ефективно пригнічує окиснення ліпідів у саямі. Robalo та ін. [18, с. 20] застосували екстракт зеленого чаю у плівках на основі сироваткового білка, що сприяло уповільненню окиснення ліпідів у козячому сирі та зниженню мікробіологічного росту.

Zeid та ін. [19, с. 10] продемонстрували ефективність застосування пакувальних матеріалів на основі полілактиду (PLA) з додаванням ефірної олії розмарину для збереження свіжості райдужної форелі протягом 6 діб. У свою чергу, Darienit та ін. [20, с. 12] розробили активні PLA-плівки з екстрактом розмарину, та встановивши, що його додавання сприяє покращенню показників подовження при розриві, реологічних властивостей матеріалу, а також забезпечує антимікробну активність щодо *Bacillus cereus*, *Salmonella Typhimurium* та *Escherichia coli*.

Незважаючи на значний потенціал пакувальних матеріалів з антимікробними властивостями на основі біополімерів із додаванням природних екстрактів, існує низка чинників, що стримують їх широке впровадження та комерційне використання. Зокрема, при введенні до складних біополімерних матриць натуральні антимікробні компоненти нерідко втрачають частину своєї ефективності. Додатково, такі параметри, як рівень рН, вологість, температура зберігання та склад харчового продукту, можуть суттєво впливати на кінетику вивільнення активних речовин і їх антимікробну дію. Важливу роль відіграє і взаємодія між компонентами харчових продуктів та біологічно активними сполуками, яка може призводити до їх часткової або повної інактивації. У зв'язку з цим забезпечення рівномірного розподілу та стабілізації природних екстрактів у полімерній матриці залишається одним із ключових завдань при розробці ефективних пакувальних матеріалів [21, с. 25].

**Висновки.** З літературного огляду встановлено, що активне пакування на основі біополімерів із включенням природних антимікробних та антиоксидантних компонентів є перспективним напрямом розвитку сучасних пакувальних технологій. Використання полілактиду, хітозану, білкових та полісахаридних матриць дозволяє створювати екологічно безпечні матеріали з функціональними властивостями.

Підтвержено, що застосування наночастинок срібла, ефірних олій, рослинних екстрактів та бактериоцинів забезпечує ефективне пригнічення росту патогенних мікроорганізмів, зменшення інтенсивності окислювальних процесів та подовження терміну зберігання харчових продуктів.

Разом з тим, встановлено, що ефективність таких систем значною мірою залежить від стабільності активних компонентів, їх сумісності з полімерною матрицею та умов зберігання продуктів. Основними проблемами залишаються контрольоване вивільнення активних речовин і збереження їх біологічної активності.

Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію складу біополімерних матеріалів, удосконалення технологій їх отримання та підвищення ефективності взаємодії між компонентами пакування і харчовими продуктами, що сприятиме розширенню їх практичного застосування у харчовій промисловості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Маринін, А. І., Святненко, Р. С., Шевченко, О. Ю., Гармаш, Д. В., Демченко, В. Л., & Рибальченко, Н. П. Застосування антимікробної упаковки для зберігання насіння гарбуза. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2024. (3), С. 118-127.

2. Маринін А.І. Шевченко, О. Ю., Пасічний, В. М., Святненко, Р. С. Гармаш Д.В., Бортнічук О.В. Дослідження ефективності активного пакування для зберігання білого м'яса курчат-бройлерів. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Том 36 (75) № 2. Частина 1. С. 195-199.

3. Cavaliere, E., De Cesari, S., Landini, G., Riccobono, E., Pallecchi, L., Rossolini, G. M., & Gavioli, L. Highly bactericidal Ag nanoparticle films obtained by cluster beam deposition. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. 2015. 11(6), С. 1417–1423. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2015.02.023>.

4. An, J., Zhang, M., Wang, S., & Tang, J. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. *LWT Food Science and Technology*. 2008. 41(6), C. 1100–1107. doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.019
5. Azlin-Hasim, S., Cruz-Romero, M. C., Morris, M. A., Padmanabhan, S. C., Cummins, E., & Kerry, J. P. The potential application of antimicrobial silver polyvinyl chloride nanocomposite films to extend the shelf-life of chicken breast fillets. *Food and Bioprocess Technology*. 2016. 9(10), C. 1661–1673. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1745-7>.
6. Demchenko, V. L., Goncharenko, L. A., Riabov, S. V., Rybalchenko, N. P., Hnatiuk, T. T., Mozhaeva, L. L., ... & Kokhtych, L. M. Formation of silver-containing films based on polyelectrolyte complexes by sputtering deposition and their antimicrobial and antiviral activity. *Polymer journal*. 2023. 45(2), C. 135-143.
7. Gulzar, S., Tagrida, M., Prodpran, T., & Benjakul, S. Antimicrobial film based on polylactic acid coated with gelatin/chitosan nanofibers containing nisin extends the shelf life of Asian seabass slices. *Food Packaging and Shelf Life*. 2022. 34, C. 100941.
8. Her, E., Han, S., & Ha, S. D. Development of poly (lactic acid)-based natural antimicrobial film incorporated with caprylic acid against *Salmonella* biofilm contamination in the meat industry. *International journal of food microbiology*. 2024. 425. C. 110871.
9. Маринін, А. І., Святненко, Р. С., Шевченко, О. Ю., Гармаш, Д. В., Демченко, В. Л., & Рибальченко, Н. П. Застосування антимікробної упаковки для зберігання насіння гарбуза. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2024. (3). C. 118-127. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.12>
10. Fernández-Pan, I., Carrión-Granda, X., & Maté, J. I. Antimicrobial efficiency of edible coatings on the preservation of chicken breast fillets. *Food Control*. 2014. 36(1). C. 69-75. doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.032
11. Pasichniy, V., Marynin, A., & Zheludenko, y. Investigation of active packaging influence on cooked sausages microbiological stability during storage. *Харчова промисловість*. 2020. № 28. C. 140-148. doi: 10.24263/2225-2916-2020-28-18
12. McMillin, K. W. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat science*. 2008. 80(1), 43-65.
13. Yang, J., Yang, X., Liang, R., Zhu, L., Mao, Y., Dong, P., ... & Zhang, Y. The response of bacterial communities to carbon dioxide in high-oxygen modified atmosphere packaged beef steaks during chilled storage. *Food Research International*. 2022. 151. C. 110872. doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110872.
14. H. N. Ahmad, Y. Yong, N. Munawar, R. Li, Y. Wen and J. Zhu, Biomimetic antimicrobial packaging: *Malus sylvestris* polyphenols derived tripolymeric active films for extended shelf life and quality maintenance of beef, *Food Chem.* 2025. 490. C. 145033. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.145033.
15. Z. Khoshdouni Farahani, P. Mahasti Shotorbani, A. Akhondzadeh Basti, H. Hamed, B. Hassani and A. Mohammadi Nafchi, Assessing coating with clove extract on improving the shelf life of chicken at refrigeration storage temperature, *Food Sci. Nutr.* 2025. 13(8). C. 70786.
16. Martins, C., Vilarinho, F., Sanches Silva, A., Andrade, M., Machado, A. V., Castilho, M. C., S'a, A., Cunha, A., Vaz, M. F., & Ramos, F. Active polylactic acid film incorporated with green tea extract: development, characterization and effectiveness. *Industrial Crops and Products*. 2018. 123(February). C. 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.056>
17. Vilarinho, F., Stanzione, M., Buonocore, G. G., Barbosa-Pereira, L., Send'on, R., Vaz, M. F., & Sanches Silva, A. Green tea extract and nanocellulose embedded into polylactic acid film: Properties and efficiency on retarding the lipid oxidation of a model fatty food. *Food Packaging and Shelf Life*. 2021. 27(July 2020), Article C. 100609. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2020.100609>

18. Robalo, J., Lopes, M., Cardoso, O., Sanches Silva, A., & Ramos, F. Efficacy of whey protein film incorporated with portuguese green tea (*Camellia sinensis* L.) extract for the preservation of latin-style fresh cheese. *Foods*. 2022. 11(8). C. 1158. <https://doi.org/10.3390/foods11081158>.

19. Zeid, A., Karabagias, I. K., Nassif, M., & Kontominas, M. G. Preparation and evaluation of antioxidant packaging films made of polylactic acid containing thyme, rosemary, and oregano essential oils. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. 43 (10). C. 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14102>.

20. Darie-Nit, R., Vasile, C., Stoleru, E., Pamfil, D., Zaharescu, T., Tart, L., Tudorachi, N., Brebu, M., Pricope, G., Dumitriu, R., & Leluk, K. Evaluation of the rosemary extract effect on the properties of polylactic acid-based materials. *Materials*. 2018. 11(10). C. 1825. <https://doi.org/10.3390/ma11101825>.

21. Sarkhel, S., Kaur, S., Das, R., Sharma, A., Kheto, A., Saha, D., & Kumar, Y. Antimicrobial active packaging with biopolymers and natural extracts: sustainable solutions and technological challenges. *Sustainable Food Technology*. 2025. 43 (10). C. 10–30.

### REFERENCES:

1. Marynin, A. I., Sviatnenko, R. S., Shevchenko, O. Yu., Harmash, D. V., Demchenko, V. L., & Rybalchenko, N. P. (2024). Zastosuvannia antimikrobnoi upakovky dlia zberihannia nasinnia harbuza. *Tavriiskyi naukovi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, (3), 118-127. [in Ukrainian].

2. Marynin A.I. Shevchenko, O. Yu., Pasichnyi, V. M., Sviatnenko, R. S. Harmash D.V., Bortnichuk O.V. (2025). Doslidzhennia efektyvnosti aktyvnoho pakuvannia dlia zberihannia biloho miasa kurchat-broileriv. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky. Tom 36 (75) № 2. Chastyna 1. S. 195-199*. [in Ukrainian].

3. Cavaliere, E., De Cesari, S., Landini, G., Riccobono, E., Pallecchi, L., Rossolini, G. M., & Gavioli, L. (2015). Highly bactericidal Ag nanoparticle films obtained by cluster beam deposition. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 11(6), 1417-1423. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2015.02.023>.

4. An, J., Zhang, M., Wang, S., & Tang, J. (2008). Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. *LWT-Food Science and Technology*, 41(6), 1100-1107. [doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.019](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.019)

5. Azlin-Hasim, S., Cruz-Romero, M. C., Morris, M. A., Padmanabhan, S. C., Cummins, E., & Kerry, J. P. (2016). The potential application of antimicrobial silver polyvinyl chloride nanocomposite films to extend the shelf-life of chicken breast fillets. *Food and Bioprocess Technology*, 9(10), 1661-1673. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1745-7>.

6. Demchenko, V. L., Goncharenko, L. A., Riabov, S. V., Rybalchenko, N. P., Hnatiuk, T. T., Mozhaeva, L. L., ... & Kokhtych, L. M. (2023). Formation of silver-containing films based on polyelectrolyte complexes by sputtering deposition and their antimicrobial and antiviral activity. *Polymer journal*, 45(2), 135-143. [in Ukrainian].

7. Gulzar, S., Tagrida, M., Prodpran, T., & Benjakul, S. (2022). Antimicrobial film based on polylactic acid coated with gelatin/chitosan nanofibers containing nisin extends the shelf life of Asian seabass slices. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100941.

8. Her, E., Han, S., & Ha, S. D. (2024). Development of poly (lactic acid)-based natural antimicrobial film incorporated with caprylic acid against *Salmonella* biofilm contamination in the meat industry. *International journal of food microbiology*, 425, 110871.

9. Marynin, A. I., Sviatnenko, R. S., Shevchenko, O. Yu., Harmash, D. V., Demchenko, V. L., & Rybalchenko, N. P. (2024). Zastosuvannia antimikrobnoi upakovky dlia zberihannia nasinnia harbuza. *Tavriiskyi naukovi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, (3), 118-127. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.12> [in Ukrainian].

10. Fernández-Pan, I., Carrión-Granda, X., & Maté, J. I. (2014). Antimicrobial efficiency of edible coatings on the preservation of chicken breast fillets. *Food Control*, 36(1), 69-75. doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.032
11. Pasichniy, V., Maryniñ, A., & Zheludenko, Y. (2020). Investigation of active packaging influence on cooked sausages microbiological stability during storage. *Харчова промисловість*, (28), 140-148. doi: 10.24263/2225-2916-2020-28-18. [in Ukrainian].
12. McMillin, K. W. (2008). Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat science*, 80(1), 43-65.
13. Yang, J., Yang, X., Liang, R., Zhu, L., Mao, Y., Dong, P., ... & Zhang, Y. (2022). The response of bacterial communities to carbon dioxide in high-oxygen modified atmosphere packaged beef steaks during chilled storage. *Food Research International*, 151, 110872. doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110872.
14. Ahmad, H. N., Yong, Y., Munawar, N., Li, R., Wen, Y., & Zhu, J. (2025). Biomimetic antimicrobial packaging: *Malus sylvestris* polyphenols derived tripolymeric active films for extended shelf life and quality maintenance of beef. *Food chemistry*, 490, 145033. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.145033.
15. Khoshdouni Farahani, Z., Mahasti Shotorbani, P., Akhondzadeh Basti, A., Hamed, H., Hassani, B., & Mohammadi Nafchi, A. (2025). Assessing coating with clove extract on improving the shelf life of chicken fillet at refrigeration storage temperature. *Food Science & Nutrition*, 13(8), e70786.
16. Martins, C., Vilarinho, F., Sanches Silva, A., Andrade, M., Machado, A. V., Castilho, M. C., S'a, A., Cunha, A., Vaz, M. F., & Ramos, F. (2018). Active polylactic acid film incorporated with green tea extract: development, characterization and effectiveness. *Industrial Crops and Products*, 123(February), 100–110. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.056
17. Vilarinho, F., Stanzione, M., Buonocore, G. G., Barbosa-Pereira, L., Send'on, R., Vaz, M. F., & Sanches Silva, A. (2021). Green tea extract and nanocellulose embedded into polylactic acid film: Properties and efficiency on retarding the lipid oxidation of a model fatty food. *Food Packaging and Shelf Life*, 27(July 2020), Article 100609. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100609
18. Robalo, J., Lopes, M., Cardoso, O., Sanches Silva, A., & Ramos, F. (2022). Efficacy of whey protein film incorporated with portuguese green tea (*Camellia sinensis* L.) extract for the preservation of latin-style fresh cheese. *Foods*, 11(8), 1158. https://doi.org/10.3390/foods11081158.
19. Zeid, A., Karabagias, I. K., Nassif, M., & Kontominas, M. G. (2019). Preparation and evaluation of antioxidant packaging films made of polylactic acid containing thyme, rosemary, and oregano essential oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10), 1–11. https://doi.org/10.1111/jfpp.14102.
20. Darie-Nit, R., Vasile, C., Stoleru, E., Pamfil, D., Zaharescu, T., Tart, L., Tudorachi, N., Brebu, M., Pricope, G., Dumitriu, R., & Leluc, K. (2018). Evaluation of the rosemary extract effect on the properties of polylactic acid-based materials. *Materials*, 11(10), 1825. https://doi.org/10.3390/ma11101825.
21. Sarkhel, S., Kaur, S., Das, R., Sharma, A., Kheto, A., Saha, D., & Kumar, Y. (2025). Antimicrobial active packaging with biopolymers and natural extracts: sustainable solutions and technological challenges. *Sustainable Food Technology*.

*Дата першого надходження статті до видання: 11.03.2026*  
*Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.04.2026*  
*Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.05.2026*