



УДК 664

**INNOVATIONS IN THE CREATION OF ECOLOGICAL FOOD
PACKAGING****ІННОВАЦІЇ В СТВОРЕННІ ЕКОЛОГІЧНОЇ УПАКОВКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ****Piddubniy V. A. / Піддубний В.А.***Corresponding member of the National Academy of Agrarian Sciences /**член-кореспондент Національної академії аграрних наук,**d.t.s., prof./д.т.н., проф.,**ORCID: 0000-0002-1497-7133**Director / директор,**State Scientific Institution Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology
of Food Products: 3, Senkivskyi lane, Kyiv, 03190, Ukraine / Державна наукова установа**«Український науково-дослідний інститут спирту і біотехнологій продовольчих продуктів»***Tarasiuk H. M. / Тарасюк Г.М.***d.e.s., prof./д.е.н., проф.,**ORCID: 0000-0001-5112-102X***Chahaida A. O. / Чагайда А.О.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**ORCID: 0000-0003-1826-9545**Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska str., Zhytomyr, 10005, Ukraine /**Державний університет «Житомирська політехніка».***Radchenko Iu.I. / Радченко Ю.І.***independent researcher / незалежний дослідник**ORCID: 0009-0001-7435-0738**Azienda Darmi Fabarm, Travagliato Via averolda 31. Italy 25039 / Компанія «Дармі Фабарм»*

Анотація. Основною метою харчової упаковки, з точки зору сталого розвитку, є зменшення втрат продуктів починаючи від виробництва і вздовж ланцюга поставок. Створення екологічної упаковки стає дедалі все більш актуальним через загострення проблеми забруднення навколишнього середовища пластиковими матеріалами, що не піддаються біологічному розкладанню. Біологічно розкладні плівки та їстівні покриття з антимікробними властивостями дедалі більш активно використовуються харчовою промисловістю для підвищення якості продукції та збереження здоров'я споживачів. Використання нових пакувальних матеріалів може вплинути на вартість кінцевого продукту, що споживачі готові сприйняти заради збереження довкілля.

Ключові слова: збереження якості продуктів, термін придатності, екологічна упаковка, токсичність, біологічне розкладання, їстівна плівка.

Вступ.

Упаковка була визнана як важливий елемент для вирішення ключової проблеми сталого споживання харчових продуктів, адже вона є центральним елементом збереження їх якості, головним чином контролюючи газо- та парообмін із зовнішньою атмосферою, сприяючи збереженню якості продуктів під час зберігання, запобігаючи хімічному забрудненню та хворобам, що передаються харчовими продуктами. Таким чином, упаковка має розглядатись не як додаткові економічні та екологічні витрати, а як додаткова вартість для зменшення відходів. З цієї точки зору, справжню екологічну, економічну та промислову додаткову цінність, за рахунок перетворення сільськогосподарських та агрохарчових залишків, створюють мікробні (біополіефірні) полімери, адже



рішення з використанням природної біологічно розкладної упаковки вважаються одними з найбільш перспективних замінників синтетичних полімерів на масляній основі [1].

Щоб звести до мінімуму вплив пакувальної системи на навколишнє середовище, важливо враховувати її здатність утримувати, захищати та зберігати продукт, що дозволить продовжити термін його придатності та гарантувати безпеку, але при цьому упаковка також повинна бути відповідного розміру, легкою для зберігання, відкривання та вилучення продукту, а також містити чітку доступну інформацією для запобігання викиданню їжі. Крім того, пакувальні матеріали повинні відповідати бажаним механічним і бар'єрним властивостям, залишаючись максимально легкими, безпечними для харчових продуктів, в ідеалі придатними для повторного використання або вторинної переробки та утилізуватись з наближенням до нульового забруднення [2].

Основний текст.

Звичайне пакування харчових продуктів є одноразовим, що значно погіршує стан навколишнього середовища. Окрім того, стурбованість споживачів все більше викликає прямий вплив пакувальних матеріалів на здоров'я. Це значною мірою пов'язано із тим, що до першої бази хімікатів, які використовуються при виробництві пластику, дослідники внесли 16000 сполук, принаймні 4200 із яких вважаються дуже небезпечними для здоров'я людини та навколишнього середовища, при цьому використання лише 980 дуже небезпечних хімічних речовин регулюються агентствами в усьому світі, а решта залишається поза увагою [3]. Це спонукає споживачів до пошуку більш натуральних, якісних, зручних та безпечних харчових продуктів. У цьому контексті активні, біологічно розкладні та їстівні пакувальні матеріали вважаються одним із головних пріоритетів у харчовій промисловості через збільшення потреби в альтернативних пакувальних матеріалах, які відновлюються, переробляються, легко розкладаються та потребують мінімальної утилізації [4].

Біорозкладані пакувальні матеріали, виготовлені з харчових полісахаридів, білків і ліпідів, здаються більш стійкими та екологічно чистими, що є перевагою перед звичайним пластиком на основі нафти. Однак ці природні речовини значно відрізняються за своїми фізико-хімічними та функціональними властивостями, що означає, що для створення їстівних пакувальних матеріалів з необхідними характеристиками потрібна значна кількість досліджень і розробок [5]. Біополімери, як хітозан, карбоксиметилцелюлоза, крохмаль, альгінат, казеїн, карагенан, існують як придатні кандидати для вирішення екологічної проблеми пластикових упаковок через чудову здатність до біологічного розкладання та не токсичність, однак мають погані властивості бар'єру для вологи. Введення в якості добавок різних біологічно активних/функціональних інгредієнтів з антимікробними властивостями покращує термічні та механічні властивості біополімеру. Природні антимікробні агенти, такі як ефірні олії зі спецій, біологічно активні сполуки, отримані з овочів і фруктів, можуть потенційно використовуватися в їстівних плівках як чудова заміна синтетичних сполук, таким чином слугуючи меті якості та здоров'я. Пряме включення ефірної олії в харчові продукти обмежено через їх високу летючість, гідрофобність,



сприйнятливості до окислення, фототермічну деградацію та втрату продуктом натурального смаку. Тому їстівні плівки допомагають підтримувати вивільнення та стримувати летючість поміщених в них ефірні олії. Разом із тим, використання ефірних олій, класифікованих та зареєстрованих загальною визнано безпечними (GRAS) Європейською комісією та Сполученими Штатами, в їстівних покриттях в якості антибактеріальних агентів, вимагає збалансованості ефективної дози та ризиків, пов'язаних із виникненням алергічної реакції та оральної токсичності у споживачів [6].

Зростаючий попит на здорову їжу з довшим терміном зберігання спонукає до розробки нових систем пакування і найбільш перспективними визнано їстівні пакувальні плівки з антимікробною дією, що здатні підвищувати якість і безпеку харчових продуктів. Хоча терміни плівка та покриття зазвичай використовуються як взаємозамінні, плівка визначається як окремий обгортковий матеріал, а покриття – це тонкий шар товщиною менше 0,3 мм, який утворюється безпосередньо на поверхні їжі. Ідеальна їстівна плівка повинна не тільки створювати захист від забруднюючих речовин і харчових патогенів їжі, але й зберігати її структурну стабільність. Ці плівки можуть служити носієм для антиоксидантів, харчових добавок, вітамінів і антимікробних сполук [7]. Варіантом покращення якості та терміну придатності харчових продуктів є заміна в плівці хімічних консервантів лактопероксидазою, що є складовою природної антимікробної ферментної системи молока, сліз і слини [8].

Різні компанії та стартапи, здебільшого в США, розробляють їстівні пакувальні матеріали на комерційному рівні і у 2021 році світовий ринок їстівної упаковки оцінювався в 0,84 мільярда доларів США, з прогнозом зростання приблизно до 2,8 мільярда доларів США у 2030 році. Наразі більшість непластикових матеріалів, які контактують з харчовими продуктами, не регулюються європейським законодавством, і чинні правила поширюються лише на обмежену кількість їстівних пакувальних матеріалів. При цьому їстівна упаковка потребує особливої обережності під час транспортування, оскільки вона чутлива до температурних коливань, а більшість їстівних плівок і покриттів руйнуються або майже руйнуються при температурі плавлення, що потребує ще зовнішнього покриття для захисту від хімічних і біологічних забруднень [9]. Ультразвук високої інтенсивності (вище 1 Вт/см^2 і частоти від 20 до 500 кГц) відноситься до техніки нетермічної обробки харчових продуктів, яка модифікує структуру білка і таким чином покращує кілька його функціональних властивостей, таких як розчинність, гелеутворення, піноутворення та емульгуючі властивості. Зміни властивостей плівки сироватки, глютену, арахісу та гороху під впливом ультразвукової обробки високої інтенсивності відбувається за рахунок генерування білків меншого розміру частинок, зміну третинної та вторинної структури білка, усування тріщин та зменшення білкових агрегатів на поверхні плівки. Обробка ультразвуком не впливає на товщину плівки, загальний вміст розчинної речовини або подовження при розриві, але такі оброблені ультразвуком їстівні плівки, мали кращу прозорість, міцність на розрив і водонепроникні властивості [10].

Їстівна упаковка з антимікробними компонентами призвела до розробки



гіпотези про активну упаковку, яка захищає якість харчових продуктів, а також здоров'я споживачів. Активна упаковка включає в себе компоненти, і вона може вивільняти або поглинати речовини в упаковану їжу або в навколишнє середовище, що оточує їжу, з метою продовження терміну придатності або підтримки або покращення стану упакованої їжі. Активними сполуками можуть бути агенти проти потемніння, барвники, ароматизатори, поживні речовини, спеції, антимікробні або антиоксидантні сполуки, і вони можуть мати природне або синтетичне походження. Відповідно до Регламенту Європейської Комісії № 1333/2008, антимікробні засоби або консерванти – це «речовини, які подовжують термін придатності харчових продуктів, захищаючи їх від псування, викликаного мікроорганізмами, та/або які захищають від росту патогенних мікроорганізмів». Ефірні олії є вторинними метаболітами рослинних матеріалів, таких як насіння, квіти, листя, трави, бруньки, стебла, кора та плоди. Вони відомі своєю антимікробною активністю, крім інших властивостей (антиоксидантних, болезаспокійливих, протидіабетичних, протипухлинних, протизапальних та інсектицидних) [11].

Сприйняття споживачами альтернатив звичайній пластиковій упаковці залежить від проєкологічних переконань, адже абсолютна більшість людей вважають забруднення навколишнього середовища відходами упаковки більшою проблемою, ніж харчові відходи. Це підтверджують дані опитування 459 респондентів (49,3% – чоловіки, 50,7% – жінки), де більше 50% споживачів старше 40 років готові взагалі відмовитись від використання пластикової упаковки, не зважаючи на зростання фінансових витрат (рис.1).

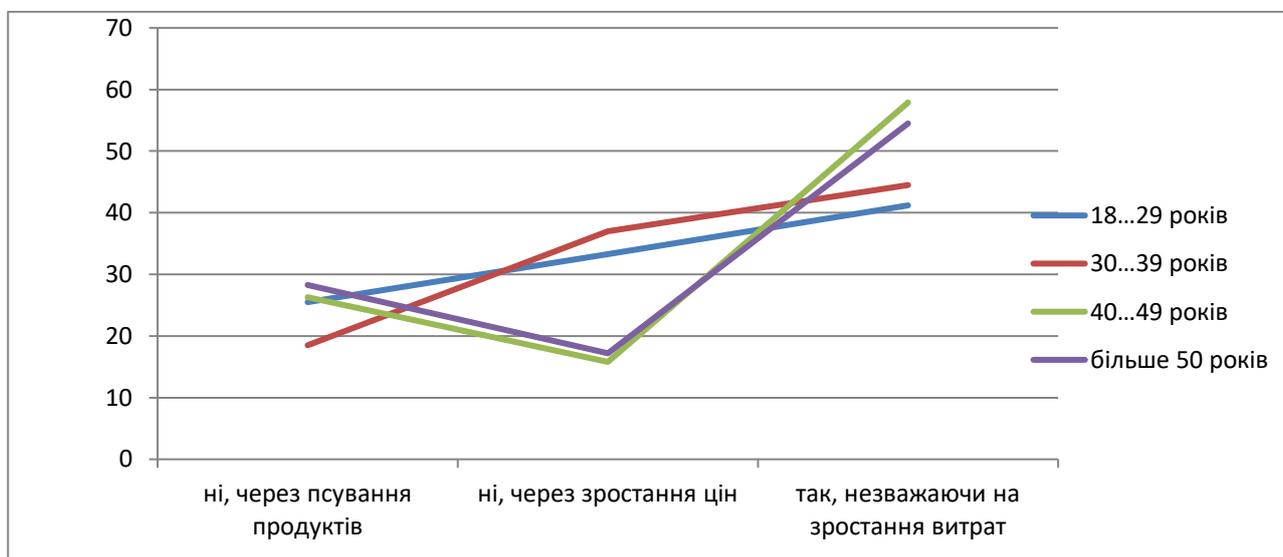


Рис.1 Ставлення споживачів до відмови використання пластикової харчової упаковки, % від загальної кількості респондентів

Питання зростання оплати за більш екологічні способи пакування харчових продуктів (рис.2) свідчить, що більшість споживачів, підтримуючи утилізацію або переробку упаковки, не готові фінансувати такі технології.

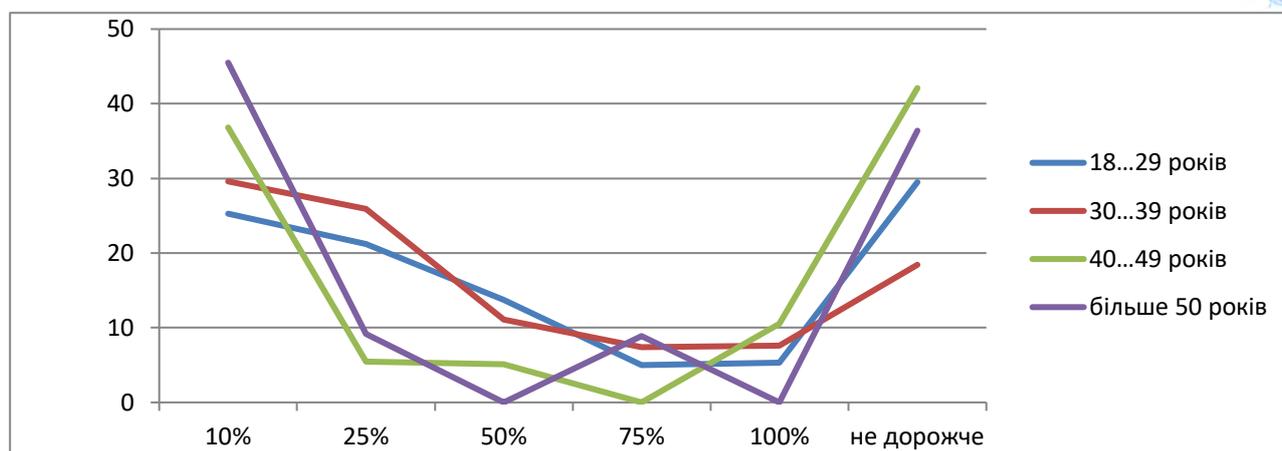


Рис.2 Ставлення споживачів до можливого зростання вартості їстівної і біологічно розкладної упаковки по відношенню до пластикової харчової упаковки, % від загальної кількості респондентів

Однією з найбільших поточних перешкод для більш широкого використання біополімерів, як заміни звичайних матеріалів, є їхня непривабливість з точки зору ціни, особливо в тому випадку, коли дорожчі матеріали-замінники через свою молекулярну структуру не відповідають необхідним бар'єрним вимогам. Також достатньо мало відомо про екоотоксикологічний вплив біорозкладаних мікро- та нанопластиків, адже підвищені темпи деградації збільшують кількість мікробіопластику, що надходить із біорозкладаних полімерів і створює певні ризики зміни мікробних спільнот (що може дестабілізувати тонкий екологічний баланс). Дослідженнями було виявлено, що мікропластики з розкладаних полієфірів, таких як PLA і PHB (полі-3-гідроксибутират), негативно впливають на морські бентосні спільноти, а біорозкладаний мікропластик може проявляти більш серйозні наслідки для екологічних систем порівняно зі звичайним мікропластиком [12].

Висновки.

Проекологічні переконання споживачів і свідоме відмова від пластику є шляхом, що може суттєво знизити вплив на навколишнє середовище. Але відмова від упаковки харчових продуктів призведе до зростання харчових відходів і зменшення терміну придатності їжі. Одним із рішень проблеми пластикових відходів є використання їстівної упаковки і їстівного покриття, що останнім часом запроваджуються для збільшення терміну придатності продукції і позиціонуються на ринку як екологічно чисті та біологічно розкладні. Масове запровадження такої упаковки стримує не лише фінансова складова, а і необхідність подальшого вдосконалення їстівної упаковки для підвищення її міцності, стабільності та бар'єрних властивостей.

Література.

1. Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., Gontard, N. (2018) The Next Generation of Sustainable Food Packaging to Preserve Our Environment in a Circular Economy Context. *Frontiers in Nutrition*. 5:121. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00121>



2. Versino, F., Ortega, F., Monroy, Y., Rivero, S., López, O.V., García, M.A. (2023). Sustainable and Bio-Based Food Packaging: A Review on Past and Current Design Innovations. *Foods*. 12(5):1057. <https://doi.org/10.3390/foods12051057>

3. Тарасюк, Г.М., Чагайда, А.О., & Прилипко, О.І. (2024). Дослідження міграції синтетичних речовин із пакувальних матеріалів у харчові продукти і воду: соціальний та управлінський аспекти. *Економіка, управління та адміністрування*, 2(108), 57–64. [https://doi.org/10.26642/ema-2024-2\(108\)-57-64](https://doi.org/10.26642/ema-2024-2(108)-57-64)

4. Trajkovska Petkoska, A., Daniloski, D., D’Cunha, N. M., Naumovski, N., & Broach, A. T. (2021, February 1). Edible packaging: Sustainable solutions and novel trends in food packaging. *Food Research International*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>

5. Yin, W., Qiu, C., Ji, H., Li, X., Sang, S., McClements, DJ, ... & Jin, Z. (2023). Recent advances в biomolecule-based films and coatings for active and smart food packaging applications. *Food Bioscience*, 52, 102378. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102378>

6. Punia Bangar, S., Chaudhary, V., Thakur, N., Kajla, P., Kumar, M., & Trif, M. (2021). Natural Antimicrobials as Additives for Edible Food Packaging Applications: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(10), 2282. <https://doi.org/10.3390/foods10102282>

7. Abdollahzadeh E., Nematollahi A., Hosseini H. (2021) Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 110, pp. 291-303. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.084>

8. Yousefi, M., Nematollahi, A., Shadnoush, M., Mortazavian, A. M., & Khorshidian, N. (2022). Antimicrobial Activity of Films and Coatings Containing Lactoperoxidase System: A Review. *Frontiers in nutrition*, 9, 828065. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.828065>

9. Nair, S.S., Trafiałek, J., Kolanowski, W. (2023). Edible Packaging: A Technological Update for the Sustainable Future of the Food Industry. *Applied Sciences*. 13(14):8234. <https://doi.org/10.3390/app13148234>

10. Cheng, J., & Cui, L. (2021). Effects of high-intensity ultrasound on the structural, optical, mechanical and physicochemical properties of pea protein isolate-based edible film. *Ultrasonics sonochemistry*, 80, 105809. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105809>

11. Barbosa, C.H., Andrade, M.A., Vilarinho, F., Fernando, A.L., Silva, A.S. (2021). Active Edible Packaging. *Encyclopedia*, 1, 360-370. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1020030>

12. Cruz, R.M.S., Krauter, V., Krauter, S., Agriopoulou, S. et al. Bioplastics for Food Packaging: Environmental Impact, Trends and Regulatory Aspects. *Foods*. 2022; 11(19):3087. <https://doi.org/10.3390/foods11193087>

Abstract. The main goal of food packaging, from the point of view of sustainable development, is to reduce product losses starting from production and along the supply chain. The creation of ecological packaging is becoming more and more urgent due to the worsening of the problem of environmental pollution with non-biodegradable plastic materials. Biodegradable films and edible coatings with antimicrobial properties are increasingly being used by the food industry to improve



the quality of products and preserve the health of consumers. The use of new packaging materials can affect the cost of the final product, which consumers are willing to accept for the sake of protecting the environment.

Key words: *preservation of product quality, expiration date, ecological packaging, toxicity, biological decomposition, edible film*