

СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 606

Бужанська М. В.,

buganskam@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9251-4727, Researcher ID: G-2366-2019,

к.х.н., доцент, доцент кафедри харчових технологій,

Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ПАКОВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ

Анотація. Дослідження систематизує знання про інноваційні рішення використання паковальних матеріалів та біоактивних речовин для запаковування м'яса та м'ясних продуктів, враховуючи сучасні тенденції та очікування споживачів, збереження якості та безпечності продукції. Акцентує увагу на новітніх матеріалах, технологіях і концепціях пакування, що активно впроваджуються у харчовій промисловості. Розробка ефективних систем пакування є актуальною через зростання попиту на безпечні та екологічно чисті продукти харчування, зменшення харчових відходів, а також потребу у збереженні свіжості та смакових властивостей продукції. Проблеми, пов'язані з традиційними матеріалами, такими як їхній екологічний вплив і обмежена функціональність, вимагають нових підходів. Дослідження спрямоване на пошук рішень, що підвищують конкурентоспроможність продукції, забезпечуючи водночас відповідність сучасним екологічним стандартам. Традиційні методи пакування не завжди забезпечують довготривале зберігання продуктів без втрати якості. Зокрема, поширення патогенних мікроорганізмів та окиснення жирів залишаються значними викликами. Надається аналіз традиційних та інноваційних рішень у пакуванні, їхніх переваг і недоліків. Зокрема, описуються функціональні властивості інтелектуальних пакувань, вплив MAP і CAP на збереження м'яса, а також перспективи застосування біорозкладних матеріалів. Особлива увага приділяється розробці та використанню натуральних і відновлюваних біополімерів, які є екологічною альтернативою паковальним матеріалам на основі нафтопродуктів. Стаття демонструє, що інновації у пакуванні м'яса є ключем до вирішення проблем тривалого зберігання та екологічності. Застосування сучасних технологій, таких як інтелектуальні пакування, MAP і CAP, а також біополімерів, забезпечує високу якість продукції та мінімізацію впливу на довкілля.

Ключові слова: інноваційне пакування, біоактивні речовини, м'ясні продукти, біополімери, модифікована атмосфера (MAP), контрольована атмосфера (CAP), інтелектуальне пакування, біорозкладні матеріали, коекструзійні плівки.

Buzhanska M. V.,

buganskam@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9251-4727, Researcher ID: G-2366-2019,

Ph.D., Associate Professor; Associate Professor at the Department of Food Technologies,

Lviv University of Trade and Economics, Lviv

MODERN TRENDS IN THE USE OF PACKAGING MATERIALS FOR MEAT PRODUCTS

Abstract. The study systematizes knowledge about innovative solutions for the use of packaging materials and bioactive substances in the packaging of meat and meat products, taking into account modern trends and consumer expectations, as well as the preservation of product quality and safety. It focuses on advanced materials, technologies, and packaging concepts actively implemented in the food industry. The development of effective packaging systems is relevant due to the growing demand for safe and environmentally friendly food products, the reduction of food waste, and the need to maintain the freshness and taste properties of products.

Issues associated with traditional materials, such as their environmental impact and limited functionality, require new approaches. The study aims to identify solutions that enhance product competitiveness while ensuring compliance with modern environmental standards. Traditional packaging methods do not always provide long-term storage without quality loss. Specifically, the spread of pathogenic microorganisms and lipid oxidation remain significant challenges. The study analyzes traditional and innovative packaging solutions, highlighting their advantages and disadvantages. It examines the functional properties of intelligent packaging, the impact of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and Controlled Atmosphere Packaging (CAP) on meat preservation, and the prospects for using biodegradable materials. Special attention is given to the development and use of natural and renewable biopolymers as eco-friendly alternatives to petroleum-based packaging materials. The article demonstrates that innovations in meat packaging are key to addressing the challenges of long-term storage and sustainability. The use of modern technologies, such as intelligent packaging, MAP and CAP, and biopolymers, ensures high product quality while minimizing environmental impact.

Key words: Innovative packaging, bioactive substances, meat products, biopolymers, Modified Atmosphere Packaging (MAP), Controlled Atmosphere Packaging (CAP), intelligent packaging, biodegradable materials, co-extrusion films.

JEL Classification: L66, O14

DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2025-41-05>

Постановка проблеми. Пакування м'яса і м'ясних продуктів відіграє важливу роль у гарантуванні їхньої безпечності, якості та зручності транспортування. З розвитком технологій і зростаючими вимогами споживачів традиційні методи запаковування більше не можуть повністю задовольняти потреби ринку. Існує кілька ключових проблем, які потребують вирішення для вдосконалення пакування м'ясних продуктів. М'ясо швидко псується через вплив кисню, вологи та мікроорганізмів. Постає проблема розробки пакування, яке зможе ефективно захищати продукти від негативного впливу зовнішніх факторів та подовжити термін придатності, зберігаючи при цьому свіжість. Отож, безпека харчових продуктів є одним із головних завдань сучасного пакування. Потрібні матеріали та технології, які зменшують ризик мікробного зараження, включаючи антибактеріальні властивості та герметичність пакування. Традиційне пластикове пакування створює серйозні екологічні проблеми через тривалий час розкладу. Споживачі все більше звертають увагу на екологічність пакування, тому існує потреба у розробці біорозкладних, перероблюваних матеріалів, які будуть відповідати екологічним стандартам без втрати якості.

Споживачі прагнуть функціональних та зручних рішень, таких як легке відкриття, повторне закриття, можливість приготування у самому пакуванні (наприклад, у мікрохвильовій печі) або інформаційні етикетки. Це створює додаткові вимоги до дизайну пакування. Пакування не повинне змінювати смак, текстуру та інші орга-

нолептичні властивості м'ясних продуктів. Тому важливо вибирати матеріали, які не вступатимуть у хімічні реакції з м'ясом і не впливатимуть на його якість.

Вирішення цих проблем вимагає впровадження нових технологій запаковування, таких як активне і розумне пакування, вдосконалення властивостей традиційних матеріалів, використання біополімерів та створення ефективних бар'єрних пакувань. Дані проблеми зумовлюють пошук рішень та актуальність досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запаковування м'яса є важливою складовою ланцюга збереження якості та безпеки продукту, що обумовлює зростання уваги дослідників до нових технологій у цій сфері.

Основною проблемою залишається швидке псування м'яса через вплив кисню, мікроорганізмів та вологості, що стимулює розвиток ефективніших бар'єрних упаковок. Сучасні дослідження зосереджені на покращенні бар'єрних властивостей пакування, щоб запобігти окисненню продукту та зростанню мікроорганізмів [1].

Однією з сучасних тенденцій є розробка активного пакування, яке може включати антибактеріальні компоненти, що зменшують ризик забруднення та подовжують термін придатності [2]. Велика увага приділяється модифікованій атмосфері пакування (MAP), яка регулює склад газів всередині пакування для кращого збереження якості продукту. Дослідники також звертають увагу на екологічність матеріалів, розглядаючи

біорозкладні та біологічно базовані пакування, які можуть замінити традиційний пластик [3-6]. Водночас проблема екологічного впливу пакування на навколишнє середовище залишається актуальною, і розробка стійких матеріалів є пріоритетом [7]. Інтелектуальні пакування, які можуть відображати зміни якості продукту, набувають популярності, оскільки вони дозволяють споживачам контролювати свіжість продуктів [8]. Удосконалення технологій термічного пакування дозволяє зберігати м'ясо та м'ясні продукти без використання консервантів, зберігаючи їх природні властивості. Сучасні дослідження спрямовані також на вдосконалення матеріалів для пакування, які можуть витримувати заморожування і розморожування без втрати якості. Увага приділяється технологіям, які дозволяють зменшити вагу та об'єм пакування, що робить його більш економічним та екологічним. Зростає інтерес до впровадження нанотехнологій у пакуванні м'ясних продуктів, оскільки наноматеріали можуть забезпечувати кращий захист від впливу зовнішніх факторів [9].

Таким чином, сучасні тенденції в пакуванні м'яса та м'ясних продуктів зосереджені на підвищенні безпеки, збереженні якості та зменшенні впливу на довкілля.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є вивчення сучасних тенденцій в упакуванні м'яса та м'ясних продуктів з метою підвищення їхньої якості, безпеки та тривалості зберігання. В умовах зростаючих вимог споживачів до свіжості та безпеки харчових продуктів важливо знайти інноваційні рішення, які зможуть задовольнити ці очікування. Систематизовано рішення для розуміння складу пакувальних матеріалів та біоактивних речовин, що використовуються в процесах упакування м'яса та м'ясних продуктів, із урахуванням сучасних тенденцій і очікувань споживачів. Тара з використанням активних сполук додатково подовжує термін зберігання харчових продуктів порівняно з традиційним пакуванням, зменшуючи несприятливі впливи під час зберігання, такі як окиснення, ріст мікроорганізмів та втрата вологи. З іншого боку, включення природних біоактивних речовин у пакування надає можливість збільшити термін зберігання харчових продуктів або зменшити використання консервантів. Цей напрямок відкриває широкі можливості для досліджень завдяки великій кількості речовин, їх впливу на властивості матеріалу упакування.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Збереження свіжості та якості продуктів харчування є важливим завданням, яке супроводжує людство протягом століть. Традиційні методи зберігання, такі як вакуумне пакування та модифікована атмосфера (МАР), залишаються актуальними і сьогодні. Вони дозволяють уповільнити процеси псування продуктів, зменшуючи вплив окиснення та мікробного забруднення. Ці методи широко використовуються для збереження різних видів харчових продуктів, від м'яса та риби до овочів і молочних виробів.

Вакуумне пакування – метод, при якому з об'єму пакування видаляється повітря, створюючи вакуум. Завдяки цьому зменшується кількість кисню, що уповільнює окиснення та ріст мікроорганізмів. Часто використовується для зберігання м'яса, риби, сиру, овочів, горіхів тощо. Такий спосіб упакування продуктів збільшує термін зберігання, їхню якість і смакові властивості, захищає від вологи та сторонніх запахів.

Іншим широко використовуваним методом пакування є МАР – модифікована атмосфера (Modified Atmosphere Packaging). Це метод, при якому в об'ємі пакування змінюється склад газів. Зазвичай зменшується кількість кисню, збільшується кількість карбон (IV) оксиду або нітрогену. Завдяки цьому знижуються процеси окиснення і пригнічується ріст мікроорганізмів. МАР часто використовується для м'ясних, молочних продуктів, овочів, фруктів, хліба, напівфабрикатів. Серед переваг виділяють довший термін зберігання, кращу презентабельність продукту, можливість зберігання продуктів при вищій температурі. Зазвичай свіже червоне м'ясо зберігається в пакуваннях із модифікованим середовищем (табл. 1), що містять 80 % O_2 : 20 % CO_2 , а варене м'ясо зберігається в 70 % N_2 : 30 % CO_2 .

Функція вуглекислого газу в пакуванні з модифікованим середовищем (МАР) полягає в тому, щоб пригнічувати ріст бактерій, що викликають псування продуктів. Нітроген використовується в МАР як інертний наповнювач для зменшення пропорцій інших газів або для запобігання здавлюванню пакування. Основна функція кисню – підтримувати м'язовий пігмент міоглобін в оксигенованій формі – оксиміоглобіні. Низькі концентрації кисню сприяють окисненню оксиміоглобіну до метміоглобіну. Тому, щоб мінімізувати утворення метміоглобіну у свіжому червоному м'ясі, кисень має бути виключений із пакувального середовища до рівня нижче 0,05 %. Високий вміст кисню в МАР також сприяє

Склад газової суміші, що використовується в пакуванні з модифікованим середовищем для м'яса та м'ясних продуктів

Тип	Склад середовища	Газопроникність плівки	Атмосфера	Примітки
Вакуумний пакет	Повітря	Низька	Анаеробна	Надлишок O ₂ споживається в результаті ферментативної реакції
MAP з високим вмістом O ₂	O ₂ , CO ₂ , N ₂	Низька	Аеробна	Кількість O ₂ зменшується з часом
MAP з низьким вмістом O ₂	CO ₂ , N ₂ , надлишок O ₂	Низька	Анаеробна	Надлишок O ₂ споживається внаслідок ферментативної реакції
Пакування в контрольованій атмосфері (Controlled Atmosphere Packaging, CAP)	CO ₂ , N ₂	Непроникна	Анаеробна	Для стабільної атмосфери можуть використовуватися поглиначі кисню

окисненню м'язових ліпідів із часом, що негативно впливає на колір свіжого м'яса.

Незважаючи на ефективність, існують певні обмеження, які важливо враховувати для подовження терміну зберігання їжі. Окиснення – хімічний процес, при якому продукти реагують із киснем, що може призводити до погіршення смаку, кольору та текстури. Особливо це стосується жирів, які можуть піддаватися процесу окиснення (згірнення), знижуючи якість продукту. Продукти можуть бути заражені мікроорганізмами, такими як бактерії, грибки або дріжджі, що призводить до псування та зменшення терміну зберігання. Вакуумне пакування та MAP допомагає зменшити ризик забруднення, але не гарантує повного захисту від патогенних мікроорганізмів, особливо в умовах порушення технологічних норм. Вакуумне пакування не повністю перешкоджає розвитку анаеробних бактерій, таких як *Clostridium botulinum*. Навіть із використанням сучасних методів запакування термін зберігання продуктів все одно залишається обмеженим. Деякі продукти зберігаються лише декілька днів або тижнів, навіть у вакуумі або в модифікованій атмосфері.

Ці методи зберігання є ефективними, але кожен із них має свої обмеження та потребує ретельного дотримання технологічних вимог для збереження якості продуктів. Особливо важливо зберігати правильну температуру і вологість, щоб подовжити термін зберігання.

Полімери на нафтовій основі є одним із найпоширеніших матеріалів для пакування завдяки їхній жорсткості, гнучкості, бажаним бар'єрним властивостям, низькій вартості та легкості

обробки [10]. Як традиційні матеріали для запакування м'яса та м'ясних продуктів використовуються синтетичні матеріали у формі фольги, часто в комбінації з зовнішнім пакуванням, наприклад із картону. Найпоширеніші синтетичні пластмаси, що застосовуються для фасування м'яса: поліетилен (PE), поліпропілен (PP), полівінілхлорид (PVC), поліестер (PET), поліамід (PA), полівініліденхлорид (PVDC) та етилен-вініловий спирт [2]. Однак масове використання таких матеріалів призвело до серйозних екологічних проблем, таких як виснаження природних ресурсів, забруднення сміттям та глобальне потепління, оскільки вони є невідновлюваними та нерозкладними [11]. Тому зусилля вчених та промисловості спрямовані на розробку стійких стратегій шляхом створення інновацій у галузі пакувальних матеріалів та методів пакування. Очікуваною властивістю нових пакувальних матеріалів є те, що вони можуть бути багаторазово використаними, перероблюваними або біорозкладними після виконання своєї функції. Тому харчова промисловість шукає екологічно безпечну заміну небіорозкладним пластмасам на біорозкладні.

Інноваційні матеріали для запакування м'яса стають ключовим елементом сучасної харчової промисловості, спрямованої на збереження якості та безпеки продуктів. Нові пакувальні технології зосереджені на подовженні терміну зберігання, запобіганні росту бактерій та збереженні свіжості м'яса. Важливу роль у цьому відіграють матеріали з антимікробними властивостями та біорозкладні компоненти, які мінімізують вплив на навколишнє середовище. До інновацій відно-

сяться також «дихаючі» пакування, які дозволяють контролювати вологість і кисневий баланс всередині тари. Завдяки таким технологіям виробники можуть забезпечити високу якість продукту, задовольняючи при цьому вимоги споживачів до екологічної та безпечної їжі.

Біорозкладні матеріали, зокрема біопластики, стають популярнішими завдяки своїй екологічності та здатності зменшувати відходи, матеріали можуть розкладатися природним шляхом, що знижує навантаження на сміттєзвалища. Крім того, біопластики можуть бути розроблені з антимікробними властивостями, що робить їх перспективним варіантом для загортання харчових продуктів.

Коекструзійні плівки – це багатошарові матеріали, які поєднують різні полімери для досягнення високих бар'єрних властивостей. Одним із сучасних прикладів таких матеріалів є *Styroflex*, що забезпечує чудовий захист від проникнення кисню, вологи та запахів. Це особливо важливо для запаковування продуктів, що чутливі до зовнішніх впливів, таких як м'ясо та молочні вироби. Коекструзійні плівки дозволяють створювати тонкі, але міцні бар'єри, що подовжують термін зберігання продуктів без шкоди для їхньої якості. Такі плівки можуть бути розроблені з перспективою вторинної переробки, що робить їх екологічно безпечнішими. Інновації у цій сфері дозволяють виробникам задовольняти зростаючий попит на безпечне та довготривале зберігання продуктів харчування.

Нанотехнології відкривають нові можливості для підвищення безпеки та подовження терміну зберігання харчових продуктів. Використання наноматеріалів у пакуванні дозволяє створювати ультратонкі бар'єри, що ефективно захищають продукти від впливу кисню, вологи та світла. Деякі наночастинки, такі як аргентум або цинк, входять до складу пакування для отримання антимікробних властивостей, що пригнічує ріст шкідливих бактерій. Також нанотехнології дозволяють розробляти інтелектуальне пакування з сенсорами, які можуть сигналізувати про зміни в складі продуктів або появу шкідливих речовин. Завдяки таким інноваціям споживачі отримують безпечніші продукти з довшим терміном зберігання та збереженням їх якості.

Багато м'ясних продуктів вважаються швидкопсувними через високий вміст поживних речовин. Температура є основним фактором, що активує ріст мікроорганізмів та хімічні реакції; тому температура охолодження має суттєвий

вплив на їхні властивості. Однак коливання температури під час зберігання та транспортування можуть погіршувати якість продуктів, наприклад шляхом збільшення росту мікроорганізмів та хімічних реакцій, таких як підвищення рівнів пероксидів та тіобарбітуратової кислоти (ТВА) [12].

Щоб підвищити цінність та безпеку яловичини, було розроблено та впроваджено методи холодного зберігання та логістики холодного ланцюга. Ці методи застосовуються для збереження сирової яловичини, особливо під час заморожування та охолодження [13]. Заморожування нижче -18°C суттєво подовжує термін зберігання м'ясних продуктів, але погіршує якість м'яса під час процесу заморожування-розморожування. Для порівняння: зберігання при 4°C дозволяє зберегти сенсорну якість м'яса та знизити енергоспоживання; однак воно не може повністю пригнічувати ріст мікробів, тому термін зберігання продуктів обмежений [13].

М'ясна промисловість зацікавлена у виробництві сучасних пакувань на основі матеріалів, які є біорозкладними, компостованими, перероблюваними або багаторазовими. Зростаючий попит на м'ясо спричинив значний прогрес у пакуванні м'яса, забезпечуючи здорові та безпечні продукти. У той же час безпека та якість м'яса залежать від пакувальних матеріалів і застосовуваних технологій.

Наноматеріали, що складаються з TiO_2 , SiO_2 , наночастинок аргентуму, графену та наноцелюлози, мають важливі характеристики, такі як висока каталітична активність та провідність, що характеризує їх як біосенсиори. У літературі описано властивості імуносенсорів, які використовують для виявлення *Salmonella* у зразках м'яса. Наприклад, графен є надійним біосенсорним наноматеріалом, який легко інтегрується з інтелектуальними пакувальними системами. Графенові наноплівки та електроди використовують для розробки гнучких детекторів етанолу, гістаміну та амоніаку [13].

Серед цих плівок пігментні натуральні колориметричні плівки цікаві своїми властивостями нетоксичності, біосумісності, рН та іншими характеристиками. Ці колориметричні плівки, чутливі до рН, можуть показувати видимі зміни кольору, реагуючи на нелеткі гази, які утворюються при розкладі продуктів із високим вмістом білка, що може надавати візуальну інформацію про якість та мікробне забруднення харчових продуктів [13].

Для інгібування окиснення жирів і зменшення використання хімічних добавок, що викликають порушення здоров'я, у функціональному пакуванні застосовуються натуральні антиоксиданти. Вони також подовжують термін зберігання м'ясних продуктів.

Антиоксидантні та антимікробні сполуки, що використовуються як матеріал пакування, мають різне походження: натуральні (ефірні олії, низин, куркумін, α -токоферол і вітаміни, екстракти рослин і вичавок, які багаті на феноли, аліловий ізотіоціанат та хітозан); синтетичні антиоксиданти (гідрокситолуол та його аналоги, гідроксіанізол та *t*-бутилгідроксихінон); антимікробні речовини (органічні кислоти (ацетатна, сорбінова, аскорбінова, бензойна та пропанова), нітрити та нітрати).

Тимол, який є основним компонентом олії чебрецю, є перспективною альтернативою хімічним консервантам із хорошими антимікробними та антиоксидантними властивостями. Хоча потенціал тимолу як харчового консерванта широко обговорюється, його використання у формуванні плівок/покриттів обмежене через високу леткість та гідрофобність. Враховуючи ці проблеми, особливу увагу було приділено інкапсуляції біоактивних сполук рослинного походження у структуру біополімерів.

Лін та ін. використали желатинові наноплівки, що містять ефірну олію чебрецю/ ϵ -полілізинові β -циклодекстринові наночастинки, для контролю росту *Campylobacter jejuni* на поверхні м'яса птиці без впливу на сенсорні, текстурні властивості та колір. Запаковані зразки курятини показали нижчий рівень аеробних бактерій, знижену кількість загального леткого нітрогену, триметиламіну, вміст ТВА та значення рН.

Циннамальдегід (3-феніл-2-пропеналь), компонент натуральної кориці з характерним ароматом, є одним із важливих антиоксидантних і антимікробних агентів. Він може використовуватися для поліпшення якості харчових продуктів та подовження їх терміну зберігання. Його чутливість до тепла, світла, вологості, кисню, а також рідкий стан при кімнатній температурі вимагають його інкапсуляції.

Маса зеїнових нанофібрів, що містить 1000 ppm циннамальдегіду, показала хорошу бактерицидну активність проти *Staphylococcus aureus* PTCC 1337 (Перська колекція типових культур (PTCC)) та *Escherichia coli* O157:H7 без значних негативних ефектів на текстуру або колір у сосисках зі зниженим вмістом нітритів [12]. Кількість *E. Coli* та *S. Aureus* зменшувалася у всіх сосис-

ках під час зберігання завдяки наявності зеїнових нанофібрів із циннамальдегідом як антибактеріальним агентом і нітратами [12].

Дослідження показали, що циннамальдегід, зеїнові нанофібри з циннамальдегідом і нітрити демонструють довготривале пригнічення росту *S. Aureus* та *E. Coli* [13]. Через 10 днів зберігання у зразках із пакуванням, що містили матеріали з фазовим переходом для буферизації температури, не було виявлено бактерій *E. Coli* та *S. Aureus* [12].

Огляд складу зразків нових пакувальних матеріалів, біоактивних речовин, що використовуються, та спектра їх впливу на якість запакованих харчових продуктів представлений у таблиці 2.

Впровадження нових технологій у пакування харчових продуктів зробило ринок пакування динамічним. Це передбачає багато змін, зокрема у перевірці придатності нових матеріалів у промислових умовах, особливо з точки зору їх впливу на якість і безпеку упакованих харчових продуктів. Перспективним напрямком є використання природних полімерів із цією метою, що дозволяє вирішити проблему утворення великої кількості відходів харчовою промисловістю.

Крім того, включення натуральних біоактивних речовин у пакування відкриває можливості для подовження терміну зберігання харчових продуктів та зменшення використання харчових консервантів. Це надає широке поле для досліджень через різноманітність речовин та спектр їх впливу, разом із властивостями упакованого продукту.

Інновації в харчових пакувальних наноматеріалах обумовлені насамперед їхніми такими унікальними характеристиками: чудові оптичні, бар'єрні та термічні властивості, антимікробна активність та вдосконалені сенсорні властивості, що впливають на їхній хімічний, фізичний та біологічний потенціал, на відміну від їхніх об'ємних аналогів.

Використання нових матеріалів для пакування м'яса сприяє зменшенню негативного екологічного впливу на навколишнє середовище. Біорозкладні матеріали, такі як біопластики, знижують обсяги пластикових відходів, оскільки можуть розкладатися природним шляхом. Переробка коекструзійних плівок, зокрема тих, що містять перероблювані компоненти, дозволяє повторно використовувати цінні ресурси, зменшуючи потребу в нових матеріалах. Завдяки цьому зменшується кількість сміття на звалищах та шкідливий вплив на екосистеми. Інноваційні матері-

Таблиця 2

Приклади та ефекти використання біоактивних речовин у паковальних матеріалах

Речовина	Матриця	Отримано позитивні ефекти	Продукт
Масло чайного дерева	Нановолокна мембрана	Протимікробний ефект Інгібування 99,99% <i>Salmonella</i> після 4 днів роботи без впливу на сенсорні властивості	Куряче м'ясо
Ефірна олія кориці	Інкапсульований в <i>Eudragit</i> L100 (як оболонка) за технологією коаксального електроспінінгу	Хороша антибактеріальна ефективність проти <i>E. Coli</i> та <i>S. Aureus</i>	Свиняча корейка
Екстракт шкірки граната (PE)	Активні нановолокна електроволокна хітозан/поліетиленоксид (CS/PEO)/активні нановолокна CS/PEO/PE	Ефективне інгібування <i>E. Coli</i> O157:H7 на зразках при 4 і 25 °C протягом 7 і 10 днів відповідно порівняно з контрольним пакуванням	Яловичина
Чебрець (EO)	Нановолокна фіброїну шовку	Зменшення <i>Salmonella typhimurium</i> з 6,64 до 2,24 log KUO/г	Куряче м'ясо
Орегано (EO)	Фольга натрій альгінату	Зменшення популяції <i>Listeria</i> приблизно на 1,5 log при 8 °C і 12 °C наприкінці зберігання та майже на 2,5 log при 4 °C	Шинка
Хітозан	Електропрядене волокно на основі хітозану та поліетиленоксиду CS/PEO	Можливість збереження безпеки та продовження терміну зберігання на тиждень	Свіже червоне м'ясо
Голова кислота + хітозан або карвакрол + хітозан	Крохмальна фольга	Повне пригнічення росту <i>Listeria monocytogenes</i> протягом 4 тижнів зберігання, крохмальні плівки, наповнені хітозаном або хітозаном і карвакролом, затримували ріст мікробіоти на 1-2 тижні	Шинка
Електропрядені нановолокна з желатину, гліцерину та ε-полілізину	Желатин	Пригнічення росту <i>L. Monocytogenes</i>	Яловичина
Lemon (LEO)	Термостабільний і пористий вермикуліт (VML), комплекс LEO/VML, у поєднанні з композитом глюкоманнану конжака, зшитого полі(акриловою кислотою)/полівінілловим спиртом	Довготривале контрольоване вивільнення LEO ефективно інгібує ріст <i>E. Coli</i> під час зберігання, що подовжує термін зберігання охолодженої свинини на 3 дні	Свинина
Methyl ferulate	Zein (зейн)	Ефективне інгібування росту мікроорганізмів у рибі та уповільнення виробництва і накопичення лужних речовин, що дозволяє контролювати підвищення pH і зберігати свіжість	Риба
Thyme EO/ε-polylysine β-cyclodextrin nanoparticles	Нановолокна желатину	Контролює ріст <i>S. Jejuni</i> на поверхні птиці без впливу на сенсорну оцінку	М'ясо птиці
Eugenol	Нановолокна желатину	Сильна антибактеріальна активність/уповільнення росту загальних мезофільних аеробних та загальних бактерій	М'ясні продукти
Покритий нетканною тканиною з полікапролактону/хітозану (плівка 1), покритий нетканною тканиною з полікапролактону/хітозану, посиленою екстрактом колумбійського прополісу (плівка 2)	Плівка з лінійного поліетилену низької щільності	Покращення стабільності кольору та мікробіологічної стабільності зразків свинини	Свинина

Продовження таблиці 2

Антиоксидантний ефект		
Екстракт розмарину	Поліетилен низької щільності	Значне пригнічення окиснення ліпідів
Chitosan	Желатинова фольга	Інгібування окиснення жирів і утворення метгемоглобіну
Корія (85%) + ефірна олія розмарину (15%)	Сироватковий блок	Інгібування окиснення ліпідів
Екстракт зеленого чаю	Поліамід	Дуже хороша антиоксидантна здатність і подовження терміну зберігання від 6 до 23 днів
Антиоксидантна + протимікробна дія		
Екстракт шкірки буряка	Покриття желатин-натрій альгінат	Мінімальна інгібуєча концентрація 2,5 мг/мл проти грампозитивних бактерій (<i>S. Aureus</i> і <i>E. Coli</i>) і грамнегативних бактерій (<i>Salmonella enterica</i> і <i>L. Monocytogenes</i>); уповільнення хімічного окиснення та покращення сенсорних характеристик
Постбіотики <i>Lactobacillus plantarum</i>	Бактеріальна наноцелюлоза	Зменшення (~5 log циклів) кількості <i>L. Monocytogenes</i> у фарші. Постбіотики <i>L. Plantarum</i> показали помірну антиоксидантну активність у м'ясі.
<i>Anethum graveolens</i> (EO)	Слизова оболонка насіння подорожника великого	Дія проти <i>E. Coli</i> , <i>S. Aureus</i> , грибків, що збільшує термін зберігання м'яса з 6 до 18 діб; а також пригнічення росту бактерій і уповільнення окислювальних змін
Олії гвоздики та аргана	Poly(lactic acid) плівки, вкриті хітозановою олією	Низька окисленості, висока активність поглинання радикалів і сильне пригнічення росту <i>L. Monocytogenes</i> , <i>S. Typhimurium</i> і <i>E. Coli</i>
Водний екстракт зеленого чаю	Хітозанове покриття	Поліпшення фізико-хімічних властивостей (рН, колір, окиснення ліпідів) і мікробіологічних властивостей зразків при зберіганні; включення 0,1% і 0,5% водного екстракту зеленого чаю в 1% покриття хітозану ефективно затримує утворення малонового діальдегіду і ріст мікробів, сприятливо впливаючи на рН і інтенсивність червоного кольору свинини
Наночастинки ZnO з прополісом	Композитна плівка на основі пулулан/хітозан (PLN/CTS)	Сильна антибактеріальна активність проти <i>E. Coli</i> та <i>L. Monocytogenes</i> : у зразках м'яса, загорнутих у фольгу PLN/CTS/ZnO/PPS перед пакуванням, загальна кількість аеробних бактерій (TABC) залишалася на рівні 6,7 Log КУО/г після 8 днів зберігання, тоді як у контрольних зразках відбулося швидке збільшення (TABC) приблизно до 6 Log КУО/г через 6 днів, і, зрештою, досягло 9 Log КУО/г протягом 8 днів.
Spice EO (<i>Laurus nobilis</i> , LEO, and <i>Rosmarinus officinalis</i> , REO)	Полівініловий спирт електроволокну	Хороша антиоксидантна активність: після 15 днів зберігання пероксидні значення (PV) упакованого м'яса в контрольній групі різко зросли до 22 меґ/кг, тоді як м'ясо, загорнуте у плівку PLN/CTS/ZnO/PPS, показало набагато нижчий показник пероксиду – близько 10 меґ/кг, що свідчить про приблизно 55% зниження окиснення ліпідів.
Джерело: складено на основі: Gil M., Rudy M. Innovations in the Packaging of Meat and Meat Products—A Review. <i>Coatings</i> . 2023, 13, 333. https://doi.org/10.3390/coatings13020333 .		Філе курячої грудки

али, такі як Styroflex, забезпечують ефективний захист продуктів при мінімальному використанні ресурсів, що робить їх безпечнішими. Крім того, нанотехнології дозволяють створювати надтонкі, але міцні пакувальні бар'єри, які знижують споживання пластиків. Це сприяє розвитку екологічно чистих пакувальних рішень, що відповідають вимогам сталого розвитку. У майбутньому очікується ще більше інвестицій у екологічні інновації, що допоможуть знизити карбоновий слід харчової промисловості.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Використання біополімерів у пакуванні харчових продуктів є інноваційним та екологічно перспективним підходом, що має потенціал для значного вдосконалення сучасної харчової індустрії. Основними перевагами біополімерів є їхня екологічність, біорозкладність та можливість зменшення обсягів пластику, що забруднює довкілля. Інтеграція природних біоактивних речовин у біополімерні матеріали відкриває нові можливості для продовження терміну зберігання продуктів, зменшення потреби у синтетичних консервантах і, відповідно, підвищення безпеки харчових продуктів.

Перспективи цього напрямку включають подальші дослідження для вдосконалення механічних, бар'єрних і функціональних властивостей біополімерів, а також їх адаптацію до широкого спектра харчових продуктів. Крім того, розвиток технологій, спрямованих на зниження вартості виробництва біополімерних матеріалів, сприятиме їх більшому впровадженню на ринку.

Таким чином, біополімери в пакуванні харчових продуктів є не лише ефективним рішенням для зменшення екологічного навантаження, але й інструментом для забезпечення високої якості та безпеки харчової продукції в умовах сучасних викликів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Новікова Н. В. Переваги упаковки м'яса курей-бройлерів в модифікованому газовому середовищі, та вплив на його зберігання. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 97. С. 155-159. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/taveconn_2017_97_27.

2. Cenci-Goga B., Iulietto M., Sechi P., Borgogni E., Karama M., Grispoldi L. New Trends in Meat Packaging. *Microbiology research. Microbiol. Res.* 2020. Vol. 11, 56-67. Doi: 10.3390/microbiolres11020010 www.mdpi.com/journal/microbiolres.

3. Debeaufort F., Voilley A. Effect of surfactants and drying rate on barrier properties of emulsified edible films. *International Journal of Food Science & Technology*. 1995. Vol. 30(2). P. 183-190.

4. Копилова К. В., Вербицький С. Б., Козаченко О. Б. та ін. Інноваційні біорозкладні матеріали для пакування продукції молочної промисловості. *Матеріали VIII Міжнародної спеціалізованої наук.-практ. Конф. «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності»*, 12 вересня 2019 р. Київ : НУХТ, 2019. С. 150-152.

5. Haugaard V. K., Udsen A.-M., Mortensen G., Høgh L., Petersen K., Monahan F. Potential food applications of biobased materials. An EU-Concerted Action Project. *Starch/Starke*. 2001. Vol. 53. P. 189-200.

6. Robertson G. L. Edible and biobased food packaging materials. In *Food Packaging: Principles and Practice*. New York : Taylor & Francis, 2006. Chapter 3.

7. Сірик Т. А. Аналіз факторів впливу пакувальних відходів на навколишнє середовище. К. : Колос, 2014. 342 с.

8. Лебединець В. Т. Досягнення і перспективи розвитку інтелектуальних упаковок. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2022. Вип. 29. С. 30-38.

9. Авдяков Є. В., Золотухіна К. І. Аналітичний огляд сучасного стану технологій виготовлення гнучкого пакування та етикетки. *Технологія і техніка друкарства*. 2022. Т. 3. №. 77. С. 33-46. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(77\).2022.271804](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(77).2022.271804).

10. Sid S., Mor R. S., Kishore A., Sharanagat V. S. Bio-Sourced Polymers as Alternatives to Conventional Food Packaging Materials: A Review. *Trends Food Sci. Technol.* 2021. Vol. 115. P. 87-104.

11. Nilsen-Nygaard J., Fernández E. N., Radusin T., Rotabakk B. T., Sarfraz J., Sharmin N., Sivertsvik M., Sone I., Pettersen M. K. Current Status of Biobased and Biodegradable Food Packaging Materials: Impact on Food Quality and Effect of Innovative Processing Technologies. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2021. Vol. 20. P. 1333-1380.

12. Karim M., Fathi M., Soleimanian-Zad S., Spigno G. Development of Sausage Packaging with Zein Nanofibers Containing Tetradecane Produced via Needle-Less Electrospinning Method. *Food Packag. Shelf Life*. 2022, 33. P. 100911.

13. Gil M., Rudy M. Innovations in the Packaging of Meat and Meat Products—A Review. *Coatings*. 2023, 13, 333. <https://doi.org/10.3390/coatings13020333>.

REFERENCES:

1. Novikova N. V. (2017) Perevahy upakovky m'iasa kurej-brojlerv v modyfikovanomu hazovomu sredovyschi, ta vplyv na joho zberihannia. *Tavrijs'kyj*

naukovyy visnyk. Sil's'kohospodars'ki nauky., vyp. 97, s. 155-159, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tneconn_2017_97_27.

2. Cenci-Goga B., Iulietto M., Sechi P., Borgogni E., Karama M., Grispoli L. (2020) New Trends in Meat Packaging. *Microbiology research. Microbiol. Res.*, vol. 11, 56-67. Doi: 10.3390/microbiolres11020010 www.mdpi.com/journal/microbiolres.

3. Debeaufort F., Voilley A. (1995) Effect of surfactants and drying rate on barrier properties of emulsified edible films. *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 30(2), p. 183-190.

4. Kopylova, K. V., Verbyts'kyj, S. B., Kozachenko, O. B. Ta in. (2019) Innovatsijni biorozkladni materialy dlja pakuvannia produktsii molochnoi promyslovosti. *Materialy VIII Mizhnarodnoi spetsializovanoi nauk.-prakt. Konf. «Resurso- ta enerhooschadni tekhnolohii vyrobnytstva i pakuvannia kharchovoi produktsii – osnovni zasady ii konkurentozdatnosti»*, 12 veresnia 2019 r. NUKhT, Kyiv, s. 150-152.

5. Haugaard, V. K., Udsen, A.-M., Mortensen G., Høgh L., Petersen K., Monahan F. (2001) Potential food applications of biobased materials. An EU-Concerted Action Project. *Starch/Starke*, vol. 53, p. 189-200.

6. Robertson, G. L. (2006) Edible and biobased food packaging materials. In *Food Packaging: Principles and Practice*. Taylor & Francis, New York. Chapter 3.

7. Siryk, T. A. (2014) Analiz faktoriv vplyvu pakuval'nykh vidkhodiv na navkolyshnie seredovysche. *Kolos*, K., 342 s.

8. Lebedynets', V. T. (2022) Dosiahnennia i perspektyvy rozvytku intelektual'nykh upakovok.

Visnyk L'vivs'koho torhovel'no-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky., vyp. 29, s. 30-38.

9. Avdiakov, Ye. V., Zolotukhina, K. I. (2022) Analitychnyj ohliad suchasnoho stanu tekhnolohij vyhotovlennia hnuchkoho pakuvannia ta etyketky. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, T. 3. №. 77, s. 33-46. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(77\).2022.271804](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(77).2022.271804).

10. Sid S., Mor, R. S., Kishore A., Sharanagat, V. S. (2021) Bio-Sourced Polymers as Alternatives to Conventional Food Packaging Materials: A Review. *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 115, r. 87-104.

11. Nilsen-Nygaard J., Fernández, E. N., Radusin T., Rotabakk, B. T., Sarfraz J., Sharmin N., Sivertsvik M., Sone I., Pettersen, M. K. (2021) Current Status of Biobased and Biodegradable Food Packaging Materials: Impact on Food Quality and Effect of Innovative Processing Technologies. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 20, r. 1333-1380.

12. Karim M., Fathi M., Soleimani-Zad S., Spigno G. (2022) Development of Sausage Packaging with Zein Nanofibers Containing Tetradecane Produced via Needle-Less Electrospinning Method. *Food Packag. Shelf Life*, 33, r. 100911.

13. Gil M., Rudy M. (2023) Innovations in the Packaging of Meat and Meat Products—A Review. *Coatings*, 13, 333. <https://doi.org/10.3390/coatings13020333>.

*Стаття надійшла до редакції
23 грудня 2024 року*