

УДК 621.798

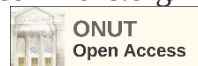
DOI 10.15673/swonaft.v2i86.2483

МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЇСТІВНИХ ПЛІВОК/ПОКРИТТІВ

¹Шульга О.С., д-р. техн. наук, професор, ¹Чорна А.І., канд. техн. наук, доцент²Чорний І.О.¹Національний університет харчових технологій, м. Київ²Смілянський технологічний фаховий коледж, м. Сміла

Copyright © 2022 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Анотація. Охарактеризовано різні методи виготовлення їстівних плівок/покривів для харчових продуктів залежно від вологого та сухого способу отримання. Проаналізовано переваги та недоліки методів виготовлення їстівних плівок/покривів. Серед сухих способів виготовлення їстівних плівок/покривів найбільш поширеним є метод екструзії для промислового виробництва плівок, оскільки не вимагає додавання розчинника і його подальшого випаровування. В лабораторних умовах найбільш доступним для отримання їстівної плівки є лиття розчину на антиадгезійну поверхню, а для формування їстівного покриття на харчовому продукті – нанесення пензлем або розпилення.

Ключові слова: їстівне покриття/плівки, методи отримання, технологія виготовлення

METHODS OF PRODUCTION OF EDIBLE FILMS/COATINGS

¹Shulga O., Doctor of Technical Sciences, Professor, ¹Chorna A., Ph.D, Associate Professor, ²Ivan Chorniy¹National University of Food Technologies, Kyiv²Smila engineering professional college, Smila

Abstract. Various methods of producing edible films/coatings for food products are characterized depending on the wet and dry method of production. The advantages and disadvantages of the methods of producing edible films/coatings are analyzed. Among the dry methods of producing edible films/coatings, the extrusion method for the industrial production of films is the most common, as it does not require the addition of a solvent and its subsequent evaporation. In laboratory conditions, the most accessible way to obtain an edible film is to pour a solution on a non-adhesive surface, and to form an edible coating on a food product, it is applied with a brush or sprayed.

Various methods of producing edible films/coatings for food products are characterized depending on the wet and dry method of production. The advantages and disadvantages of the methods of producing edible films/coatings are analyzed. Among the dry methods of producing edible films/coatings, the extrusion method for the industrial production of films is the most common, as it does not require the addition of a solvent and its subsequent evaporation. In laboratory conditions, the most accessible way to obtain an

edible film is to pour a solution on a non-adhesive surface, and to form an edible coating on a food product, it is applied with a brush or sprayed.

Various methods of producing edible films/coatings for food products are characterized depending on the wet and dry method of production. The advantages and disadvantages of the methods of producing edible films/coatings are analyzed. Among the dry methods of producing edible films/coatings, the extrusion method for the industrial production of films is the most common, as it does not require the addition of a solvent and its subsequent evaporation. In laboratory conditions, the most accessible way to obtain an edible film is to pour a solution on a non-adhesive surface, and to form an edible coating on a food product, it is applied with a brush or sprayed.

Key words: edible coating/films, production methods, manufacturing technology

Їстівні плівки серед різних типів біодegradованого пакування є об'єктом відносно нового напрямку досліджень і привертають увагу не тільки вчених і виробників, а й споживачів. Цей вид біодegradованих плівок має альтернативний природному механізм біорозкладання – під дією внутрішньоклітинних і неклітинних ферментів (ендо- і екзоензимів), що містяться в шлунку і кишківнику людини, полімерний матеріал піддається хімічним реакціям, результатом яких, в основному, є окиснення і гідроліз [1]. Актуальним є створення покриттів, які формуються на харчових продуктах у вигляді оболонки та плівок, видаляти які перед вживанням продукту немає необхідності. Нині в харчовій промисловості особлива увага приділяється створенню принципово нових пакувальних матеріалів – нетоксичних, таких, що легко утилізуються, здатних забезпечити ефективний захист продукту від мікробних забруднень і кисню повітря, попередити усихання продукту в період зберігання.

Їстівні плівки можна визначити як первинне пакування виготовлене із їстівних компонентів, яке може бути спожите разом з їжею. Шар їстівного матеріалу наносять безпосередньо на поверхню харчового продукту або формують у вигляді плівки і в нього поміщають продукт. Основне призначення їстівних плівок – це подовження строку придатності та поліпшення якості харчових продуктів. Плівки також виконують захисні функції, запобігаючи втраті вологи і смаку або зміни кольору харчового продукту. До складу плівок також включають компоненти і смакові добавки, що надають їм функціональні властивості, наприклад, антиоксиданти та протимікробні препарати. За рахунок зменшення доступу кисню вони додатково інгібують розвиток окремих мікроорганізмів [2].

Концепція використання їстівних плівок як захисних покриттів для харчових продуктів для подовження строку зберігання не нова. Воскове покриття для уповільнення висихання свіжих апельсинів і лимонів практикувалося в Китаї ще в XII ст. У XIX ст. застосовувалася сахароза як харчове захисне покриття для горіхів, щоб запобігти окисненню і згіркненню під час зберігання. У 1930 р. термоплавкі парафінові воски стали комерційно доступні як їстівні покриття для свіжих фруктів, таких як яблука і груші, а в 50-ті роки XX ст. був розроблений карнаубський віск для покриття свіжих фруктів і овочів, щоб поліпшити їх зовнішній вигляд, полегшити контроль за їх дозріванням та сповільнити висихання [3-5]. До їстівних плівок також відносяться оболонки для ковбасних виробів, водорості (норі) для суші та рисовий папір для обгортання цукерок.

Плівки на основі полісахаридів захищають харчовий продукт від втрати маси (за рахунок зменшення швидкості випаровування вологи), і створюють певний бар'єр для проникнення кисню та інших речовин ззовні, тим самим уповільнюючи процеси,

що обумовлюють псування харчового продукту. Додавання антиоксидантів в їстівні плівки збільшує строк придатності продукту, захищаючи його від окиснення, дегідратації і зміни кольору. Більшість протимікробних компонентів мають антиоксидантні властивості. Природні антиоксиданти, такі як фенольні сполуки, вітаміни Е і С, широко використовуються в їстівних плівках [6].

Використання їстівних покриттів у харчовій технології вимагає відповідності сировини вимогам законодавства, що їх використання є допустимим і що вони нетоксичні відповідно до норм ЄС (Регламент ЄС 1331/2008, Регламент ЄС 1333/2008 і FDA). Приготування та нанесення плівок і покриттів на харчові продукти повинні відповідати високим гігієнічним вимогам [7].

За останні роки було проведено багато досліджень щодо вдосконалення застосування їстівних плівок і покриттів у харчовій промисловості як альтернативного матеріалу для пакування та забезпечення безпечності та якості харчових продуктів [8].

Формування харчових плівок і покриттів передбачає використання принаймні одного компонента, здатного утворювати матрицю з когезійною міцністю. Плівки можуть бути гомополімерними або гетерополімерними залежно від того, виготовлені вони з одного типу полімеру чи із різних полімерів. Композитні плівки являють собою суміші гідроколоїдів (полісахаридів і білків), ліпідів і добавок, де склад плівки розроблений відповідно до характеристик конкретного харчового продукту або необхідних функціональних властивостей. Додавання пластифікатора сприяє зменшенню міжмолекулярних сил уздовж полімерних ланцюгів, що підвищує пластичність плівки і зменшує крихкість [9]. Сумісність пластифікатора і полімеру має важливе значення для ефективної пластифікації і залежить від полярності, утворення водневих зв'язків, діелектричної проникності та властивостей розчинності цих речовин [10].

Під час розчинення високомолекулярної речовини сили зв'язку між молекулами розчиненої речовини нейтралізуються з'єднанням з молекулами розчинника (сольватація). Умови сольватації залежать від характеристик функціональної групи. Оскільки функціональні групи на лінійному полімері стають іонізованими під час розчинення, заряджені групи відштовхуються одна від одної, викликаючи розтягування полімерного ланцюга. Як правило, максимальна сольватація полімеру та подовження полімерного ланцюга створюють найбільшу когезійність у структурі плівки. Вода є основним розчинником, який використовується в їстівних плівках через гідрофільну природу полісахаридів і білків. Повільне випаровування води призводить до тривалого часу висихання плівкоутворюючого розчину та високих енергетичних витрат. Зазвичай після розчинення полімеру в концентрації, необхідній для нанесення, як правило, з в'язкістю в діапазоні 0,05-1 Па·с, плівкоутворюючий розчин наносять на підкладку, і розчиннику дають випаруватися [11]. Швидкість випаровування розчинника в гідроколоїдних розчинах можна зменшити додаванням гідрофобних або інертних добавок, які збільшують тривалість дифузії, або додаванням гідрофільних матеріалів, які генерують полярні взаємодії. Під час сушіння молекули полімеру агрегують, утворюючи структуру гелю, в результаті утворюється тверда плівка поступовим випаровуванням леткого розчинника. Сушіння вимагає застосування тепла для випаровування розчинника до досягнення бажаного вмісту вологи в сухій плівці, зазвичай 5-15 %, без пошкодження характеристик плівки. Швидкість, з якою здійснюється сушіння, визначається швидкістю, з якою тепло передається розчину, що утворює плівку, і внутрішнім переносом розчинника на поверхню плівки та його подальшим випаровуванням. Промислові сушарки відрізняються за типом і конструк-

цією залежно від основного використовуваного методу теплопередачі. Для висушування плівкоутворюючого розчину використовують обладнання з різним механізмом сушіння [12].

Функціональні властивості плівок також буде визначати температура сушіння, що досліджено на прикладі складу плівки з карбоксиметилцелюлози, желатину та/або хітозану і визначено, що температурний режим 60/10/30 °C дозволяє отримати матеріал з найбільш оптимальними параметрами міцності і паропроникності [13].

Біополімерні плівки. Механізми утворення плівки з гідроколоїдних розчинів класифікують як просту коацервацію, складну коацервацію та термічне драглеутворення або преципітацію. Коацервація включає відділення матеріалу полімерного покриття від розчину нагріванням, зміною рН, додаванням розчинників або зміною заряду полімеру. Лише один розчинний полімер повинен входити у склад плівкоутворюючого розчину. Коацервація може також класифікуватись залежно від поділу фаз: водна чи неводна. Параметри методу включають: рН, температура, іонна сила, молекулярна маса та концентрація полімеру. Основні етапи комплексної коацервації: 1) формування трьох фаз, що не змішуються; 2) осадження покриття; 3) жорсткість покриття [14]. Проста коацервація є результатом додавання речовини до розчину полімеру, що викликає поділ фаз. Комплексна коацервація обумовлена електростатичною взаємодією між двома або більше макромолекулами водорозчинних протилежно заряджених полімерів, які утворюють нову рідку фазу, що складається з макромолекулярних агрегатів, наприклад, хітозану та альгінату [15]. Гелеутворення або термічна коагуляція відбувається під час денатурації білків або термічного гелеутворення макромолекул, викликаного нагріванням або охолодженням розчину біополімеру, наприклад, овальбуміну, желатину або агару [16].

Ліпідні покриття. Їстівні покриття на основі твердих жирів, воску або смол отримують методом плавленням та затвердіння, солюбілізацією та приготуванням емульсії у воді. Методом плавленням та затвердіння плівкоутворюючий розчин нагрівають вище температури плавлення ліпідів, гомогенізують і відливають або застосовують у розплавленому стані з подальшим охолодженням для затвердіння. Методом солюбілізації в органічному розчиннику плівкоутворюючий розчин наносять тонким шаром (наприклад, розпиленням або щіткою), а потім розчинник випаровують. Під час виготовлення їстівної плівки методом приготування емульсії у воді, спочатку емульсію виливають, а потім воду випаровують. Додавання поверхнево-активної речовини стабілізують емульсію.

Композитні плівки. Композитні плівки поєднують матеріали з різними властивостями для покращення функціональних властивостей плівки. Спосіб їх приготування залежить від характеристик складових плівки та необхідної структури і властивостей готової плівки. Деякі композитні плівки містять гідроколоїди, як структурну матрицю, поєднані з ліпідами, або у вигляді стабільної емульсії в гідроколоїді, або утворюючи подвійний шар. Композитні плівки містять у своєму складі матеріали з різними властивостями для покращення функціональних властивостей плівки. Спосіб їх виготовлення залежить від характеристик складових плівки та заданої структури і властивостей отриманої плівки.

Плівки на основі емульсії. Плівка на основі стабільної емульсії виготовляється додаванням ліпідної сировини та поверхнево-активних речовин до розчину біополімеру. Суміш нагрівають вище точки плавлення ліпідів, гомогенізують і відливають або наносять під час розплавлення/після охолодження. Як розчинники використовують воду та етанол. Розчин для лиття можна нанести тонким шаром на основу, яка

звільнить плівку після висихання, щоб отримати попередньо сформовану окрему плівку, або нанести для формування покриття безпосередньо на харчові продукти [17].

Двошарові плівки. Вони складаються з другого помітного шару ліпідної плівки, ламінованої поверх попередньо сформованої гідроколоїдної плівки. Для виготовлення двошарових плівок використовуються два різні методи: метод ламінування та емульсійний. Методом ламінування розплавлений або розчинений ліпід диспергують або ламінують на полісахаридній або білковій плівці. Емульсійним методом ліпід диспергують у біополімерному розчині у вигляді нестабільної емульсії перед литтям. Подвійний шар утворюється в процесі сушіння за рахунок поділу фаз. Розтріскування та розшарування часто виникають у двошарових плівках, що руйнує їхні водонепроникні властивості, які залежать від суцільності шару. Процес приготування вимагає двох етапів лиття та сушіння та високої температури для злиття ліпідів або органічних розчинників для розчинення ліпідів [18].

Ламінування. Один із методів поліпшення характеристик плівки, який складається з формування багатошарових структур і об'єднання властивостей різних матеріалів в один лист. Багатошарові плівки зазвичай мають більш високу міцність і міцність на розрив, ніж одношарові плівки. Однак, ця технологія складна і збільшує виробничі витрати. Крім того, великі відмінності в поверхневої енергії між шарами можуть привести до їх поділу. Наприклад, тришарові плівки, отримані термічним стисненням зшитих діальдегіду крохмалю і пластифікованих желатинових плівок як зовнішній шар, і пластифіковані композитні плівки желатин-монтморилоніт як внутрішній шар, забезпечили новий біорозкладальний багатошаровий матеріал з компактною структурою і модульованими властивостями [19].

Пакувальна плівка є якісною, якщо вона:

- забезпечує повільне, але контрольоване дихання продукту;
- виступає селективним бар'єром газів (CO_2) і парів води;
- здійснює регулювання процесу дозрівання, що веде до подовження строку зберігання харчового продукту;
- підтримує цілісність харчового продукту;
- запобігає мікробному псуванню харчового продукту під час тривалого його зберігання.

Методи виробництва їстівних плівок поділяються на дві основні групи: вологі і сухі. Вологий спосіб (метод лиття) виготовлення плівок передбачає використання розчинників для розчину і дисперсії полімеру на плоску поверхню з подальшим сушінням в контрольованих умовах для видалення розчинника і утворення плівки. Вологі методи можна поділити на чотири етапи: диспергування або желатинізація, гомогенізація (у разі емульсій або сумішей), відливання і сушіння [20].

Також плівки можуть мати моно-, дво- або багатошарову структуру [21]. Виробництво дво- та багатошарових плівок здійснюється за технологією «пошарово», чергуючи розчини біополімерів [22]. Такий спосіб виробництва плівок менш поширений у харчовій промисловості, оскільки є більш трудомістким, незважаючи на те, що готові плівки мають покращені бар'єрні та механічні характеристики.

Лиття. Їстівні пакувальні плівки отримують способом лиття плівкоутворюючого розчину на матеріал з антиадгезійним покриттям з подальшим висушуванням. Цей метод виготовлення плівок є простим, але використовується не у великих масштабах, проте метод безперервного лиття може використовуватись в промислових масштабах, тому що плівкоутворюючий розчин готують на стрічках з безперервним но-

сієм з контролюванням товщини. Сформована плівка досить швидко висушується за допомоги теплопровідності і конвекції. Лінія для нанесення покриття складається з контейнера для внесення сировини та транспортною системою конвеєрної стрічки, яка транспортує лінію з покриттям через сушильну камеру.

Встановлено, що технологія виготовлення литтям стрічки підходить для збільшення виробництва їстівних плівок на основі маніоки [23]. Плівкоутворюючий розчин отримують нанесенням тонкого шару розчину за допомогою спеціального пристосування на гладеньку скляну поверхню з подальшим сушінням [24]. Вибір матеріалу, на який відбувається лиття, має важливе значення для отримання плівок, які можуть бути легко видалені без будь-якого розриву і складок. Процес сушіння плівок прискорюють інфрачервоні сушильні камери. Залежно від полімеру, для отримання плівок методом лиття можуть використовувати різні покриття, такі як полістирол, поліетилен, полікарбонат, метакрилат та скло. Інші поверхні, такі як нержавіюча сталь, силікон і тефлон також використовують через їх високу інертність [14]. Необхідно забезпечити оптимальний вміст води (5-8 %) у висушеній плівці для її кращого відшаровування від матеріалу поверхні на якій формується плівка. Структура плівки залежить від її складу, умов сушіння (температура і відносна вологість повітря) і товщини шару. Швидке висихання литих полімерних розчинів обмежує розвиток міжмолекулярних зв'язків в структурі плівки [25] і викликає дефекти, передусім, тріщини [26].

Встановлено [27], що плівки, отримані інфрачервоним сушінням, більш прозорі та глядцеві, ніж плівки, висушені за кімнатної температури. В умовах пілотних і виробничих установок метод формування плівки з розчину може бути безперервним, коли шар розчину через філь'єру наноситься на стрічку або барабан, що безперервно рухається і потім висушується або поступає в осаджувальну ванну з подальшим витягуванням і сушінням. Також можливо відливання плівок в спеціальних формах [28]. Даний метод є найбільш простим і швидким способом отримання плівок та не потребує спеціального обладнання [29].

Метод лиття часто використовується для включення ефірних олій в плівкоутворюючий розчин з низькою температурою на стадії гомогенізації і сушіння. Наприклад, ефірна олія кориці підвищує антимікробну активність концентрату сироваткового білка, а також паропроникність і розчинність у воді. Однак, для кращого розподілення ефірної олії в плівкоутворюючому розчині необхідно додавати емульгатори [30]. Як наслідок гомогенізації в розчині утворюються повітряні пухирці, тому для їх видалення використовують вакуум або ультразвук, уникаючи виникнення мікротворів в плівкових структурах. Температура приготування плівки коливається від 20 до 45 °C, а тривалість сушіння від 5 до 72 год [14]. Плівка, отримана методом лиття, частіше всього володіє значною неоднорідністю, крім того важко контролювати її товщину. Оскільки кінцевий продукт повинен бути їстівним і біорозкладальним, найкращими розчинниками є вода, етанол або їх суміш.

Змішування різних макромолекул прямим методом або пов'язаним з процесами кодування призводить до отримання їстівних плівок з контролем їх кінцевих властивостей. Останні дослідження по змішуванню різних матриць для отримання їстівних плівок були зосереджені на комбінації полісахаридів з білками, використовуючи їх синергетичний ефект. Пряме змішування складається з початкової стадії приготування індивідуальних розчинів полімерів з подальшою гомогенізацією і відливом. Перевагою методу є вузький діапазон концентрацій і хороша сумісність компонентів [31]. Встановлено, що пряме змішування хітозану із розчином білкового концентрату

ту змінює структуру плівки і призводить до підвищення структури хітозану, що покращує бар'єрні, антимікробні і антиоксидантні властивості [32].

Одним із найбільш широко використовуваних способів отримання тонких плівок на основі полімерів є нанесення краплі полімерного розчину на підкладку із подальшим її обертанням (spin-coating) [33]. Розтікання краплі під дією відцентрових сил, яке супроводжується випаровуванням розчинника, призводить до формування плівок із вільною поверхнею, при цьому плівка обмежена твердою підкладкою з однієї сторони [34]. Іноді розчин активної речовини наносять на вже обертаючу з певною швидкістю підкладку. Метод достатньо широко використовується завдяки своїй відтворюваності і можливості отримання досить однорідних плівок, але він не дозволяє якісно контролювати товщину одержуваної плівки і молекулярну орієнтацію в шарі. Також недоліком є високі витрати плівкоутворюючого розчину, тому що тільки близько 5 % розчину осідає на підкладці, а решта видаляється з неї під час обертання.

Плівкоутворюючий розчин можна нанести на стрічку за допомогою методів нанесення покриття, таких як нанесення покриття ножом або нанесення покриття через щілину. Покриття ножом. Стаціонарний, жорсткий ніж наносить точний шар розчину на смугу, що рухається під ножом. Для встановлення висоти ножа над полотном і контролю товщини плівки передбачено регулювання мікрометра. Ці машини для нанесення покриттів створюють гладкі та однорідні плівки; це прості пристрої, які потребують незначного обслуговування, і їх можна адаптувати виробництву. Розчин, що утворює плівку, може бути розподілений на стрічковому конвеєрі (наприклад, сталевий ремінь), на одноразовій підкладці (наприклад, антиадгезивний папір) або на сухій попередньо сформованій плівці, утворюючи другий шар. Розчин для нанесення висихає за короткий час за рахунок теплопровідності, конвекції тепла через протитечію циркуляції гарячого повітря або інфрачервоного випромінювання. Кінцева товщина сухих плівок коливається від 20 мкм до 1 мм і залежить від концентрації біополімеру, швидкості поширення та висоти ракульного зазору [23]. Покриття щілини. Рідина для покриття витісняється з резервуара через щілину під дією тиску та переноситься на рухому основу. Щілина значно менше в перетині, ніж резервуар, і орієнтована перпендикулярно напрямку руху субстрату. Покриття щілинної матриці має багато варіацій, які можна відрізнити один від одного за конструкцією самої матриці, орієнтацією матриці відносно підкладки, відстані від матриці до підкладки (покриття щілинної матриці, покриття екструзією та покриття шторкою), структура покриття (покриття з малюнком, безперервне покриття) і метод, який використовується для створення тиску, який витісняє рідину з матриці. Пристрій має герметичну сталеву камеру, що містить рідину, що зменшує її забруднення. Уся рідина для покриття наноситься на основу за допомогою об'ємного насоса та отвору на виході матриці. Товщина плівки досягається регулюванням зазору між кромками матриці або збільшенням швидкості стрічки. Можна отримати плівку товщиною від 20 нм до 100 мкм. За допомогою цього пристрою можна підтримувати постійну температуру рідини, рівномірно розподіляти рідину та визначати ширину покриття. Фільтри можуть бути розроблені для одночасного укладання кількох шарів вологої плівки [12].

Виробництво харчових плівок сухими способами включає методи екструзії: ко-екструзія і видувне формування; компресійне формування і лиття під тиском. Поєднання ефективності та високої продуктивності, які забезпечуються цими термічними процесами, призвело до збільшення їх застосування для виробництва активної харчової плівки. Однак високі температури, що використовуються в сухих способах виготовлення, можуть вплинути на наявність і концентрацію деяких активних сполук

на плівках, в той час як додавання пластифікаторів іноді необхідно для зниження температури склування полімерних матриць. Метод, обраний для виробництва активних харчових плівок, може впливати і змінювати кінцеві властивості матеріалу [20]. Для виготовлення їстівних плівок використовують метод екструзії.

Екструзія. Екструзією отримують в основному синтетичні полімерні плівки. Згідно останніх технічних досліджень, зокрема, в сфері двохшнекової екструзії, розширили застосування цієї технології для виготовлення харчової плівки, за якої один або два обертаючих шнека створюють тиск і високу температуру, щоб зруйнувати полімерні гранули і змішати компоненти плівки. Виготовлення плівок методом екструзії включає в себе такі етапи: плавлення, змішування, дозування і формування. У процесі екструзії структура біополімерних плівок стає більш однорідною, а також покращуються їхні фізико-хімічні, механічні та бар'єрні властивості. Від швидкості обертання шнека також залежать властивості плівки. Одно- або двохшнекові екструдери використовуються для рівномірного змішування компонентів [35].

Досліджено доцільність застосування технології екструзії для виготовлення їстівних плівок на основі крохмалю [36]. Досліджено отримання екструзією плівки на основі пектину в поєднанні з гліцерином [37]. Відомо отримання екструзією плівки із соєвого білка, пластифікаторів (поліспиртів) і води. Відомо, що були виготовлені плівки/оболонки з використанням сумішей пектину і желатину/альгінату натрію, що містять 2,5 і 5 % кукурудзяної або оливкової олії і не містять масла, були виготовлені екструзією [38]. Встановлено ефективність термокомпресії для термопластичного кукурудзяного крохмалю з хітозаном/хітином на термогідравлічному пресі з попереднім процесом змішування в розплаві з гліцерином і водою за температури 140 °C. Плівки були однорідними, з однаковою товщиною, гарним зовнішнім виглядом і антимікробними властивостями [39]. Перевагами методу виготовлення плівок екструзією є відсутність розчинників, можливість обробки високов'язких полімерів, широкий діапазон умов виготовлення (0-500 атм і 70-500 °C), а також контроль часу перебування і ступінь змішування [14].

Коекструзія – це процес одночасної екструзії двох або більше матеріалів для утворення багатошарової плівки або покриття [40]. Цей метод також використовується для нанесення їстівної плівки/покриття на харчові продукти, наприклад, плівки альгінату кальцію, що утворюється на поверхні фаршу, коли вони одночасно проходять через коекструзійну головку [41]; альгінатні плівки з різними полісахаридами (карагенан, пектин, крохмаль, целюлоза, камеді), що застосовуються для пакування ковбасних виробів [42]; плівки з альгінату натрію з добавками, що використовуються для пакування ковбас, виготовлених методом сухого бродіння [43]; колагенові плівки [44].

Їстівні плівки можуть взагалі не піддаватися екструзії, як, наприклад, синтетичні полімери, оскільки вони не мають визначеної температури плавлення і можуть розкладатися під час нагрівання. Порівняно з методом лиття, метод екструзії є кращим для промислового виробництва плівок, оскільки не вимагає додавання розчинника і його подальшого випаровування [36]. Екструзія та екструзія з видудуванням, а також лиття запропоновані для отримання плівок з желатину з додаванням екстракту *Yucca schidigera* [45]. Екструзійно-каландровий процес запропоновано [46] як спосіб виробництва для плівок з крохмалю із воскової кукурудзи, картопляного, кукурудзяного та фосфорильованого кукурудзяного крохмалів, змішаного з волокном жому та гліцерином. Біо-нанокомпозитні плівки на основі ізоляту соєвого білка та монтмориллоніту запропоновано виробляти способом високотемпературної екструзії [47].

Компресійне формування. Пресування – один із найдавніших і найзручніших способів обробки матеріалів [48]. Основна стадія цього процесу полягає в нагріванні матеріалу під високим тиском у прес-формі до його затвердіння в результаті утворення нових зв'язків біополімерних ланцюгів [49]. Метод екструзії часто використовується для підготовки матеріалу перед основним процесом термоформування. Відомо, що методом двошнекової екструзії було отримано плівки з риб'ячого желатину з гліцерином з подальшим пресуванням на тефлонових пластинах [50]. Між пресом і плівкою використовуються листи з різних матеріалів, наприклад, політетрафторетилен [51], сталь [52], алюміній [48] тощо.

Лиття під тиском. Лиття під тиском використовується для масового виробництва пластикових виробів, але його також можна використовувати для виробництва їстівних плівок. Це метод складається з трьох основних етапів: наповнення, пакування та охолодження [53]. Найважливішими параметрами є температура тиску перед вприскуванням, тиск та температура формування є [54]. Встановлено [55] можливість переробки пшеничної клейковини та гліцеринових гранул на трифазному шнековому термопластавтоматі методом пресування. За допомогою системи лиття під тиском було виготовлено плівки ізоляту гороху з додаванням гліцерину [54].

Методи отримання їстівного покриття: нанесення пензлем, глазурування та розпилення. Застосування певного методу залежить від типу харчового продукту з покриттям. Доцільність використання покриттів пояснюється такими функціональними особливостями: бар'єрними властивостями для газів (O_2 , CO_2 , C_2H_4) і води, механічними та оптичними властивостями, однорідністю, зовнішнім виглядом, товщиною, рівномірним розподілом розчину (змочуваністю) на поверхні, і адгезією (взаємодія між поверхнею виробу та покриттям). Занурення та розпилення є найпоширенішими методами через простоту та низьку вартість обладнання. Метод занурення найчастіше використовується в лабораторії і добре підходить для виробів з хорошою поверхневою адгезією, а розпилення зручний для застосування в промисловості.

Занурення. Занурення є поширеним методом для нанесення покриттів на фрукти, овочі та м'ясні продукти. Продукт безпосередньо занурюють у композиційну суміш покриття (водний розчин), виймають і дають висохнути природним способом, в результаті чого на поверхні продукту утворюється тонка мембранна плівка [56]. Покриття, отримане способом занурення, залежить від властивостей розчину, таких як густина, в'язкість і поверхневий натяг. Як правило, продукт занурюють в плівкоутворюючий розчин на 5-30 с. [57]. Встановлено [58], що застосування антимікробних агентів на поверхні харчових продуктів методом занурення є не дуже ефективним, оскільки відбувається втрата антимікробної активності через ферментативну активність продукту і взаємодію з іншими харчовими компонентами. Занурення широко використовується для покриття м'ясних і овочевих продуктів. Проте встановлено [59], що метод нанесення пензлем плівкового розчину на свіжі боби і полуницю краще, ніж метод занурення, з точки зору зменшення часу висушування плівки.

Розпилення. Розпилення полягає в нанесенні розчину плівкового покриття на харчовий продукт за допомогою системи розпилення, яка забезпечує послідовне та рівномірне покриття з мінімальними відходами. Однак цей метод вимагає перевертання виробу, щоб відкрити нижню поверхню для наступного покриття. Покриття розпиленням є кращим для продуктів з великою площею поверхні та для отримання тонких плівок і для плівкоутворюючих розчинів із низькою в'язкістю. Цей метод відноситься до мокрих способів отримання їстівних покриттів. Покриття, нанесене розпиленням, зазвичай використовується для розчинів невисокої в'язкості. Розмір кра-

пель і якість покриття залежать від розпилювача, температури повітря, швидкості потоку рідини, вологості повітря і розчину полімеру. Розчинник в основному випаровується після того, як покидає сопло розпилювача, що дозволяє скоротити час сушіння [59, 36]. Встановлено [60], що хітозанове покриття, нанесене розпиленням продовжує строк зберігання фруктів. Відомо, що метод розпилення використовують для виготовлення пектин-хітозанових зшитих плівок [61]. Перевагами методу розпилення є рівномірність нанесення покриття, контроль товщини і можливість багатошарового нанесення, наприклад, розчинів альгінату натрію і хлориду кальцію [62]. Крім того, системи розпилення не забруднюють розчин для нанесення покриття, дозволяють регулювати його температуру і можуть сприяти автоматизації безперервного виробництва.

В утворенні плівки, зазвичай, беруть участь зовнішні та внутрішні молекулярні асоціації або зшивання полімерних ланцюгів з утворенням напівтвердої матриці. Ступінь зчеплення залежить від структури полімеру, використовуваного розчинника, температури і наявності пластифікаторів [63]. Залежно від методу отримання плівки відрізняються своїми характеристиками (якість нанесеного покриття, товщина, однорідність, стабільність) і мають різне практичне застосування [64].

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика способів виробництва та нанесення їстівних плівок/покриттів

Спосіб виробництва/нанесення	Обладнання	Етап сушіння	Напівфабрикат	Отримуваний продукт
Нанесення пензлем	не потрібне	необхідний	розчин	покриття/плівка
Глазурування	кондитерські глазурувальні машини			покриття
Гомогенізація без мікрофлюїдизації	гомогенізатор			плівка
Гомогенізація з мікрофлюїдизацією	гомогенізатор та Microfluidizer M110-P			плівка
Занурення	ємності			покриття
Екструзія з подальшим видуванням	екструдер	не потрібний	сипка суміш визначеної вологості	плівка
Екструзійно-каландровий	екструдер та каландр			плівка
Розпилення/напилення	розпилювачі	необхідний	розчин	покриття
Лиття	ливарні валки			плівка
Лиття компресійне (ін'єкційний)	ливарні валки з ін'єкторами			плівка
Пресування	прес	не потрібний	розплав рецептурної суміші	плівка
Пресування з наступним видуванням	прес з наступним видуванням			плівка
Спін-покриття	спін-коатер		розчин	покриття
Сублімаційне сушіння	сушарка	необхідний	розчин	плівка

До головних переваг їстівних пакувальних покриттів відноситься:

- простота технологічних рішень застосування продукту (наприклад, крупа вводить у варильну ємність в упаковці, яка в процесі варіння продукту розчиняється у воді, будучи у той же час згущувачем);
- можливість підвищення харчової цінності харчового продукту внесенням до складу покриття харчових і дієтичних добавок (смакові добавки, барвники, антиоксиданти, антимікробні компоненти тощо).
- екологічна чистота пакування;
- дешевизна та доступність їстівних покриттів;
- зниження втрат продукту, попередження утворення крихт під час вживання (наприклад, в умовах невагомості).

До недоліків відноситься:

- підвищена вологість плівкоутворюючого розчину;
- висока проникненість щодо вологи;
- труднощі нанесення покриттів на продукти і нерівномірність по товщині сформованих покриттів;
- нижчі механічні, захисні і бар'єрні показники, ніж у традиційних пакувальних матеріалів.

Враховуючи всі переваги і недоліки, можна стверджувати, що створення біодеградованих полімерів є актуальним. Для більш широкого впровадження біодеградованих матеріалів на споживчий ринок необхідно розв'язати багато проблем, найважливіша з яких – зниження вартості біодеградованих полімерів та їх перероблення. Найбільш перспективними із біодеградованих полімерів є ті, що виготовляються із відновлюваної сировини.

Висновки

1. Найбільш доступним для отримання їстівної плівки є лиття розчину на антиадгезійну поверхню, а для формування їстівного покриття на харчовому продукті – нанесення пензлем або розпилення.

2. Всі методи виготовлення їстівних плівок/покриттів мають переваги та недоліки, їх ефективність залежить від характеристик харчових продуктів, на які необхідно їх нанести і фізичних властивостей покриття (в'язкість, щільність, поверхневий натяг тощо).

3. Спосіб виготовлення їстівної плівки/покриття обумовлений складом матеріалу (вологість, вид сировини, наявність нетермостабільної сировини), харчовим продуктом для якого призначена плівка/покриття та можливостями підприємства (потужність, фінансова незалежність, наявність вільних площ тощо).

4. Нанесення розпиленням та литтям є найбільш часто використовуваними методами нанесення плівкоутворюючого розчину на харчові продукти. Незважаючи на економічність синтетичних полімерів і набагато ширший інтервал їх споживних властивостей, зростаючий об'єм виробництва і використання біодеградованих полімерів є закономірним процесом.

5. Найбільш перспективними із біодеградованих полімерів є ті, що виготовляються із відновлюваної сировини. Нині в харчовій промисловості особлива увага приділяється створенню принципово нових пакувальних матеріалів – нетоксичних, здатних забезпечити ефективний захист продукту від мікробних забруднень, впливу кисню повітря, попередити усихання продукту в період зберігання – у тому числі таких, що наносяться на поверхню продукту і з'їдаються разом з ним.

References:

1. Howard, G.T. (2002). Biodegradation of Polyurethane: A Review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 49 (4), 245-252. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00051-3)
2. Palvath, A.E., Orts, W. (2009) Edible Films and Coatings: Why, What and How? N-Y.: Springer, 237. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_1
3. Kester, J.J., Fennema, O.R. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food Technology*, 40, 47-59.
4. Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J.A., Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: Tomorrow's packagings: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(4), 299-313. <https://doi.org/10.1080/10408699891274219>
5. Park, H.J., Zeuthen, P., Bogh-Sorensen L. (Eds.) (2003). Edible coatings for fruits. Food Preservation Techniques. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 400. <https://doi.org/10.1201/9780203485255>
6. Shreder, V.L., Kozak, K.V. (2000). Upakovyem hleb. *Upakovks*, 4, 39-40.
7. Nussinovitch, A. (2003), Water Soluble Polymer Applications in Foods, Oxford: Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470995037>
8. Işık, H., Dağhan, Ş., Gökmen, Ş. (2013). A research on edible coatings used in the food industry. *Electronic Journal of Food Technology*, 8(1), 26-35.
9. Bordes, P., Pollet, E., Averous, L. (2009). Nano-biocomposites: biodegradable polyester/nanoclay systems. *Progress in Polymer Science*, 34(2), 125-155. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.10.002>
10. Choi, J. S., Park, W. H. (2004). Effect of biodegradable plasticizers on thermal and mechanical properties of poly(3-hydroxybutyrate). *Polym Testing*, 23(4), 455-460. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2003.09.005>
11. Steward et al. Organic Coatings: Science and Technology. Retrieved from: <https://www.amazon.com>
12. Rossman, G.M. (2009). Commercial Manufacture of Edible Films. *Edible Films and Coatings for Food Applications*, 367-390. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_14
13. Chen, H. B. et al. (2013). Biodegradable pectin/clay aerogels. *ACS applied materials & interfaces*, 5 (5), 1715-1721. <https://doi.org/10.1021/am3028603>
14. Mellinas, C., Valdés, A., Ramos, M., et al. (2015). Active edible films: Current state and future trends. *Journal of Applied Polymer Science*. Retrieved from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.42631>.
15. Israel Arzate-Vázquez et al. (2012). Microstructural characterization of chitosan and alginate films by microscopy techniques and texture image analysis. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 289-299. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.044>
16. Giménez, B. et al. (2013). Release of active compounds from agar and agar-gelatin films with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 30 (1), 264-271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.014>
17. Gennadios, A. (2002). *Protein-Based Films and Coatings*. CRC Press, 42. <https://doi.org/10.1201/9781420031980>
18. Pérez-Gago, M.B., Krochta, J. (2005). Emulsion and bi-layer edible films. *Food Science and Technology*, 384-402. <https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50054-1>
19. Martucci, J.F., Ruseckaite, R.A. (2010). Biodegradable three-layer film derived from bovine gelatin. *J. Food Eng.*, 99, 377-383. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.02.023>
20. Silva-Weiss, A., Ihl, M., Sobral, P.J.A., Gómez-Guillén, M.C., Bifani, V. (2013). Natural Additives in Bioactive Edible Films and Coatings: Functionality and Applications in Foods. *Food Engineering Reviews*, 5, 200. <https://doi.org/10.1007/s12393-013-9072-5>
21. Hang, W. et al. (2019). The multi-layer film system improved the release and retention properties of cinnamon essential oil and its application as coating in inhibition to penicillium expansion of apple fruit. *Food Chemistry*, 299, 109-125. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125109>
22. Arnon-Rips, H., Poverenov, E. (2018). Improving food products' quality and storability by using Layer by Layer edible coatings. *Trends Food Sci. Technol.*, 75, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.003>
23. De Moraes, J.O. et al. (2013). Scale-up of the production of cassava starch based films using tape-casting. *Journal of Food Engineering*, 119, 800. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.009>
24. Kader, A.A. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28, 1-30. <https://doi.org/10.1080/10408398909527490>
25. Tharanathan, R.N., Srinivasa, P.C., Ramesh, M.N. A process for production of biodegradable films from polysaccharides. Indian patent 0085/DEL/02, 2002.

26. Sperling, L.H. (2006). Introduction to Physical Polymer Science, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., Chp 11, 845.
27. Obara, S., McGinity, J.W. (1995). Influence of processing variables on the properties of free films prepared from aqueous polymeric dispersions by a spray technique, *International Journal of Pharmaceutics*, 37, 849-853.
28. Kaya, S., Kaya, A. (2000). Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. *Journal of Food Engineering*, 43 (2), 91-96. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00136-3)
29. Karki, S., Kim, H., Na, S.-J., Shin, D., Jo, K., Lee, J. (2016). Thin films as an emerging platform for drug delivery. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 11 (5), 559-574. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2016.05.004>
30. Hojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M.A., Mohammadi, A. etc. (2014). Characterization of soluble soybean polysaccharide film incorporated essential oil intended for food packaging. *Carbohydrate Polymer*, 101, 582.
31. Pan, H., Jiang, B., Chen, J., Jin, Z. (2014). Blend-modification of soy protein/lauric acid edible films using polysaccharides. *Food Chemistry*, 151, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.075>
32. Arancibia, M.Y. etc. (2015). Development of active films of chitosan isolated by mild extraction with added protein concentrate from shrimp waste. *Food Hydrocolloids*, 43, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.006>
33. Kaijia, Y., Rasmussen, H.K., Román Marín, J.M., Hassager, O. (2012). Mechanism of spontaneous hole formation in thin polymeric films. *Physical review*, 85, 024201-024204. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.85.024201>
34. Capita'n, M., Rueda, D., Ezquerra, T. (2004). Inhibition of the Crystallization in Nanofilms of Poly(3-hydroxybutyrate). *Macromolecules*, 37, 5653-5659. <https://doi.org/10.1021/ma049576p>
35. Woggum, T., Sirivongpaisal, P., Wittaya, T. (2014). Properties and characteristics of dual-modified rice starch based biodegradable films. *Int. J. Biol. Macromol*, 67, 490-502. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.03.029>
36. Stone, H.A. (1994). Dynamics of drop deformation and breakup in viscous fluids. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 26, 65-102. <https://doi.org/10.1146/annurev.fl.26.010194.000433>
37. Finkenstadt, V.L., Willett, J.L. (2004). A direct-current resistance technique for determining moisture content in native starches and starch-based plasticized materials. *Carbohydrate Polymers*, 55, 149-154. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.08.016>
38. Liu, L., Kerry, J.K., Kerry, J.P. (2006). Effect of food ingredients and selected lipids on the physical properties of extruded edible films/casings. *International Journal of Food Science & Technologies*, 41, 295-302. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01063.x>
39. Lopez, O. etc. (2014). Thermo-compression of biodegradable thermoplastic corn starch films containing chitin and chitosan. *LWT Food Sci. Technol.*, 57, 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.024>
40. Dierickx, L. et al. (2012). Co-extrusion as manufacturing technique for fixed-dose combination mini-matrices. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 81, 683-689. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2012.03.018>
41. Hilbig, J. et al. (2020). Influence of calcium on white efflorescence formation on dry fermented sausages with co-extruded alginate casings. *Food Res. Int.*, 131, 109-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109012>
42. Harper, B.A., Barbut, S. et al. (2015). Mechanical and Microstructural Properties of Wet Alginate and Composite Films Containing Various Carbohydrates. *J. Food Sci.*, 80, 84-92. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12716>
43. Marcos, B., Gou, P. et al. (2020). Co-extruded alginate as an alternative to collagen casings in the production of dry-fermented sausages: Impact of coating composition. *Meat Science*, 169, 108-184. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108184>
44. Barbut, S., Ioi M., Marcone, M. (2020). Co-extrusion of collagen casings. Effects of preparation, brining, and heating on strength, rheology and microstructure. *Ital. J. Food Sci.*, 32, 91-106.
45. Andreuccetti, C. et al. (2012). Functional properties of gelatin-based films containing Yucca schidigera extract produced via casting, extrusion and blown extrusion processes: A preliminary study. *Journal of food engineering*, 113 (1), 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.05.031>
46. Galicia-García T. et al. (2011). Thermal and microstructural characterization of biodegradable films prepared by extrusion-calendering process. *Carbohydrate polymers*, 83 (2), 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.050>
47. Kumar, P. et al. (2010). Preparation and characterization of bio-nanocomposite films based on soy protein isolate and montmorillonite using melt extrusion. *Journal of Food Engineering*, 100 (3), 480-489. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.035>

48. Guerrero, P., Stefani, P.M. et al. (2011). Functional properties of films based on soy protein isolate and gelatin processed by compression molding. *J. Food Eng.*, 105, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.003>
49. Tatara, R.A. (2017). Compression Molding. In *Plastics Design Library, Applied Plastics Engineering Handbook*, 2nd ed.; Kutz, M., Ed.; William Andrew Publishing: New York, NY, USA, 291-320. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00014-6>
50. Krishna, M., Nindo, C.I., Min, S.C. (2012). Development of fish gelatin edible films using extrusion and compression molding. *J. Food Eng.*, 108, 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.002>
51. Ceballos, R.L., Ochoa-Yepes et al. (2020). Effect of yerba mate extract on the performance of starch films obtained by extrusion and compression molding as active and smart packaging. *Carbohydr. Polym.*, 244, 116-495. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116495>
52. Ortega-Toro, R., Jiménez, A. et al. (2014). Properties of starch-hydroxypropyl methylcellulose based films obtained by compression molding. *Carbohydr. Polym.*, 109, 155-165. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.059>
53. Nussinovitch, A. CHAPTER 10. (2009). Biopolymer Films and Composite Coatings. In *Modern Biopolymer Science*, 1st ed.; Kasapis, S., Norton, I.T., Ubbink, J.B., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 295-326. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374195-0.00010-0>
54. Perez, V., Felix, M. et al. (2016). Characterization of pea protein-based bioplastics processed by injection moulding. *Food Bioprod. Process*, 97, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.12.004>
55. Cho, S.W., Gällstedt, M. et al. (2011). Injection-molded nanocomposites and materials based on wheat gluten. *Int. J. Biol. Macromol.*, 48, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.10.012>
56. Morillon, V., Debeaufort, F., Bond, G., Capelle, M., Voilley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Crit. Rev. Food Sci.*, 42(1), 67-89. <https://doi.org/10.1080/10408690290825466>
57. Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W., Traber, M.G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria×ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biol. Tec.*, 33, 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.01.008>
58. Cisneros-Zevallos, L., Krochta, J.M. (2003). Dependence of coating thickness on viscosity of coating solution applied to fruits and vegetables by dipping method. *Journal of Food Science*, 68(2), 503-510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05702.x>
59. B. Ouattara etc. (2000). Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology*, 62(1-2), 139-148. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00407-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00407-4)
60. Bergeron, V., Bonn, D., Martin, J.Y., Vovelle, L. (2000). Controlling droplet deposition with polymer additives. *Nature*, 405, 772-775. <https://doi.org/10.1038/35015525>
61. Jindal, M., Kumar, V., Rana, V., Tiwary, A.K. (2013). An insight into the properties of Aegle marmelos pectin-chitosan cross-linked films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 52, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.10.020>
62. Martin-Polo, M., Mauguin, C., Voilley, A. (1992). Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(3), 407-412. <https://doi.org/10.1021/jf00015a009>
63. Romanazzi, G. etc. (2002). Effects of pre and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science*, 67, 1862-1867. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08737.x>
64. Kumar, P. etc. (2018). Hybrid porous thin films: Opportunities and challenges for sensing applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 104, 120-137. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.01.006>

Cite as

Шульга О.С., Чорна А.І., Чорний І.О. Методи виробництва їстівних плівок/покриттів // Наукові праці / Одеський національний технологічний університет. Одеса, 2022. Випуск 86, Том 2. С. 36– 49.

Отримано в редакцію 06.07.2022
Прийнято до друку 20.11.2022

Received 16.08.2022
Approved 20.11.2022