

УДК 621.798

[https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1\(23\)-1504-1517](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1(23)-1504-1517)

Лебединець Віра Тарасівна кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри товарознавства, митної справи та управління якістю, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів, <https://orcid.org/0000-0002-0034-5290>

Лебединець Андрій Ігорович доктор філософії, асистент кафедри товарознавства, митної справи та управління якістю, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів, <https://orcid.org/0000-0002-4478-9758>

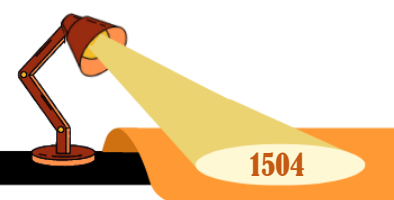
СВІТОВА НАУКА ПРО УПАКОВКУ: ДОСЯГНЕННЯ І АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

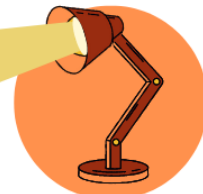
Анотація. Упаковка є важливим чинником для успішного просування товарів на ринку. Традиційна упаковка для харчових продуктів виконує роль пасивного бар'єра, головним завданням якого є мінімізація негативного впливу зовнішнього середовища на продукцію. Сьогодні у виробництві упаковок представлений значний вибір матеріалів для пакування з високими бар'єрними властивостями. Таке пакування здатне забезпечити збереження якості та гарантувати безпечність харчових продуктів широкого асортименту.

У цьому огляді представлені сучасні знання про впровадження інноваційних упаковок, основним завданням яких є уповільнення процесів окислення, запобігання дихальним реакціям, захист від мікробного забруднення, уникнення поглинання вологи тощо. Основна увага зосереджена на властивостях і функціях активних, інтелектуальних та біорозкладних упаковок.

Проаналізовано сучасні досягнення вчених з розробки активної упаковки з антимікробними добавками та антиоксидантами, поглиначами кисню, вологи, етилену, смаку і аромату, вуглекислого газу, регуляторами температури. Концепції інтелектуальної та активної упаковки об'єднуються, формуючи так звану «розумну» упаковку. Інтелектуальна упаковка спрямована на моніторинг стану упакованого продукту, при цьому не здійснюючи прямого впливу на саму їжу. Виробниками дедалі частіше застосовуються технології відстеження та розпізнавання, які допомагають забезпечити якість продукції на всіх етапах логістичного ланцюга.

В останні роки активізувались дослідження, спрямовані на розроблення різних видів упаковки, включаючи біорозкладну, яка дозволяє мінімізувати контакт продуктів із киснем або повністю усувати його. Окрім своєї основної функції збереження продукту, такі інноваційні технології сприяють підвищенню





якості та безпечності продуктів харчування. Ці дослідження створюють базу для перспективних напрямків розвитку в таропакувальній галузі. Пошук нових ідей у сфері активного та інтелектуального пакування допоможе краще контролювати термін зберігання, регулювати свіжість і підтримувати стабільну якість харчових продуктів.

Ключові слова: упаковка, активна упаковка, інтелектуальна упаковка, розумна упаковка, біорозкладна упаковка, харчові продукти, якість, збереженість.

Lebedynets Vira Tarasivna PhD in Technical Sciences, Professor of the Department of Commodity Research, Customs and Quality Management at Lviv University of Trade and Economics, Lviv, <https://orcid.org/0000-0002-0034-5290>

Lebedynets Andriy Ihorovych Doctor of Philosophy, Assistant of the Department of Commodity Research, Customs and Quality Management at Lviv University of Trade and Economics, Lviv, <https://orcid.org/0000-0002-0034-5290>

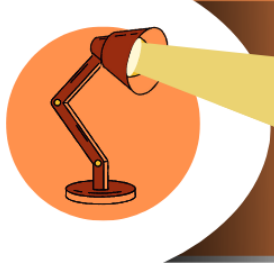
WORLD PACKAGING SCIENCE: ACHIEVEMENTS AND CURRENT CHALLENGES

Abstract. Packaging is an important factor for the successful promotion of goods on the market. Traditional food packaging plays the role of a passive barrier, the main task of which is to minimize the negative impact of the external environment on the product. Today, packaging production offers a significant selection of packaging materials with high barrier properties. Such packaging is able to ensure the preservation of quality and guarantee the safety of a wide range of food products.

This review presents current knowledge on the implementation of innovative packaging, the main task of which is to slow down oxidation processes, prevent respiratory reactions, protect against microbial contamination, avoid moisture absorption, etc. The main attention is focused on the properties and functions of active, intelligent and biodegradable packaging.

The current achievements of scientists in the development of active packaging with antimicrobial additives and antioxidants, oxygen, moisture, ethylene, flavor and aroma absorbers, carbon dioxide, and temperature regulators are analyzed. The concepts of intelligent and active packaging are combined to form the "smart" packaging. Intelligent packaging is aimed at monitoring the condition of the packaged product without directly affecting the food itself. Manufacturers are increasingly using tracking and recognition technologies that help ensure product quality at all stages of the logistics chain.





In recent years, research has been intensified to develop various types of packaging, including biodegradable, which allows minimizing contact of products with oxygen or completely eliminating it. In addition to their main function of preserving the product, such innovative technologies contribute to improving the quality and safety of food products. This research creates the basis for perspective areas of development in the packaging industry.

Searching for new ideas in the field of active and intelligent packaging will help to control the shelf life in a better way, adjust freshness and maintain consistent quality of food products.

Keywords: packaging, active packaging, intelligent packaging, smart packaging, biodegradable packaging, food products, quality, preservation.

Постановка проблеми. Для харчової промисловості сьогодні однією з основних завдань є продовження термінів зберігання харчової продукції при одночасному збереженні її споживних властивостей. Розробка інноваційних методів забезпечення тривалого зберігання продуктів дає змогу доставляти їх на великі відстані та суттєво розширити ринки збуту.

Відомо, що в харчових продуктах під час зберігання відбуваються мікробіологічні та окислювальні процеси, а також різні фізико-хімічні зміни, які погіршують їх органолептичні властивості.

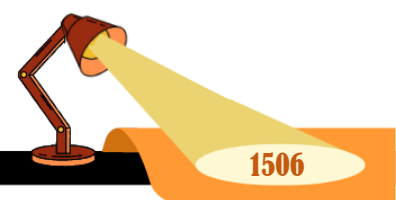
Одним із шляхів забезпечення збереження продукції є використання різноманітних харчових добавок, насамперед консервантів, антиоксидантів, агентів, які утримують вологу тощо, які сповільнюють або запобігають процесам псування.

Останніми роками через збільшення використання харчових добавок у продуктах харчування спостерігається помітна тенденція серед споживачів до значного зниження купівлі такої продукції. Вони все частіше надають перевагу товарам із мінімальним вмістом харчових добавок або зовсім без них, тобто сучасні споживачі переходять на здорове харчування. Тому перед виробниками постає завдання пошуку альтернативних підходів для забезпечення збереження якості продуктів. І одним із таких рішень – це використання інноваційних видів пакування.

Ще однією вагомою причиною впровадження інноваційних рішень у пакуванні харчових продуктів є зростаючий попит на фасовані продукти та готову до вживання продукцію, зокрема мікрохвильові страви, а також ширше використання індивідуальних упаковок невеликого об'єму.

Упродовж останніх років значно зросла потреба у стійких рішеннях для пакування продуктів харчування, адже суспільство дедалі більше усвідомлює негативний вплив відходів упаковки на довкілля [1].

Отже, впровадження інновацій із розробки пакувальних рішень для харчових продуктів сприяє ефективному виконанню основної функції упаковки -





забезпечення надійного збереження харчової продукції під час її зберігання, транспортування та доставки до кінцевого споживача, відповідаючи при цьому принципам сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий науковий внесок з розробки інноваційних видів пакувань зробили відомі вітчизняні й зарубіжні науковці, зокрема Баль-Прилипко Л., Сердюк М., Бандура В., Гавва О.М., Takebayashi-Caballero N., Regalado-González C., Shahraki M.H., Yadav S., Dutta P.K., Goyal R., Bhadania H. P., Singh S. K., Gaikwad K. K., Negi Y. S., Martinez-Abad A., Sanchez G. та інші.

Мета статті – огляд наукових досліджень з впровадження інноваційних видів упаковки для харчових продуктів у контексті забезпечення їхньої якості та безпечності. Особливий акцент робиться на найновіші розробки у сфері сучасних активних, інтелектуальних та функціональних пакувальних рішень.

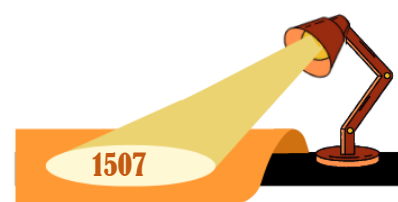
Виклад основного матеріалу. Сьогодні галузь пакувальної індустрії активно розвивається, відповідаючи на зростаючі потреби ринку. За останні десятиліття концепція пакування зазнала суттєвих змін, зосереджених на впровадженні інноваційних технологій.

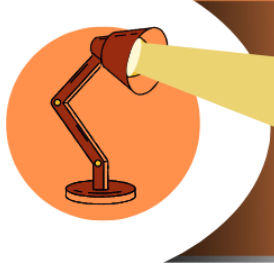
За останні десятиліття сформувався концепція інтелектуальної та активної упаковки, які разом працюють на створення так званої «розумної упаковки». Активна упаковка взаємодіє з умовами середовища продукту, тоді як інтелектуальна упаковка аналізує та передає дані про його якість [2].

Нові тенденції в галузі упаковки зосереджені на підвищенні її функціональності та ефективності, що стимулює стрімкий розвиток активних пакувальних систем. Спеціальні компоненти, що додаються під час виготовлення упаковки, виконують активну роль та сприяють цілеспрямованому впливу на харчові продукти, з якими вони контактують.

Система активної упаковки є сучасною технологією, яка передбачає інтеграцію активних компонентів, а саме антимікробних добавок: бактеріоцинів природного походження (екстрактів рослин, спецій, ефірних олій, сухих лікарських трав тощо); металів та їх сполук (іонів міді, срібла, свинцю тощо); хімічних сполук (переважно органічних кислот та їх солей, ефірів тощо); антибіотиків і бактеріоцинів мікробного походження [3].

Останнім часом виробники упаковки активно спрямовують свої зусилля на створення матеріалів, які впливають на продукт фізичними властивостями, замість хімічного впливу. Одним із перспективних напрямів у боротьбі з мікроорганізмами є введення біоцидних і антиоксидантних добавок рослинного походження до складу полімерних матеріалів, які використовують для виготовлення упаковки. Рослинні екстракти, отримані зі стебел, коренів, листя та насіння плодів, успішно застосовуються як антиоксидантні складники для упаковки харчових продуктів [4]. З метою забезпечення її антимікробних і





антиоксидантних властивостей часто застосовуються ефірні олії та екстракти ароматичних рослин, таких як часник, цибуля, орегано, м'ята, фенхель, кориця, розмарин, куркума, чебрець, гвоздика, кмин, мускатний горіх тощо. Ці властивості рослинних добавок пояснюються вмістом великої кількості поліфенолів, флавоноїдів, алкалоїдів та терпеноїдних сполук, які мають підтверджену антиоксидантну дію [4, 5].

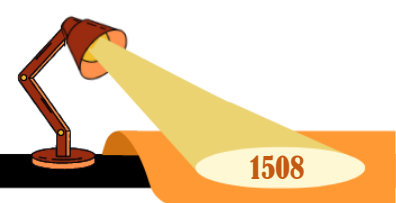
Створено інноваційну активну систему пакування на основі полімерної матриці з крохмалю та хітозану, збагаченої ефірною олією розмарину (REO) як антимікробним компонентом і екстрактом беталаїну як природним індикатором якості продукту. Беталаїновий екстракт, отриманий із відходів буряка, змінює свій колір залежно від рівня рН, що робить його надзвичайно ефективним для візуального моніторингу свіжості їжі. Така упаковка особливо актуальна для продуктів, які під час зберігання виробляють метаболіти, що спричиняють зміни рН, дозволяючи швидко виявити погіршення їхньої якості. Основна мета цього дослідження полягає у створенні розумної системи пакування із застосуванням беталаїнів та ефірної олії розмарину (REO), яка б сприяла подовженню терміну зберігання продуктів і забезпечувала контроль їхньої якості протягом усього періоду зберігання [6].

Активне пакування продуктів має значний потенціал для збереження якості та забезпечення безпеки харчових продуктів, особливо тих, які є чутливими до процесів окислення. До активних компонентів, які використовуються в пакуванні харчових продуктів, також належать регулятори температури; поглиначі кисню, вологи, смаку і аромату; поглиначі чи виробники вуглекислого газу; етиленові абсорбенти та інші.

Сьогодні в сфері «активної» упаковки домінують рішення із застосуванням поглиначів кисню. Під час вибору того чи іншого варіанта упаковки варто враховувати, що гази проникають через упаковку двома основними шляхами: дифузійним (через структуру полімеру) та дифузійно-механічним (через герметичний зварний шов – місце запаювання плівки). До того ж, сам продукт також може містити залишковий кисень. З усіх згаданих способів лише поглинач кисню здатен ефективно забезпечити видалення кисню, що залишився після запаювання, проникаючи крізь плівку або розчиняючись в самому продукті.

Використані в спеціалізованих системах упаковки кисневі поглиначі допомагають зберігати свіжість і уникати прогіркання продукту без використання додаткових штучних добавок. Оскільки ці поглиначі не взаємодіють з киснем повітря до моменту створення упаковки, вони мають великий потенціал стати одним із найкращих пакувальних матеріалів для продуктів, чутливих до кисню. Крім того, споживачам можна надати чітку інформацію про безпечність таких продуктів харчування [7].

Для поглинання кисню в упаковку або пакувальні матеріали додають хімічні реагенти, такі як порошкоподібний оксид заліза, карбонд заліза та інші





сполуки заліза. Також можуть використовуватися ензими, наприклад, глікозидаза. Ці компоненти ефективно поглинають і видаляють кисень з повітря всередині упаковки.

Проведено дослідження щодо впливу оксигенсорбенту та терміни придатності м'ясних напівфабрикатів. Встановлено, що використання кисневого сорбенту дозволяє ефективно зберігати високу вологоутримуючу здатність м'яса до 14 днів. Включення кисневих абсорбентів у склад активної упаковки сприяє збереженню фізико-хімічних і органолептичних властивостей м'ясних напівфабрикатів, уповільнює процеси окислення та продовжує термін їх зберігання на 5-6 днів без необхідності застосування консервантів [8].

Однією з сучасних та ефективних технологій пакування харчових продуктів є системи з використання сорбентів вологи, що спрямовані на подовження їх терміну придатності. При цьому застосовуються спеціальні матеріали, здатні поглинати вологу, зокрема діоксид кремнію (силікагель), активоване вугілля, полівініловий спирт (ПВС), крохмальні співполімери, а також біополімери на основі целюлози та хітозану. Їх розміщують усередині упаковки для поглинання надлишку вологи й запобігання псуванню.

Вологопоглинальні технології набувають все більшої популярності останніми роками, адже вони мають низку переваг порівняно з традиційними методами пакування. Вони перешкоджають росту бактерій, грибків та інших мікроорганізмів, що негативно впливають на якість продуктів. Крім того, ці технології допомагають зберегти смак, текстуру та харчову цінність їжі, підвищуючи її привабливість для споживачів. До того ж, завдяки можливості зберігати продукти протягом триваліших періодів без псування, такі системи сприяють зменшенню харчових відходів і підвищенню рівня сталого споживання [9].

Проведено дослідження щодо використання активних упаковок з вологопоглиначами (силікагель, CaCl_2 та сорбітал) при зберіганні швидкопсувних шампінйонів. Дихання грибів призводить до накопичення вологи всередині упаковки, що збільшує швидкість псування продукту. Використання активної упаковки з водопоглиначами призводить до поглинання надлишкової вологи всередині упаковки та уповільнення швидкості псування продукту, а отже призвело до збільшення строку зберігання шампінйонів [10].

Одними із перших іноземними науковцями були розроблені поглиначі вологи та кисню, які успішно застосовуються для збереження якості та продовження терміну зберігання харчових продуктів. Зокрема, вони використовуються для таких продуктів, як м'ясо свіже та м'ясні вироби тощо, де критичним є контроль рівня вологи та кисню в упаковці. Згодом почали впроваджувати виділювачі етанолу (наприклад, для хлібобулочних виробів), поглиначі етилену (для овочів і фруктів у процесі дозрівання), а також поглиначі та виробники





вуглекислого газу (наприклад, для свіжого м'яса, риби та птиці або для сиров'ялених м'ясних виробів, свіжих фруктів та овочів).

У сучасному виробництві активних упаковок значний потенціал демонструє використання технологій, що забезпечують контроль запаху та смаку. Ця технологія базується на включенні до пакувального матеріалу специфічних хімічних речовин або молекулярних сит, які взаємодіють з небажаними компонентами вмісту упаковки або абсорбують їх.

Одним із важливих методів контролю небажаних смаків у харчових продуктах є використання адсорбентів, що поглинають ці небажані компоненти. Особлива увага приділяється основним типам адсорбентів, зокрема тим, що вловлюють сульфіді, аміни й альдегіди, з акцентом на їхнє широке використання в різних харчових контекстах. Однак підхід до їхнього застосування значною мірою залежить від специфіки харчового продукту. Застосування адсорбентів у системах активної упаковки відкриває перспективи для ефективного управління небажаними смаками і зменшення втрат харчових продуктів [11].

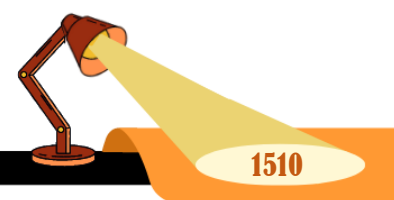
Активна упаковка з етиленовими поглиначами є перспективним напрямом розвитку в упаковці свіжих продуктів, чутливих до етилену. Доведено, що використання поглиначів етилену в упаковці може продовжити термін зберігання та зберегти якість свіжої продукції.

Ефективні системи з етиленовими поглиначами використовують перманганат калію (KMnO_4), іммобілізований на інертній мінеральній основі, наприклад, на алюмінії чи кремнеземному гелі. KMnO_4 є окислювачем широкого спектра, що реагує з етиленом та іншими забруднюючими газами. При реакції окислення етилену до етиленгліколю відбувається помітна зміна кольору. Стандартними фізичними адсорбентами є активоване вугілля, вугільне волокно, силікагель та цеоліт [12].

Інтелектуальна упаковка фокусується на моніторингу стану продукту, надаючи інформацію про умови його зберігання, включно зі свіжістю чи температурою під час транспортування та зберігання. До того ж все частіше використовуються технології відстеження й ідентифікації, такі як RFID і QR-коди, що сприяють забезпеченню якості товарів на всіх етапах ланцюга постачання.

Використання технологій для відстеження і управління сировиною та продукцією швидко набирає обертів. Виробники, дистриб'ютори та роздрібні торговці отримують доступ до детальної інформації про місцезнаходження та стан своїх товарів завдяки інтелектуальним функціям промислового пакування.

Швидке зростання інтелектуального промислового пакування значною мірою зумовлене збільшенням використання таких індикаторів, як індикатори часу і температури, диференціація продуктів, можливість відстеження та інші інтерактивні функції, які стають більш доступними за ціною.





Радіочастотні ідентифікаційні мітки (RFID) є інноваційним засобом перенесення даних та дозволяють ідентифікувати й відстежувати товари, що робить їх ефективним рішенням для управління великогабаритною промисловою тарою на складах, у виробничих приміщеннях або під час транспортування [13].

Упаковка відіграє ключову роль у вирішенні основних викликів сталого споживання харчових продуктів на глобальному рівні, зокрема у зниженні негативного впливу упакованих продуктів на довкілля. Інноваційні стійкі системи упаковки спрямовані на скорочення кількості відходів і харчових втрат через збереження якості продуктів, а також на забезпечення безпеки харчування, запобігаючи виникненню харчових захворювань і хімічного забруднення. Додатково, такі рішення мають протистояти проблемі накопичення пластмасових відходів, які розкладаються надзвичайно повільно, та сприяти економії нафтових і харчових ресурсів [14].

Інновації у галузі стійкої упаковки для харчових продуктів відіграють ключову роль у формуванні сталого майбутнього. Використання біорозкладних і компостованих матеріалів, вторинних ресурсів, сучасних конструкцій упаковки та новітніх технологій активно сприяє розвитку цієї сфери.

Сьогодні, на початку XXI століття, велика увага приділяється продуктам із відновлюваних джерел завдяки їхньому позитивному впливу на природу. Найбільший попит на біоупаковку спостерігається у харчовій промисловості. Швидкий розвиток цієї галузі призвів до появи проблем із використанням немислимих пакувальних матеріалів, проте перехід на біоупаковку (біопластик) потребує часу, зусиль і терпіння [15].

Біоматеріали (біополімери) - це полімери, які отримують із відновлювальних джерел. Біополімери переважно виготовляються з рослинної сировини, хоча останнім часом їх почали отримувати також з тваринної. Їхньою головною особливістю є здатність до біорозкладання. Біополімери поділяють за різними критеріями, такими як хімічна структура, походження, методи синтезу, економічна ефективність, сфера застосування тощо [16].

Традиційний підхід до утилізації біорозкладних пакувальних матеріалів поділяється на три покоління відповідно до історичного розвитку (рис. 1).



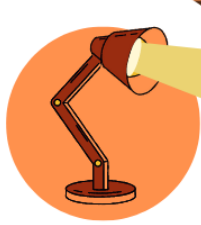


Рис. 3. Класифікація біорозкладувальних матеріалів відповідно до історичних етапів розвитку [17, 18]

Матеріали першого покоління застосовувалися для виробництва шоппінг-пакетів і включали синтетичні полімери, такі як поліетилен низької щільності (LDPE), що містив 5–15% наповнювачів на основі крохмалю та антиоксидантні або антиокислювальні добавки. Згодом ці матеріали розпадалися на менші молекули, які не були біорозкладними. Такі матеріали сформували негативний імідж біоматеріалів, особливо серед споживачів, які вважали їх біорозкладними [17].

Друге покоління біоматеріалів складається зі суміші попередньо желатинізованого крохмалю (40–70%) та поліетилену низької щільності (LDPE) з додаванням гідрофільного співполімеру, такого як етилен-акрилова кислота, полівініловий спирт та вініловий ацетат, які використовуються для ущільнення.



Повна деградація крохмалю займає 40 днів, тоді як розкладання всього зазначеного матеріалу триває 2-3 роки.

Третє покоління матеріалу повністю складається з біоматеріалів і може бути розподілене на три основні категорії залежно від походження та методів виробництва:

- полімери, отримані безпосередньо з біомаси;
- полімери, синтезовані традиційними хімічними методами з використанням біомономерів;
- полімери, створені безпосередньо природними або генетично модифікованими організмами [18].

На рис. 2 подані найбільш вживані біополімери третього покоління, які використовуються для упакування харчових продуктів [19].

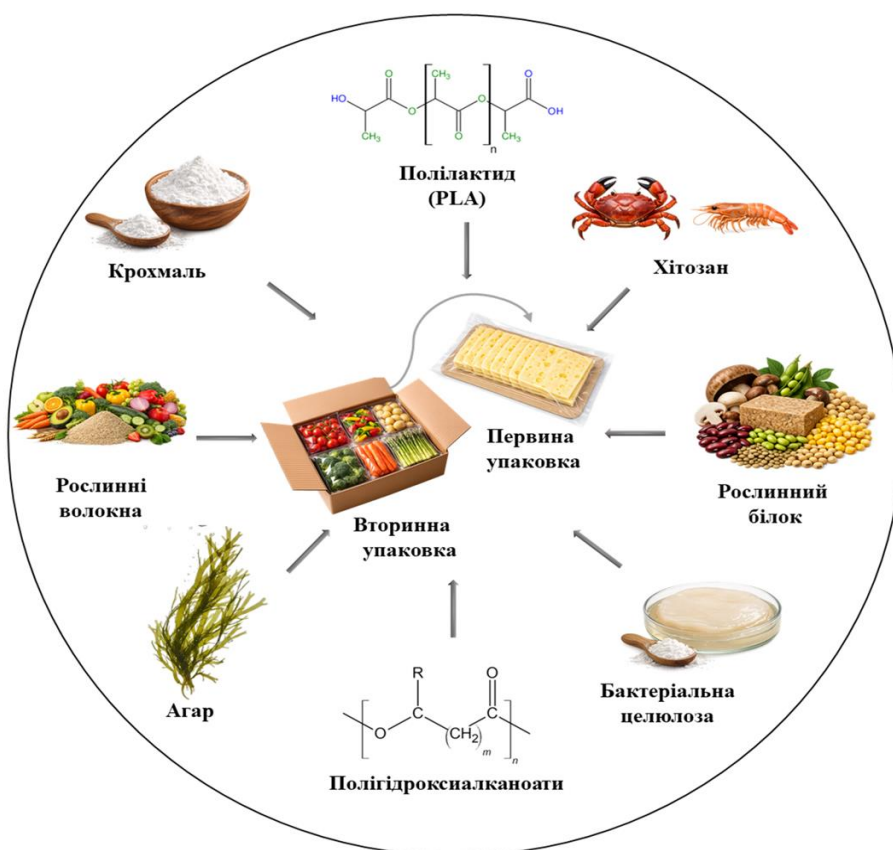
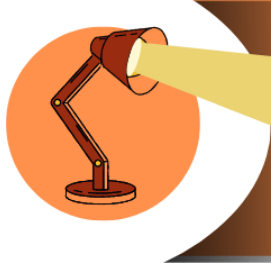


Рис. 2. Поширені біоматеріали, які використовуються у виробництві первинної і вторинної упаковки харчових продуктів

Полімери, виділені або ізольовані безпосередньо з біомаси, є найбільш поширеною категорією біополімерів на сучасному ринку. Ці полімери отримують із рослин, морських та домашніх ссавців. До прикладів належать полісахариди, такі як целюлоза, хітин і крохмаль, сироватковий білок, казеїн, колаген,





соєвий білок, міофібрилярні білки тваринного м'язу тощо. Їх можна використувати окремо або в поєднанні зі синтетичними поліестерами, такими як полілактидна кислота (PLA).

До полімерів, отриманих шляхом традиційного хімічного синтезу біомономерів належить полімолочна кислота (PLA - полілактид). PLA є біорозкладним термопластичним лінійним поліестером, який за своїми властивостями нагадує полістирол. Сировиною для отримання молочної кислоти слугує глюкоза або крохмаль, отримані шляхом ферментації з різних джерел. Як джерело вуглеводів може використовуватися також інша сировина: кукурудза, пшениця або, як альтернатива, молочна сироватка і патока.

Полімери, отримані безпосередньо з природних або генетично модифікованих організмів, відіграють важливу роль у накопиченні енергії та резерву вуглецю багатьма бактеріями. До таких полімерів належать полігідроксиалканоати (PHAs) та бактеріальна целюлоза. Полігідроксиалканоати є поліестерами, що входять до структури живих організмів, мають гідрофобні властивості та нерозчинні у воді.

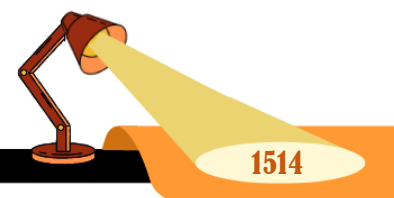
Найпоширенішим є використання похідного полігідроксибутирату, позначеного як PHB. PHB – це біорозкладний лінійний поліестер, отриманий шляхом бактеріальної ферментації цукрів або жирів. Його застосовують у пакуванні продуктів харчування, виробництві косметики та фармацевтичної продукції, а також у сільському господарстві. В аеробних умовах матеріал повністю розкладається до води та вуглекислого газу. Біорозкладання за сприятливих умов триває 5-6 тижнів [18, 19].

Такі пакувальні рішення не лише допомагають мінімізувати негативний вплив відходів з упаковки на довкілля, а й забезпечують кращу якість та безпеку продуктів.

Висновки. Упаковка як засіб збереження якості харчових продуктів постійно адаптується до вимог споживачів та сучасної харчової промисловості. Інноваційна упаковка є важливим новітнім винаходом у харчовій промисловості, адже вона поєднує додаткові функції, виходячи за межі звичайного захисту продукції.

Активні системи упаковки демонструють ефективність у продовженні терміну зберігання свіжих і оброблених продуктів. Вони поділяються на системи абсорбції та виділення, а також антимікробні системи (добавки для поглинання кисню та етилену, вологи, ароматів і запахів, а також антимікробні й антиоксидантні агенти тощо). Інтелектуальна система пакування показує та контролює фізико-хімічні умови продукту та впливи навколишнього середовища на нього під час транспортування та зберігання.

Оскільки попит на інноваційні рішення для пакування харчових продуктів продовжує зростати, важливо продовжувати розробляти нові та сучасні упаковки, які задовольняють потреби споживачів, виробників та довкілля.





Література:

1. Chee Lee. The innovations in food packaging: Sustainable solutions for a changing world / Lee Chee // African Journal of Food Science and Technology. – 2023. – Vol. 14 (5). – P. 01-02.
2. Kumar A. Innovative food packaging and handling / A. Kumar, R. Kulshrestha, C. Sen // The Pharma Innovation Journal. – 2023. – №12 (5). – P. 2365-2370.
3. Наукові проблеми зберігання, поліпшення якості, споживних властивостей і безпечності харчових продуктів : Т.М. Лозова, В.В. Гаврилишин, Л.І. Решетило, М.П. Бодак,, О.І. Гирка, О.Я. Давидович, І.В. Донцова, В.Т. Лебединець, Н.С. Палько, М.К. Турчиняк, А.І. Лебединець; монографія / за наук. ред. Т.М. Лозової. – Львів : Видавництво ЛТЕУ, 2022. – С. 310-355.
4. Munteanu S.B. Vegetable Additives in Food Packaging Polymeric Materials / S.B. Munteanu, C. Vasile // Polymers (Basel). – 2020. – № 12. – P. 1-34.
5. Martinez-Abad A. Polymeric Materials Containing Natural Compounds with Antibacterial and Virucide Properties (Chapter 11) / A. Martinez-Abad, G. Sanchez, M.J. Ocio, J.M. Lagaron // In Polymeric Materials with Antimicrobial Activity: From Synthesis to Applications; Muñoz-Bonilla, A., María, L., Fernández-García, M., Eds.; Royal Society of Chemistry: London, UK, 2013; P. 310-326.
6. Takebayashi-Caballero N. Smart Packaging System with Betalains and Rosemary Essential Oil to Extend Food Shelf Life and Monitor Quality During Storage / N. Takebayashi-Caballero, C. Regalado-González, A. Reyes Aldo, S. L. Amaya-Llano, J. Á. Granados-Arvizu, G. H. Padrón, V. Castaño-Meneses, M. Escamilla-García // Polysaccharides. – 2026. – №7, 5. – P. 1-19.
7. Gupta P. Role of oxygen absorbers in food as packaging material, their characterization and applications / P. Gupta // J Food Sci Technol. – 2023. – №61 (2). – P.1-11.
8. Bal-Prylypko L. Substantiating the efficiency of using packaging with oxygen absorber when storing small-piece natural semi-finished meat products / L. Bal-Prylypko, M. Serdyuk, V. Bandura, U. Drachuk, M. Andrushchenko, H. Shlapak, B. Halukh, N. Kirovich // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2025. – № 4/11 (136). – P. 90-102.
9. Yadav S. Moisture-Absorbent Food Packaging Systems and the Role of Chitosan / Yadav S., Dutta P.K. // Smart Food Packaging Systems: Innovations and Technology Applications. – 2024. Chapter 8. – P. 169-193.
10. Shahraki M. H. Optimisation of humidity absorbers in active packaging of button mushroom by response surface methodology and genetic algorithms / M. H. Shahraki, Y. Maghsoudlou, M. Mashkour // Quality Assurance and Safety of Crops & Foods. – 2013. – Vol. 5. – №3.
11. Goyal R. Off-Flavor Absorbents in Active Food Packaging / R. Goyal, H. P. Bhadania, S. K. Singh, P. Singha // Smart Food Packaging Systems: Innovations and Technology Applications. – 2024. Chapter 8. – P. 195-217.
12. Gaikwad K. K. Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce / K. K. Gaikwad, S. Singh, Y. S. Negi // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – № 18 (2). – P. 269-284.
13. Mulloni V. Applications of Chipless RFID Humidity Sensors to Smart Packaging Solutions/ V. Mulloni, G. Marchi, A. Gaiardo, M. Valt, M. Donelli, L. Lorenzelli // Sensors. 2024. № 24 (9). P. 1-12.
14. Cheng M. Food packaging: Innovations and sustainable solutions / M. Cheng // African Journal of Food Science and Technolog. – 2023. – Vol. – 14 (4). – P. 01-02.
15. Platt D. K. Biodegradable Polymers Market Report, Shawn-bury / D. K. Platt. UK: Rapa Technology Ltd., 2006. – 156 p.
16. Davidovic´ A. Microbial production of biodegradable polymer / A. Davidovic´, A. Savic´ // Tehnologica Acta. – 2010. – №3. – P. 3-13.
17. Malpass D. Introduction to Industrial Polyethylene: Properties, Catalysts, and Processes, John Wiley and Sons / D. Malpass // Wiley-Scrivener. – 2010. 336 p.





18. Ivankovic´ A. Review: Biodegradable packaging in the food industry / A. Ivankovic´, K. Zeljko, Stanislava Talic´, A. M. Bevanda, M. Lasic´ // *Journal of Food Safety and Food Quality - Archiv für Lebensmittelhygiene.* – 2019. – №68 (2). – P. 26-38.

19. D'Almeida A. P. Innovations in Food Packaging: From Bio-Based Materials to Smart Packaging Systems / A. P. D'Almeida, T. Lima de Albuquerque // *Processes.* – 2024. – №12. – P. 1-26.
egradable packaging
in the food industry

References:

1. Chee, Lee. (2023). The innovations in food packaging: Sustainable solutions for a changing world, *African Journal of Food Science and Technology.* Vol. 14 (5). 01-02 [in English].

2. Kumar, A., Kulshrestha, R. & Sen, C. (2023). Innovative food packaging and handling. *The Pharma Innovation Journal.* 12 (5). 2365-2370 [in English].

3 Lozova T.M., Havrylyshyn V.V., Reshetylo L.I., Bodak M.P., Hyrka O.I., Davydovych O.Ya., Dontsova I.V., Lebedynets' V.T., Pal'ko N.S., Turchyniak M.K. & Lebedynets' A.I. (2022). *Naukovi problemy zberihannia, polipshennia iakosti, spozhyvnykh vlastyvostej i bezpechnosti kharchovykh produktiv [Scientific problems of storage, improvement of quality, consumption properties and safety of food products].* L'viv : Vydavnytstvo LTEU. p. 310-355 [in Ukrainian].

4. Munteanu, S. B. & Vasile, C. (2020). Vegetable Additives in Food Packaging Polymeric Materials. *Polymers (Basel).* 12. 1-34 [in English].

5. Martinez-Abad, A., Sanchez, G., Ocio, M. J. & Lagaron, J. M. (2013). Polymeric Materials Containing Natural Compounds with Antibacterial and Virucide Properties (Chapter 11). In *Polymeric Materials with Antimicrobial Activity: From Synthesis to Applications*; Muñoz-Bonilla, A., María, L., Fernández-García, M., Eds.; Royal Society of Chemistry: London, UK, 310-326 [in English].

6. Takebayashi-Caballero, N., Regalado-González, C., Reyes, Aldo A., Amaya-Llano, S. L., Granados-Arvizu, J. Á., Padrón, G. H., Castaño-Meneses, V. & Escamilla-García, M. (2026). Smart Packaging System with Betalains and Rosemary Essential Oil to Extend Food Shelf Life and Monitor Quality During Storage. *Polysaccharides.* 7, 5. 1-19 [in English].

7. Gupta, P. (2023). Role of oxygen absorbers in food as packaging material, their characterization and applications. *J Food Sci Technol.* 61 (2). 1-11 [in English].

8. Bal-Prylypko, L., Serdyuk, M., Bandura, V., Drachuk, U., Andrushchenko, M., Shlapak, H., Halukh, B. & Kirovich, N. (2025). Substantiating the efficiency of using packaging with oxygen absorber when storing small-piece natural semi-finished meat products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 4/11 (136). 90-102 [in English].

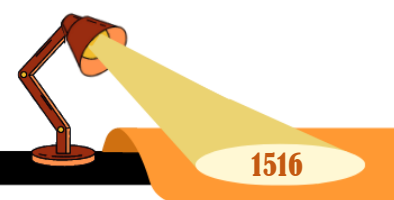
9. Yadav, S., Dutta, P. K. (2024). Moisture-Absorbent Food Packaging Systems and the Role of Chitosan. *Smart Food Packaging Systems: Innovations and Technology Applications.* Chapter 8. 169-193 [in English].

10. Shahraki, M. H., Maghsoudlou, Y. & Mashkour, M. (2013). Optimisation of humidity absorbers in active packaging of button mushroom by response surface methodology and genetic algorithms. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods.* Vol. 5, 3 [in English].

11. Goyal, R., Bhadania, H. P., Singh, S. K. & Singha, P. (2024). Off-Flavor Absorbents in Active Food Packaging. *Smart Food Packaging Systems: Innovations and Technology Applications.* Chapter 8. 195-217 [in English].

12. Gaikwad, K. K., Singh, S. & Negi, Y. S. (2019). Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters.* 18 (2). 269-284 [in English].

13. Mulloni, V., Marchi, G., Gaiardo, A., Valt, M., Donelli, M. & Lorenzelli, L. (2024). Applications of Chipless RFID Humidity Sensors to Smart Packaging Solutions. *Sensors.* 24 (9). 1-12 [in English].





14. Cheng, M. (2023). Food packaging: Innovations and sustainable solutions. *African Journal of Food Science and Technol.* 14 (4). 01-02 [in English].
15. Platt, D. K. (2006). Biodegradable Polymers Market Report, Shawn-bury. UK. *Rapa Technology Ltd.* 156 p. [in English].
16. Davidovic´, A. & Savic´, A. (2010). Microbial production of biodegradable polymer. *Tehnologica Acta.* 3. 3-13. [in English].
17. Malpass, D. (2010). Introduction to Industrial Polyethylene: Properties, Catalysts, and Processes, John Wiley and Sons. *Wiley-Scrivener.* 336 p. [in English].
18. Ivankovic´, A., Zeljko, K., Talic´, Stanislava, Bevanda, A. M. & Lasic´, M. (2019). Review: Biodegradable packaging in the food industry. *Journal of Food Safety and Food Quality - Archiv für Lebensmittelhygiene.* 68(2). 26-38 [in English].
19. D´Almeida, A. P. & Lima de Albuquerque, T. (2024). Innovations in Food Packaging: From Bio-Based Materials to Smart Packaging Systems. *Processes.* 12. 1-26 [in English].

