


УДК 664.8.035.76

Антимікробний ефект етерних олій у складі їстівних плівок (огляд)

Димань Т.М. 

Білоцерківський національний аграрний університет

 Димань Т.М. E-mail: tetyana.dyman@btsau.edu.ua



Димань Т. М. Антимікробний ефект етерних олій у складі їстівних плівок (огляд). Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2022. № 1. С. 124–134.

Dyman T. Antimicrobial effect of essential oils in content of edible films (review). «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2022. № 1. PP. 124–134.

Рукопис отримано: 18.03.2022 р.

Прийнято: 31.03.2022 р.

Затверджено до друку: 24.06.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2022-170-1-124-134

Глобалізація торгівлі харчовими продуктами, щораз вищий попит на мінімально оброблені, прості в приготуванні, готові для споживання харчові продукти, а також поширення централізованого перероблення продовольчої сировини створюють серйозні проблеми для харчової безпеки. Спалахи інфекційних захворювань аліментарного походження стимулюють пошук інноваційних способів підвищення безпеки і терміну придатності готових для споживання харчових продуктів. Не менш актуальною є проблема утилізації твердих побутових відходів, значну частку яких становить упаковка харчових продуктів, тому в останню декаду значно підвищився інтерес до їстівних плівок і упаковок.

Етерні олії належать до природних антибактеріальних агентів, які можуть успішно використовуватись у їстівних плівках як заміна синтетичним сполукам. Численні дослідження довели, що антимікробні плівки і покриття з додаванням етерних олій ефективні для зниження рівня таких патогенних мікроорганізмів як *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhi*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli O157:H7* та ін. Етерні олії мають зареєстрований Європейською комісією і США статус GRAS (*Generally Recognized as Safe* – загальноновизнані як безпечні). Вони містять широкий спектр вторинних метаболітів, які здатні пригнічувати або сповільнювати ріст бактерій, дріжджів і плісняви. Крім зовнішнього застосування на поверхні харчових систем, складники етерних олій можуть дифундувати в їжу для знешкодження цільових мікроорганізмів. У статті узагальнено поточну інформацію про джерела, властивості, обмеження та перспективи використання легких етерних олій та їх компонентів у складі їстівних плівок і упаковки для забезпечення безпеки харчових продуктів. Попри численні переваги, додавання цих сполук до складу їстівних плівок потребує додаткових досліджень, зокрема з визначення оптимальних інгібувальних концентрацій, механічних та функціональних властивостей плівок тощо.

Ключові слова: етерні олії, їстівні плівки, антибактеріальні добавки, біодеструкція, харчова безпека.

Вступ

Глобалізація торгівлі харчовими продуктами, щораз вищий попит на мінімально оброблені, прості в приготуванні, готові для споживання харчові продукти, а також поширення централізованого перероблення продовольчої сировини створюють значні проблеми для харчової безпеки. За даними ВООЗ, щороку інфекційними захворюваннями аліментарного походження у світі хворіють понад 550 млн осіб, а

230 тис. осіб помирають. Сьогодні розбірливі споживачі висловлюють занепокоєння щодо самої природи як харчових продуктів, так і їх упаковки, яка безпосередньо контактує з продуктом.

Не менш актуальними є проблеми утилізації твердих побутових відходів, значну частку яких становить упаковка харчових продуктів, поліпшення екосередовищного стану в Україні, зменшення економічних видатків на облашту-

вання дедалі нових полігонів для складування побутових відходів. Використання пластмас у системах пакування харчових продуктів призвело до безпрецедентного зростання забруднення навколишнього природного середовища пластиком. Прогнозують, що до 2050 року воно зросте у світі вдвічі [17, 25].

У зв'язку з наведеним вище в останню декаду значно підвищився інтерес до їстівних плівок і упаковок. Технологи харчової галузі нині розвивають ідею антимікробних плівок, які мають вирішити проблеми мікробної контамінації продуктів, стійкості до антимікробних препаратів та забруднення довкілля пластиком. Необхідно розробити їстівні плівки і пакувальні матеріали, які зберігатимуть якість і гарантуватимуть безпеку харчових продуктів завдяки різним інкорпорованим добавкам, утримуючи кількість мікроорганізмів у допустимих межах [1, 15].

Мета огляду – узагальнення наявної інформації про джерела, властивості і перспективи використання легких етерних олій у складі їстівних плівок і упаковок для забезпечення безпеки харчових продуктів.

Їстівні плівки

Їстівні плівки – це тонкі плівки, виготовлені із їстівного матеріалу, які діють бар'єром для зовнішніх чинників (волога, гази, пари), захищаючи продукт, подовжуючи термін його зберігання і поліпшуючи якість [12]. Їстівні плівки використовують як обгортки чи упаковки для харчових продуктів. Для їх виробництва використовують різноманітні харчові інгредієнти, вилучені із м'яса, овочів і фруктів, зернових, горіхів. Плівки спроможні гальмувати вивільнення із продукту активних сполук, зокрема антиоксидантів, ароматизаторів та антимікробних речовин. Їх товщина зазвичай менш як 0,3 мм [29].

За хімічним складом компоненти їстівних плівок розділяють на три основні категорії: гідроколоїди, ліпіди та композити. До гідроколоїдів належать білки і полісахариди, зокрема крохмаль, альгінат, похідні целюлози, хітозан та агар. Ліпіди охоплюють ацилгліцерини, жирні кислоти та воски. Композити містять як гідроколоїдні компоненти, так і ліпіди [10].

Завдяки добрим плівкотвірним властивостям найчастіше використовуваними макромолекулами для створення їстівних плівок є білки (сироваткові білки молока, пшеничний білок глютен, соєвий білок, білок тритикале, білок гороху, білок риби), полісахариди (хітозан, крохмаль, альгінат, гідроксипропілметилцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза) та їх суміші [36].

Рецептуру їстівної плівки визначають залежно від її бажаних функцій, передусім бар'єрних властивостей проти кисню, вологонепроникності, біодеструкції, естетичного зовнішнього вигляду [6, 12, 19]. З огляду на те, що кожний компонент композитної матриці характеризується різними властивостями, функціональність їстівних плівок може значно варіювати. Наприклад, плівки із білків чи полісахаридів зазвичай мають добру механічну стійкість і газобар'єрні якості, однак погано захищають від водяної пари. На відміну від них плівки із ліпідів характеризуються високими пароізоляційними властивостями, тимчасом механічна міцність низька, а киснева проникність висока [29].

У разі поєднання різних компонентів вони можуть взаємодіяти і сприяти утворенню плівок з поліпшеними властивостями. Так, поєднання фруктових пюре з різними желювальними агентами на кшталт альгінатів може поліпшити вологозахисні і розтягувальні властивості плівок на основі фруктів [12].

Приготування їстівних плівок передбачає щонайменше один компонент, здатний утворювати відповідну суцільну, когезійну та адгезивну матрицю. Така рецептура містить плівкоутворювач (макромолекула), розчинник (вода, етанол та ін.), пластифікатори (гліцерин, сорбіт та ін.), агент, що регулює рН (кислота, гідроксид натрію та ін.) та, за необхідності, антимікробний агент [30].

Потенційні переваги використання їстівних плівок в індустрії свіжих продуктів полягають у наступному:

- забезпечення бар'єру вологи на поверхні продуктів і запобігання втратам вологи;

- забезпечення достатнього газового бар'єру для контролю газообміну та обміну леткими сполуками між свіжими продуктами і навколишнім середовищем (створення модифікованої атмосфери, запобігання втратам летких ароматичних сполук і колірних компонентів із свіжих продуктів і набуттю сторонніх запахів);

- захист продуктів від фізичних пошкоджень, спричинених механічним впливом, тиском, вібраціями та іншими чинниками;

- використання як носія для інших функціональних інгредієнтів, таких як антимікробні та антиоксидантні агенти, нутріцевтики, колірні та ароматичні інгредієнти для зниження мікробного навантаження, сповільнення окиснення і знебарвлення, поліпшення якості і подовження терміну зберігання продуктів;

- здатність до самодеструкції та екобезпека [3, 7, 21, 36].

Антибактеріальні плівки

На поверхні свіжих чи перероблених харчових продуктів інтенсивно розвиваються мікроорганізми. Розроблення антимікробних їстівних плівок для захисту свіжих і оброблених харчових продуктів від патогенних для людини бактерій і подовження терміну зберігання продукту – нова тенденція в дослідженнях безпеки харчових продуктів. Антимікробні їстівні плівки можуть стати ефективним засобом боротьби з патогенами і мікроорганізмами, які передаються через їжу, що уможливить підвищення безпеки харчових продуктів і запобігатиме їх швидкому псуванню.

Безпосереднє внесення антимікробних засобів у харчові продукти не завжди ефективне, оскільки різні компоненти цих продуктів можуть пригнічувати антимікробну дію добавок. У зв'язку з цим для інгібування чи припинення росту харчових патогенів та інших мікроорганізмів на поверхні продуктів застосовують антибактеріальні плівки [19]. Останні бувають двох видів: у першій антибактеріальний агент мігрує лише на поверхню продукту, у другій – має здатність проникати всередину продукту.

Внесення синтетичних мікробних препаратів у їстівні плівки зумовлює низку проблем, пов'язаних з потенційними негативними наслідками для здоров'я людини. Через це перевагу надають натуральним і нешкідливим консервантам, отриманим із різноманітних природних джерел. Існує декілька категорій антимікробних засобів, які додають у їстівні плівки.

Хітозан – полісахарид, який отримують у результаті деацетилювання біополімеру хітину, що міститься в панцирах ракоподібних, а також у клітинних стінках грибів. Він має антимікробну дію завдяки аміногрупі ($-NH_2$) у своєму складі, яка може бути протонувана до NH_3^+ і утворювати електростатичні взаємодії з аніонними групами мембран мікробних клітин, руйнуючи останні. Доведено антимікробну дію хітозану проти *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Botrytis cinerea*, *Candida lambica*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*. Крім того, хітозан має добрі плівкотвірні властивості, зумовлені його полікатіонною природою [11, 13, 30].

Хітоолігосахарид – це фракція олігосахаридів, яку отримують методом хімічного чи ферментативного гідролізу хітозану. Ця сполука має протигрибкову та антибактеріальну дію. Позитивно заряджені молекули хітоолігосахаридів взаємодіють з негативно зарядженими бактеріями, спричиняючи порушення в клітині. Доведено антимікробну активність плівок

з хітоолігосахаридом щодо *S. aureus*, *E. coli*, *Yarrowia lipolytica* [30].

Сироватковий протеїн отримують як побічний продукт у молочній промисловості. Він має високу біологічну активність, а також проявляє антимікробну дію, однак механізм дії біоактивних пептидів, отриманих із сироватки, остаточно не з'ясовано [11, 28].

Лактопероксидаза – це білок (глікопротеїновий фермент), присутній у молоці, молозиві, слині та інших виділеннях. Має бактерицидні та бактериостатичні властивості. Додавання цієї речовини до розчину хітозану, яким покривали філе форелі, сприяло значному зниженню кількості психротрофних та мезофільних бактерій, а також *Shewanella putrefaciens*, *Pseudomonas fluorescens* [28].

Лактоферин – залізов'язувальний глікопротеїн, що належить до родини трансферинів і присутній у молоці та інших рідинах ссавців. Він проявляє бактерицидну та бактериостатичну активність проти широкого спектра бактерій. Його залізов'язувальна здатність позбавляє деякі бактерії (*Salmonella spp*, *L. monocytogenes*, *Bacillus stearothermophilus*, *E. coli*, *B. subtilis*, *Shigella dysenteriae*) поживних речовин, необхідних для розмноження [5].

Лізоцим – фермент, присутній у яєчному білку, крові, молоці, має активність проти грамположитивних та грамнегативних бактерій. Біокомпозитні їстівні плівки із гідроксипропілметилцелюлози з різними концентраціями хітозану і біоактивного препарату цистатину/лізоциму продемонстрували антагоністичну дію проти *Micrococcus flavus*, *B. cereus*, *E. coli*, *P. fluorescens*, *Candida famata* [5, 28].

Нізін – це антимікробний пептид (бактеріоцин), що виробляється штамами *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*. Він проявляє антимікробну дію щодо широкого спектра грамположитивних бактерій, однак виявляє незначну активність або зовсім не має активності щодо грамнегативних бактерій. Нізін використовують у харчовій промисловості як безпечний природний консервант. Його успішно інкорпорують в ізолят сироваткового білка, ізолят соєвого білка, хітозан та інші плівки. Плівка з нізином ефективна проти таких патогенних бактерій як *L. monocytogenes*, *S. aureus* та *B. cereus* [30].

Як харчові консерванти широко відомі численні органічні кислоти та їх солі. У різних композитних матрицях їстівних плівок застосовують сорбат калію, сорбінову, параамінобензойну, яблучну, молочну, пропіонову та інші кислоти. Ці речовини можуть бути ефективними проти *E. coli O157:H7*, *L. monocytogenes*, *S. typhimurium*, *S. aureus*, *B. cereus* та деяких

грибів, зокрема *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. parasiticus* та *Fusarium incarnatum* [16, 30].

Особливе значення як антимікробний засіб у їстівних плівках мають етерні олії та рослинні екстракти. Інкапсуляцію цих біологічно активних речовин за допомогою різних методів, зокрема нанокапсулювання, розпилювального сушіння, полімеризації та інших, було визначено провідними стратегіями поліпшення характеристик їстівних плівок [28].

Антибактеріальні властивості етерних олій

Етерні олії – це багатокomпонентні суміші летких речовин, що утворюються в різних органах рослин, та випаровуються за звичайної температури. До їх складу входять вуглеводні, а також оксигеновмісні сполуки, зокрема спирти, кетони, альдегіди, кислоти аліфатичні та циклічні, етери та естери [33].

Одержують етерні олії перегонкою з водяною парою, екстракцією, пресуванням. Вибір того чи іншого способу залежить передусім від кількості та хімічного складу олій, морфолого-анатомічних властивостей сировини та галузі застосування [4, 33].

Рослинні екстракти і етерні олії здавна використовують для поліпшення смаку і створення характерних ароматів, а також для подовження термінів зберігання харчових продуктів запобіганням розмноженню патогенної мікрофлори та мікроорганізмів псування [7, 22].

Етерні олії мають зареєстрований Європейською комісією і США статус GRAS (*Generally Recognized as Safe* – загально визнані як безпечні). Численні етерні олії було випробувано як антимікробні агенти у складі їстівних плівок. Вони багаті на монотерпени, сесквитерпени, ефіри, альдегіди, кетони, кислоти, флавоноїди і поліфеноли – речовини, які добре відомі своїми антимікробними властивостями (табл. 1).

Терпени – це вуглеводні, що утворюються в результаті об'єднання кількох ізопренових одиниць (C_5H_8). Вони синтезуються в цитоплазмі рослинної клітини. Найвідоміші серед терпенів – р-цимен, лимонен, терпінен, сабінен і пінен. Тести *in vitro* показали, що за використання терпенів як окремих сполук високої антибактеріальної активності досягати не вдається [24].

Терпеноїди – це терпени з доданими молекулами кисню чи метильними групами, які було переміщено чи видалено специфічними ферментами. Найпоширеніші представники – тимол, карвакрол, ліналоол, ментол, гераніол, ліналілацетат, цитронелал та піперитон. Антимікробна активність більшості терпеноїдів пов'язана з їх функціональними групами. Зокрема, важливими чинниками забезпечення антимікробної дії є

наявність і розташування в молекулі гідроксидної групи, а також делокалізованих електронів. Наприклад, тимол і карвакрол структурно аналогічні, однак розташування гідроксидних груп у їх молекулах різне. Хоча сполуки проявляють подібні антимікробні властивості, механізми їх дії проти грампозитивних та грамнегативних мікроорганізмів різняться [24].

Фенілпропени називають так тому, що вони містять шестивуглецеву ароматичну фенольну групу і трьохвуглецевий пропеновий «хвіст» із коричної кислоти, що утворюється на першому етапі біосинтезу фенілпропаноїдів. Евгенол, ізоевгенол, ванілін, сапрол і цинамальдегід – найбільш вивчені фенілпропени. Антимікробна активність цих молекул забезпечується здебільшого їх вільними гідроксидними групами. Антимікробну дію евгенолу пояснюють наявністю подвійного зв'язку в α , β -положеннях бокового ланцюга і метильної групи, розташованої в γ -положенні. Антимікробна активність фенілпропенів також залежить від типу і кількості замінів в ароматичному кільці і, як у більшості етерних олій, від штаму мікроорганізмів та умов, в яких тестується етерна олія [18, 24].

Загалом фенілпропени проявляють різну антибактеріальну активність. Наприклад, ізоевгенол активніший проти бактерій, ніж евгенол, а також ефективний проти дріжджів і плісняви. Ці дві сполуки проявляють більшу активність проти грамнегативних бактерій, ніж проти грампозитивних [21].

Терпени і фенольні сполуки здатні пошкоджувати клітинні стінки бактерій, руйнувати цитоплазматичну мембрану, призводити до втрати клітинних компонентів. За зниження рН, яке відбувається через порушення клітинної мембрани, клітинні процеси (транскрипція ДНК, синтез білка та активація ферментів) також порушуються. Зрештою, ці ефекти призводять до гибелі мікроорганізмів [34]. Остаточний механізм дії зазначених речовин проти бактерій не з'ясовано, оскільки кожна сполука в різних етерних оліях проявляє унікальну антимікробну дію, специфічну для певного спектра харчових продуктів [6]. Крім зовнішнього застосування на поверхні харчових систем, складники етерних олій можуть дифундувати в їжу для знешкодження цільових мікроорганізмів [4, 18].

Friedman M. et al. [14] дослідили антибактеріальну активність 120 рослинних олій і їх сполук проти чотирьох видів патогенів, які найчастіше зустрічаються в харчових продуктах, і довели, що карвакрол, цинамальдегід, орегано є ефективними антибактеріальними засобами проти стійких до антибіотиків харчових патогенів (табл. 2).

Таблиця 1 – Антимікробні компоненти деяких етерних олій

Джерело етерної олії	Латинська назва	Антимікробний компонент
Апельсин	<i>Citrus sinensis</i>	Лімонен (~90 %), деканаль (0,9–3,2 %)
Васильки справжні	<i>Ocimum basilicum</i>	Евгенол (52–82 %), <i>цис</i> - β -О-оцимен (10–16 %), ліналоол (10–16 %), кадинени (10–12%), санталени (6–8 %), метилхавікол (до 6 %)
Бергамот	<i>Citrus bergamia</i>	Ліналілацетат (32–44 %), лімонен (18–30 %), ліналоол (12–15 %), фурукумарин бергаптен (5–6 %)
Гвоздика Гвоздичне дерево	<i>Syzygium aromaticum</i>	Евгенол (60–95 %), евгенолу ацетат (2–27 %), каріофілен (5–15 %)
Імбир лікарський	<i>Zingiber officinale</i>	Зингіберен, β -бісаболен, β -сесквіфеландрен, моно-терпенові альдегіди і спирти.
Кориця (цинамон)	<i>Cinnamomum verum</i>	Евгенол (70–85 %), ліналоол (1,5–3,5 %), β -каріофілен (1,5–7 %), сафрол – менше 3 %, цинеол – менше 1 %, кумарин – менше 1 %
Коріандр (насіння)	<i>Coriandrum sativum</i>	Ліналоол (26–65 %) Е-2-деканаль (0–20 %), деканол, ліналілацетат, пінен, борнеол, терпінен, мірцен
Материнка (орегано)	<i>Origanum vulgare</i>	Карвакрол (68 %), тимол, α -пінен (3 %), камфен, мірцен (2 %), γ -терпінен, р-цимен (16 %)
Розмарин	<i>Rosmarinus officinalis</i>	1,8-цинеол (15–30 %), камфора (10–25%), α -пінен (10–25 %), борнеол (10–15 %), камфен (до 8%), каріофілен, борнілацетат, лимонен, смоли
Фенхель	<i>Foeniculum vulgare</i>	Транс-анетол (до 60 %), фенхон, метилхавікол, α -пінен, α -феландрен та ін.
Цитронела	<i>Pelargonium citrosum</i>	Гераніол (20–25 %), цитронелаль (30–45 %), цитронелол (9–15%), геранілацетат (3–8 %), лімонен
Часник	<i>Allium sativum</i>	Аліцин (70 %)
Чебрець (тим'ян)	<i>Thymus vulgaris</i>	Тимол (10–64 %), р-цимен (10–56 %), ліналоол (4–6,5 %), γ -терпінен (2–31 %), карвакрол (1–11 %)
Шавлія	<i>Salvia officinalis</i> (<i>Salvia sclarea</i>)	Камфора (6–15 %), α -пінен (4–5 %), β -пінен 2–10 %), 1,8-цинеол (6–14 %), α -туйон (20–42 %), Ліналілацетат (до 75 %), ліналоол (до 20 %)

Джерело: складено автором за [8, 18, 33].

Таблиця 2 – Антибактеріальна активність природних джерел рослинного походження

Бактерія	Джерело антибактеріального агента	Антибактеріальна активність BA_{50}^* , %
<i>Campilobacter jejuni</i>	гарденія, гіркий апельсин, жасмин, календула, корінь імбиру, кедрове дерево, насіння моркви, насіння селери, пачулі, полин, спікенард	0,003–0,009
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	гвоздика, кориця, лавровий лист, лимонна трава і пряність, материнка, чебрець	0,046–0,14
<i>Listeria monocytogenes</i>	гарденія, гвоздика, кедрове дерево, кориця, лавровий лист, чебрець, пачулі	0,057–0,092
<i>Salmonella enterica</i>	гвоздика, майоран, лавровий лист, кориця, орегано, чебрець	0,045–0,14

Примітка: * BA_{50} – відсоток олії у фосфатному буфері, за якого загинуло 50 % бактерій.

Джерело: складено автором за [14].

На антимікробну активність етерних олій впливають різні чинники, серед яких найзначущим є температура зберігання продукту. Підвищення температури зазвичай прискорює міграцію активних агентів у плівці, тимчасом охолодження сповільнює швидкість міграції [12].

Крім антибактеріального ефекту, етерні олії здатні впливати на фізико-хімічні властивості їстівних плівок. Основні бажані характеристики останніх – проникність водяної пари і висока механічна міцність. Важливо, щоб плівки інгібували втрати вологи та окиснювальне прогіркання продукту, а також щоб вони істотно не впливали на зовнішній вигляд кінцевого продукту. Додавання деяких етерних олій у їстівні плівки може змінювати їх природне забарвлення. Колір плівки може навіть визначати прийнятність продукту для споживача. Ступінь змін залежить від концентрації добавки. Темні відтінки плівок отримують за використання у яблучних плівкотвірних розчинах олій кориці та гвоздики [12].

У повідомленні [9] зазначається, що присутність етерної олії орегано як антимікробного агента у плівці на основі полібутиленадіпат-котерефталату (РВАТ) поліпшувала проникність водяної пари. В іншому дослідженні додавання етерної олії естрагону в їстівні плівки на основі ізоляту сироваткового білка поліпшувало вологозахисні властивості, водорозчинність, забарвлення та прозорість плівки, а також знижувало її опір проколюванню і деформацію під час проколювання [31]. Їстівні покриття на основі крохмалю солодкої картоплі з різними концентраціями (2–6 %) етерної олії чебрецю значно поліпшували різні характеристики продукту (твердість, пружність та ін.) упродовж всього терміну зберігання порівняно зі зразками без покриття [2]. Дослідження фізико-хімічних властивостей хітозанових плівок з додаванням етерної олії орегано показали, що вони мають більш прийнятну товщину, підвищену еластичність і водночас знижену міцність щодо проколювання і розтягування, а також нижчі вологобар'єрні властивості, ніж хітозанові плівки без добавок [34].

Використання етерних олій у плівках для різних харчових продуктів

Застосування систем активної протимікробної упаковки на основі біополімерів у поєднанні з різними біологічно активними речовинами мають великий потенціал щодо поліпшення якості і підвищення безпеки різних груп харчових продуктів, а також подовження терміну їх придатності [32].

Застосування їстівних плівок, що містять суміш етерних олій чи рослинних екстрактів,

для покриття м'яса, птиці, риби, свіжих фруктів, овочів та горіхів зумовлює дедалі більший інтерес у харчовому виробництві. У таблицях 3 і 4 узагальнено дані численних публікацій, присвячених застосуванню етерних олій та їх компонентів у складі антимікробних плівок для різних харчових систем.

Обмеження у використанні етерних олій у їстівних плівках

Попри низку переваг етерних олій і поліфенольних сполук, вони мають недоліки, що обмежують їх застосування в харчових продуктах. Зокрема, здатність мігрувати в упаковані/обгорнуті харчові продукти, спричиняючи небажані зміни їх сенсорних характеристик. У процесі змішування летких і нелетких компонентів продукт набуває стороннього смаку і запаху. Інтенсивний аромат етерних олій, навіть за низьких концентрацій, може спричинити негативні органолептичні ефекти, які перевищують пороги, прийнятні для споживача [20].

Через високу леткість, гідрофобність, швидку окиснюваність, фототермічну деградацію їх слушно використовувати саме у складі їстівних плівок, а не способом прямого додавання до складу харчових продуктів [28]. Перевага внесення летких компонентів етерних олій у харчові плівки чи покриття полягає в тому, що швидкість дифузії агентів із харчового продукту може бути зменшена, що уможливує збереження активних сполук у складі самого продукту і на його поверхні впродовж тривалого часу [24]. Спосіб мінімізації органолептичних ефектів етерних олій, доданих до матриці харчового продукту, полягає в інкапсуляції етерних олій в наноемульсії. Такий підхід підвищує стабільність летких компонентів, захищаючи їх від взаємодії з харчовою матрицею, і підвищує антимікробну активність завдяки збільшенню пасивного поглинання клітинами [10, 20]. Зниження концентрації етерних олій без втрат для антимікробної активності може бути також досягнуто їх поєднанням з іншими антимікробними сполуками, що забезпечує синергетичний ефект [18]. Застосування мікро- та нанокапсуляційних технологій у галузі харчових покриттів та плівок дає змогу підвищити сумісність різних функціональних добавок і надалі розширити можливості їх використання для зберігання харчових продуктів [23, 26]. Комбінування етерних олій, які дають синергетичний ефект, відкриває широкі можливості для формування антимікробних сумішей з метою використання для консервування харчових продуктів без істотних змін їх органолептичних характеристик.

Таблиця 3 – Приклади використання етерних олій як антимікробних агентів у їстівних плівках

Назва рослини-джерела етерної олії	Базовий компонент їстівної плівки (матриця)	Цільові мікроорганізми	Харчовий продукт
1	2	3	4
Апельсин	желатин	психротрофні бактерії <i>Enterobacteriaceae</i>	креветки
Гвоздичне дерево	желатин-хітозан	<i>Enterobacteriaceae</i>	охолоджена тріска
	Gelatin	загальна кількість бактерій молочнокислі бактерії <i>Pseudomonas spp.</i> <i>Enterobacteriaceae</i>	риба
Гвоздика+ койєва кислота	хітозан	аеробні бактерії	білі креветки
Імбир	сорбітол, протеїновий ізолят, альгінат	<i>E. coli O157:H7</i> <i>S. aureus</i>	сири касері (із овчого молока)
	казеїнат натрію	аеробні психрофільні бактерії	куряче філе
Лемонграс	альгінат	психротрофні бактерії дріжджі і пліснява <i>E.coli</i>	яблука
Материнка (орегано)	сорбітол-пластифікований сироватковий протеїн	молочнокислі бактерії <i>Pseudomonads spp.</i>	свіжа яловичина
	молочний білок	<i>E. coli O157:H7</i>	яловичина
	хітозан	<i>L. monocytogenes</i> <i>E. coli O157:H7</i>	м'ясо болонья
	соєвий протеїн	Коліформні бактерії <i>Pseudomonas spp.</i>	яловичні котлети
	желатин	загальні бактерії псування	сардина холодного копчення
	мандаринова клітковина	<i>S. aureus</i>	знежирений сир
	ізолят сироваткових білків	бактерії псування, пліснява	полуниця
Материнка+ чебрець	соєвий протеїн	<i>E. coli O157:H7</i> <i>S. aureus</i> <i>P. aeruginosa</i> <i>Lactobacillus plantarum</i>	котлети з яловичного фаршу
		бактерії псування <i>E. coli</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i> <i>Penicillium spp.</i>	сири касері
Павловнія повстяна	хітозан	бактерії псування	свинячі відбивні
Розмарин	желатин	бактерії псування	сардина холодного копчення
Розмарин+лавр благородний	нановолокна зеїну	<i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i>	тверді сири
Цинамон (кориця)	хітозан	<i>Alternaria alternata</i>	інжир
	альгінат натрію і карбоксиметил-целюлоза	<i>S. aureus</i> <i>E. coli</i>	банани

Продовження табл. 3

1	2	3	4
Циnamон + материнка+ чебрець	яблучне пюре томатне пюре	<i>Aspergillus flavus</i>	мигдаль
Циnamон+соєва олія	альгінат натрію	<i>L. monocytogenes</i> <i>S. enterica</i> <i>E. coli O157:H7</i>	диня
Циnamон+нанодіоксид титану	крохмаль саго	<i>E. coli</i> <i>S. typhimurium</i> <i>S. aureus</i>	фісташки
Часник	хітозан і сироватковий протеїн	бактерії псування <i>E. coli</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i> <i>Penicillium spp.</i>	ковбаса у вакуумній упаковці
Чебрець	соєвий протеїн	коліформи <i>Pseudomonas spp.</i>	яловичні котлети
Чебрець+ β-циклодекстрин+ ε-полілізин	нановолокна желатину	<i>Campylobacter jejuni</i>	м'ясо птиці

Джерело: узагальнено автором за [8, 10, 12, 28, 34].

Таблиця 4 – Приклади використання компонентів етерних олій як антимікробних агентів у їстівних плівках

Компонент етерної олії	Базовий компонент їстівної плівки (матриця)	Цільові мікроорганізми	Харчовий продукт
Карвакрол	яблучне пюре	<i>Clostridia perfringens</i>	охолоджений варений яловичний фарш
	яблучна плівка	<i>E. coli O157:H7</i>	смажені яловичні котлети для гамбургерів, куряча грудка (сира і варена)
	яблучне пюре томатне пюре	<i>E. coli O157:H7</i>	шпинат
	хітозан/ циклодекстрин	мезофільні, психрофільні мікроорганізми молочнокислі бактерії дріжджі і пліснява <i>Pseudomonas spp.</i> <i>Enterobacteriaceae</i>	свіжа курятина
Карвакрол+ цинамальдегід	високометоксильний пектин і пюре з яблука, моркви чи гібіскуса	<i>L. monocytogenes</i>	шинка і м'ясо больонья
Наноемульсія поліфенолів (орегано, галова кислота і кверцетин)	композит желатину і карагінану	<i>E. coli</i> <i>Salmonella typhimurium</i>	м'ясо птиці
Тимол	хітозан	<i>Botrytis cinerea</i>	помідори чері
Цинамальдегід (кориця)	хітозан	<i>Enterobacteriaceae</i> <i>S. liquefaciens</i>	м'ясо болонья
	яблучне пюре томатне пюре	<i>E. coli O157:H7</i>	шпинат
Цитраль+евгенол	альгінат і пектин	аеробні мезофільні мікроорганізми дріжджі і пліснява	малина

Джерело: узагальнено автором за [8, 10, 12, 28, 34].

Важливі характеристики, які необхідно враховувати у разі застосування етерних олій як інгредієнта їстівних плівок, – токсичність і алергенність. Низка етерних олій, які часто використовують у їстівних покриттях як антибактеріальні агенти, і які мають статус GRAS, можуть спричиняти алергічні реакції і пероральну токсичність. Отже, необхідно дотримуватися балансу між ефективністю дози етерної олії чи рослинного екстракту та ризиком їх токсичності [26, 27].

З огляду на те, що їстівні плівки і покриття стають частиною споживаної їжі, всі матеріали, використовувані в продуктах, мають бути належним чином заявлені на етикетці [29].

Широкому застосуванню етерних олій як природних антибактеріальних агентів у складі їстівних плівок перешкоджає також висока вартість їх виробництва.

Їстівні плівки з додаванням етерних олій – перспективний об'єкт досліджень, однак у виробничій сфері вони наразі не набули популярності, вочевидь, через низький комерційний інтерес. Відтак, необхідні подальші дослідження, щоб адаптувати розроблену технологію до складних потреб індустрії пакування харчових продуктів. Як зазначалося вище, великі перспективи мають нанотехнології, зокрема для розроблення інкапсульованих їстівних плівок з незмінною ультраструктурою й поліпшеними бар'єрними властивостями [1, 10, 26]. Наявні моделі попиту дають змогу припустити, що для активної упаковки, яка має низький вуглецевий слід і підтримує стале споживання, наявне широке поле для впровадження [17, 35].

Висновки. Отже, використання в харчовій промисловості їстівних плівок, що містять леткі етерні олії рослинного походження як антимікробний компонент, є інноваційним підходом до підвищення харчової безпеки і терміну зберігання харчових продуктів. З погляду корисних фізичних і хімічних властивостей, етерні олії можуть істотно поліпшити якість харчових продуктів, у яких вони містяться, щодо біологічної дії – позитивно впливати на організм людини. Їстівні плівки, збагачені етерними оліями чи їх компонентами, можуть бути ефективною, нетоксичною і стійкою альтернативою проблемній упаковці на основі пластику.

REFERENCES

1. Abdollahzadeh, E., Nematollahi, A., Hosseini, H. (2021). Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. *Trends Food Sci. Technol.* (110), pp. 291–303.
2. Alotaibi, M.A., Tayel, A.A., Zidan, N.S., El Rabey, H.A. (2019). Bioactive coatings from nano-biopolymers/plant extract composites for complete protec-

tion from mycotoxigenic fungi in dates. *J. Sci. Food Agric.* 99, pp. 4338–4343.

3. Ataei S., Azari, P., Hassan, A., Pinguan-Murphy, B., Yahya, R., Muhamad, F. (2020). Essential oils-loaded electrospun biopolymers: A future perspective for active food packaging. *Adv. Polym. Technol.* 2020, Article ID 9040535. DOI:10.1155/2020/9040535

4. Atarés, L., Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends Food Sci. Technol.* (48), pp. 51–62.

5. Barbiroli, A., Bonomi, F., Capretti, G., Iametti, S., Manzoni, M., Piergiovanni, L. (2012). Antimicrobial activity of lysozyme and lactoferrin incorporated in cellulosebased food packaging. *Food Control.* Vol. 26(2), pp. 387–392. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.01.046.

6. Bastarrachea, L., Dhawan, S., Sablani, S. (2011). Engineering properties of polymeric-based antimicrobial films for food packaging: A review. *Food Eng. Rev.* no. 3, pp. 79–93.

7. Bizymis, A.P., Tzia, C. (2021). Edible films and coatings: Properties for the selection of the components, evolution through composites and nanomaterials, and safety issues. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021. pp. 1–16.

8. Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. *International Journal of Food Microbiology.* Vol. 94, pp. 223–253.

9. Cardoso, L.G., Pereira Santos, J.C., Camilloto, G.P., Miranda, A., Druzian, L.J.I., Guimaraes, A.G. (2017). Development of active films poly (butylene adipate co-terephthalate)-PBAT incorporated with oregano essential oil and application in fish fillet preservation. *Ind. Crops Prod.* (108), pp. 388–397.

10. Chawla, R., Sivakumar, S., Kaur, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements—a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications.* (2). DOI:10.1016/j.carpta.2020.100024

11. Chen, H., Wang, J., Cheng, Y., Wang, C., Liu, H., Bian, H. (2019). Application of protein-based films and coatings for food packaging: a review. *Polymers.* Vol. 11(12), 2039 p. DOI:10.3390/polym11122039

12. Du, W.X., Avena-Bustillos, R.J., Hua, S.S.T., McHugh, T.H. (2011). Antimicrobial volatile essential oils in edible films for food safety. In: *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances.* Ed. A. Méndez-Vilas. pp. 1124–1134.

13. Dutta, P. K., Tripathi, S., Mehrotra, G. K., Dutta, J. (2009). Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chem.* Vol. 114(4), pp. 1173–1182. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.11.047.

14. Friedman, M., Henika, P.R., Mandrell, R.E. (2002). Bactericidal activities of plant essential oils and some of their isolated constituents against *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella enterica*. *Journal of Food Protection.* Vol. 65, pp. 1545–1560.

15. Future Markets Insights. *Food Coating Ingredients Market: Global Industry Analysis and Opportu-*

- nity Assessment 2015–2025. Available at: <http://www.futuremarketinsights.com/reports/food-coatingingredients-market/>
16. Gan, I., Chow, W. S. (2018). Antimicrobial poly (lactic acid)/cellulose bionanocomposite for food packaging application: A review. *Food Packag. Shelf Life*. Vol. 17, pp. 150–161. DOI:10.1016/j.fpsl.2018.06.012
17. 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. *Front. Nutr.* (5), 121 p.
18. Hyldgaard, M., Mygind, T., Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix component. *Frontiers in microbiology*. (3), Article 12. 24 p. DOI: 10.3389/fmicb.2012.00012
19. Ibarra, V. G., Sendón, R., de Quirós, A. R. B. (2016). Antimicrobial food packaging based on biodegradable materials. In J. Barros-Velázquez (Ed.), *Antimicrobial food packaging*. San diego, CA: Academic Press, pp. 363–384. DOI:10.1016/B978-0-12-800723-5.00029-2.
20. Joshi, K., Sparks, P., Friedman, M., Olsen, C., McHugh, T., Ravishankar, S. (2021). Effect of Antimicrobial Edible Films on the Sensory and Physical Properties of Organic Spinach in Salad Bags. *Nutr. Food Sci.* (12), pp. 176–193.
21. Khaneghah, A. M., Hashemi, S. M. B., Limbo, S. (2018). Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: an overview of approaches and interactions. *Food Bioprod. Process.* (111), pp. 1–19. DOI:10.1016/j.fbp.2018.05.001
22. LaLonde, T., Bowser, T., Jadeja, R. (2019). Essential Oils as Antimicrobials. *Madridge J. Food Technol.* Vol. 4, pp. 163–169.
23. Nair, M.S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* (164), pp. 304–332.
24. Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., Incenzo De Feo, V. (2013). Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. *Pharmaceuticals*. Vol. 6, pp.1451–1474. DOI:10.3390/ph6121451.
25. Ncube, L.K., Ude, A.U., Ogunmuyiw, E.N., Zulkifli, R., Beas, I.N. (2021). An Overview of Plastic Waste Generation and Management in Food Packaging Industries. *Recycling*. (6), 12 p.
26. Nile, S.H., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., Kai, G. (2020). Nanotechnologies in food science: Applications, recent trends, and future perspectives. *Nano-Micro Lett.* 12 (1), 45 p. DOI:10.1007/s40820-020-0383-9
27. Pereda, M., Marcovich, N. E., Ansorena, M. R. (2019). Nanotechnology in food packaging applications: Barrier materials, antimicrobial agents, sensors, and safety assessment. In L. Martínez, O. Kharissova, B. Kharisov (Eds.), *Handbook of ecomaterials*. pp. 1–22. Cham: Springer. DOI:10.1007/978-3-319-68255-6_30.
28. Punia, S., Chaudhary, V., Thakur, N., Kajla, P., Kumar, M., Trif, M. (2021). Natural Antimicrobials as Additives for Edible Food Packaging Applications: A Review. *Foods*. Vol. 10, 2282 p. DOI:10.3390/foods10102282
29. Ribeiro, A.M., Estevinho, B.N., Rocha, F. (2021). Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food Bioproc. Technol.* Vol. 14, pp. 209–231.
30. Rocha, M., Ferreira, F. A., Souza, M. M., Prentice, C. (2013). Antimicrobial films: a review. In: *Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education*. Ed. A. Méndez-Vilas. pp. 23–31.
31. Socaciu, M.I., Fogarasi, M., Semeniuc, C.A., Socaci, S.A., Rotar, M.A., Muresan, V., Pop, O.L., Vodnar, D.C. (2020). Formulation and Characterization of Antimicrobial Edible Films Based on Whey Protein Isolate and Tarragon Essential Oil. *Polymers*. Vol. 12, 1748 p.
32. Sofi, S. A., Singh, J., Rafiq, S., Ashraf, U., Dar, B. N., Nayik, G. A. (2018). A comprehensive review on antimicrobial packaging and its use in food packaging. *Curr. Nutr. Food Sci.* Vol. 14(4), pp. 305–312. DOI:10.2174/1573401313666170609095732
33. Swamy, M.K., Akhtar, M.S., Sinniah, U.R. (2016). Antimicrobial Properties of Plant Essential Oils against Human Pathogens and Their Mode of Action: An Updated Review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 21 p. DOI:10.1155/2016/3012462
34. Valdés, A., Ramos, M., Beltrán, A., Jiménez, A. Garrigós, M.C. (2017). State of the Art of Antimicrobial Edible Coatings for Food Packaging Applications. *Coatings* Vol. 7(56), 23 p. DOI:10.3390/coatings7040056
35. Vila-Lopez, N., Küster-Boluda, I. (2020). A Bibliometric analysis on packaging research: Towards sustainable and healthy packages. *Br. Food J.* Vol. 123, pp. 684–701.
36. Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and greenbased antimicrobial packaging materials: a mini-review. *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* Vol. 3(1), pp. 27–35. DOI:10.1016/j.aiepr.2019.11.002

Antimicrobial effect of essential oils in content of edible films (review)

Dyman T.

The globalization of food trade, the growing demand for minimally processed, easy-to-prepare, ready-to-eat food, and the proliferation of centralized food processing pose serious problems for food safety. Outbreaks of infectious diseases of alimentary origin stimulate the search for innovative ways to increase the safety and shelf life of ready-to-eat foods. No less important is the problem of solid waste disposal, a significant share of which is food packaging. Therefore, in the last decade, interest in edible films and packaging has increased significantly. Essential oils are natural antibacterial agents that can be successfully used in edible films as a substitute for synthetic compounds. Numerous studies

have shown that antimicrobial films and coatings with the inclusion of essential oils are effective in reducing the level of pathogenic microorganisms such as *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhi*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli O157: H7* and others.

Essential oils have the status of GRAS (Generally Recognized as Safe) registered by the European Commission and the United States. They contain a wide variety of secondary metabolites that are capable of inhibiting or slowing the growth of bacteria, yeasts and moulds. In addition to external application on the surface of food systems, the components of essential

oils can diffuse into food to neutralize the target microorganisms. The article summarizes current information on the sources, properties, limitations and potential application of volatile essential oils and their compounds in edible films and packaging to ensure food safety. Despite the many advantages, the inclusion of these compounds in the composition of edible films requires additional research, in particular to determine the optimal inhibitory concentrations, mechanical and functional properties of the films and so on.

Key words: essential oils, edible films, antibacterial additives, biodegradation, food safety.



Copyright: Димань Т.М. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:
Димань Т.М.

<https://orcid.org/0000-0002-6428-1476>