

ТЕНДЕНЦИИ В ЯДЛИВИТЕ ОПАКОВЪЧНИ ФОЛИА В ХРАНИТЕ



Хранителните опаковки имат основна роля за защитата на хранителните продукти. Традиционно получените от петрол полимери са най-широко използвани като за опаковъчни материали.

Съвременните потребители обаче са по-загрижени за въздействието на тези синтетични полимери върху околната среда и опасностите за здравето. Това налага търсенето на алтернативен опаковъчен материал с уникални биоразградими и възобновяеми характеристики.

Ядивните покрития/филм се считат за решение за замяна на тези пластмаси с естествено налични биомакромолекули, като полизахариди, протеини и липиди. Извършени са огромен брой проучвания по целия свят, за да се изследва пълния потенциал на ядивните филми като хранителни опаковки. Констатациите трябва да бъдат консолидирани за по-нататъшно развитие на тази актуална изследователска област [1].

Въведение

Основните функции на опаковките на храни включват защита на храната, информативност за потребителя и удобство. Напредъкът в индустриализацията води до рязко нарастване на използването на пластмаса за опаковане на храни.

Производството на пластмаса в света е достигнало до 380 милиона тона и е показало рязко увеличение през последните няколко десетилетия, като 40% от произведената пластмаса намира приложение в опаковането. Въпреки, че пластмасата е доста удобна като опаковъчен материал, поради ниската си цена, висока механична якост, удобство при формоване, възможност за топлинно запечатване и ниско тегло, огромната употреба на пластмасов опаковъчен материал може да доведе до неблагоприятни ефекти върху околната среда. Пластмасовите отпадъци практически не се разграждат, а унищожаването на пластмаса чрез изгаряне може да произведе силно токсични газове. По тази причина, пластмасата се счита за най-значимата заплаха за замърсяването на земята.

Нуждата от намирането на алтернативни опаковъчни материали, които осигуряват увеличен срок на годност, с добро качество и по-малко въздействие върху околната среда, са от решаващо значение в индустрията за опаковане на храни.

Ядивните опаковки - традиционно се използват за подобряване на външния вид и консервирането на храните и привличат значително внимание през последните

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56

няколко десетилетия, поради възможността за частично заместване на небioresградимите синтетични опаковъчни материали.

Основната роля на ядивният филм/фолио е контролирането на загубата на влага и намаляването на скоростта на неблагоприятните химически реакции, за да се подобри качеството и безопасността на широка гама от преработени и пресни храни. Включването на различни хранителни добавки като антимикробни средства, антиоксиданти, аромати и оцветители в ядливата филмова матрица допълнително разширява приложенията. Въпреки това, пропускливостта и механичните свойства на ядивният филм не са наравно с конвенционално използваните синтетични пластмасови филми [1].

Ядивните филми са материали, предварително оформени като тънък филм, от който в последствие е произведена опаковка. Ядивните покрития са разтворими състави, нанесени върху хранителни повърхности, така че тънък слой годен за консумация филм се образува директно върху хранителната повърхност или между различни слоеве от компоненти, за да се предотврати миграцията на влага, кислород и разтворени вещества в храната.

Ядивното покритие се дефинира като тънък слой ядивен материал, оформен върху храна, докато ядивният филм е предварително оформен тънък слой ядивен материал, поставен върху или между хранителните компоненти. Ядивните филми са идентифицирани като здравословен източник на защита на храната от различни елементи, тъй като те са естествени, евтини и възобновяеми. [2]

Ядивните опаковъчни материали са естествени полимери, получени от полизахариди, протеини (животински или растителни), липиди или комбинации от тези компоненти. Изследователите са работили непрекъснато през последните три десетилетия, за да разработят годни за консумация филми, които могат да изпълняват функциите на конвенционалните пластмасови филми, за да позволят търговското им приложение.



Приложение на различни видове ядивно фолио в различни храни

- a) Нанокompatитен ядивен филм на базата на соев воден екстракт, приложен като сепаратор за парчета сирене,
- b.) Пюрета от гуава (вляво) и червено цвекло (вдясно) се използват за производството на ядивен филм,
- c.) Ядивен филм на базата на натриев алгинат, нанесен върху парче месо, разтворимо кафе,
- d.) лекарство на прах (напр.), парче сирене.

Ядивни филми на протеинова основа

Ядивните опаковки, съставени от протеини от растителен произход, включват царевичен зеин, пшеничен глутен, соев протеин, фъстъчен протеин, протеин от киноа, сусамов протеин.

Кератинът, протеинът от яйчен белтък, миофибриларният протеин, колагенът, желатинът, казеинът и млечният суроватъчен протеин са филмообразуватели от животински източници. Сред различните ядивните филмови източници материалът на основата на протеини изглежда по-привлекателен, тъй като осигурява и хранителна стойност. В допълнение, ядивните филми на базата на протеини имат относително по-високи механични и газови бариерни свойства с ниски бариерни свойства срещу влага.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



Филмите на основата на протеини са по-добри от липидните и полизахаридните филми. Те имат отлични физични свойства и ефекти на блокиране на газ поради тяхната плътно опакована и подредена мрежова структура с водородни връзки.

Окисляването на липидите е основната причина за влошаване на качеството и срока на годност на храни с високо съдържание на мазнини или пържени храни. Това може да се контролира до известна степен чрез използване на опаковки на базата на протеини, които възпрепятстват проникването на кислород.

Структурата на протеина също играе решаваща роля за пропускливостта на кислорода. Съобщава се, че царевичният зеин, пшеничният глютен, соевият протеин и ядивният филм на базата на суроватъчен протеин имат по-голяма кислородна пропускливост от филмите на основата на колаген, поради глобуларните структурирани протеини. Ядивните филми на базата на протеин могат да се използват и за индивидуално опаковане на малки порции храна, особено продукти, за които индивидуалното опаковане не е практически осъществимо, като бобови и ядки. Могат да се използват както мокри, така и сухи методи за създаване на филм на протеинова основа [1].

Суроватъчен протеин/млечен протеин

Суроватъчният протеин или казеиновият протеин е предпочитан пред общия млечен протеин за образуване на годеи за консумация филм, тъй като последният води до кристализация, поради наличието на лактоза. Ядивните филми могат да бъдат приготвени от фракция на суроватъчен протеин, изолат на суроватъчен протеин (WPI) и концентрат на суроватъчен протеин (WPC) чрез добавяне на различни емулгатори и пластификатори.

Суроватъчният протеинов филм се характеризира с отличните си бариерни свойства за кислород, аромати и масла при условия на ниска до средна относителна влажност. Той също така има необходимите механични свойства за различни приложения, като покриване на храни, разделяне на хранителни слоеве и формиране на торбички. В последно време се извършва добавяне на пробиотици и пребиотици за подобряване на функционалните свойства на филмите на основата на суроватъчен протеин [1].

Протеин от пшеничен глютен

Кохезионността (сила на привличане, на сцепление между молекулите) и еластичността на глутена осигуряват цялост и улесняват образуването на филм. Пшеничният глютен има много добри бариерни свойства за кислород и въглероден диоксид. Способността за образуване на омрежване при нагряване, еластичността му, ниската разтворимост във вода, ниската цена и наличността, дължаща се на това, че е съпътстващ продукт в производството на пшенично нишесте, правят пшеничния глютен предпочитан източник на протеини за годни за консумация опаковки [1].

Соев протеин

Соевият протеинов изолат (SPI) е един от основните източници на протеин за хранителни опаковки, получени от олющени и обезмаслени соеви зърна. Използването на нативен соев протеин е предизвикателство в приложения като годни за консумация опаковки поради неговите структурни характеристики. Въпреки това, модификацията на соевия протеин е възможна с омрежване на протеиновата структура чрез различни методи като денатурация, термична обработка и прилагане на естествени омрежващи агенти. Най-често използваните протеинови омрежващи агенти са алдехидни съединения като глутаралдехид, формалдехид и глиоксал, фенолни и епоксидни

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



съединения. Ядивните филми, базирани на SPI, показват свойства като прозрачност, гъвкавост, ниска пропускливост на кислород. Способността за желиране на SPI го прави удобен при формирането на подходяща матрица за композитни филми с липиди, както и с биоактивни съединения като антиоксиданти и антимикробни агенти [1].

Царевичен зеин

Царевичният зеин е основен протеин, който може да се използва за приготвяне на ядивен филм, ядливо покритие и торбички. Царевичният зеин се извлича от царевичен глутен, страничен продукт от производството на биоетанол, което осигурява изобилна наличност. Добавя се към други филми на базата на протеини и полизахариди, като SPI и глюкоманан, за да подобри бариерните свойства и да действа като завършващ агент чрез придаване на повърхностен блясък.

Образуването на зеиново покритие върху хидрофилни филми на основата на протеини чрез специфичните протеин-протеинови взаимодействия има обещаващ потенциал за подобряване на тяхната бариерна способност. Зеинът съдържа рязко дефинирани хидрофобни и хидрофилни домени на повърхността си и е способен на самосглобяване. Хидрофобното свойство на зеина се дължи на високия дял на неполярни аминокиселинни остатъци, като пролин, левцин и аланин. По този начин зеинът е препоръчан като ядлив филмов матричен материал. [1]

Колаген и желатин

Колагенът е протеин от животински произход, използван в годни за консумация опаковки, набъбва в полярни течности с високи параметри на разтворимост. Проучванията показват, че използването на колагенови обвивки за месни продукти датира от 20-те години на миналия век.

Подобно на колагена, желатинът е животински протеин, получен чрез контролирана хидролиза на влакнестия неразтворим колаген, присъстващ в костите и кожата, генерирани като отпадъчни материали по време на клане и обработка на животни. Желатинът е известен със своите предимства на приложение като добра способност за образуване на филм, добра устойчивост на газове и масла, нетоксичност, ниска цена и биоразградими свойства. В същото време неговите лоши механични свойства, ниска термична стабилност, слаба водоустойчивост и бързо биоразграждане трябва да бъдат подобрени. Това може да се реши чрез образуване на композитен филм с помощта на подходящи материали от нишесте [1].

Други източници на протеини

Изследователите започнаха да проучват използването на протеини от различни източници, за да оценят свойствата им за образуване на ядивен филм. Тези източници се избират или за оползотворяване странични продукти, или поради техните уникални свойства и хранителни стойности.

Фъстъчен протеин и изолат от фъстъчен протеин, протеин от леща, сусам, миофибриларни протеини на рибен мускул, протеин от тиквени семки, от яйчен белтък и оризов протеин също бяха използвани за образуването на ядивен филм.

Основен недостатък на тези протеини е неспособността да образуват правилна филмообразуваща матрица. Това може да бъде преодоляно чрез кръстосано свързване с трансглутаминаза и обработката с ултразвук. Тези източници на протеин се използват директно или при образуването на композитен филм [1].

Ядливни филми на базата на полизахариди

Полизахаридите, а именно целулоза, хемицелулоза, нишесте, пектин и производни на всички тези алгинати, пулудан, хитин и хитозан, се използват интензивно

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56

за приготвяне на ядливи филми и материали за покритие. Ядивните филми на базата на полизахариди имат добре подредена мрежа от водородни връзки, което ги прави ефективни блокери на кислорода. Филмите на основата на полизахариди са по-малко ефективни като бариера срещу влага, поради тяхната хидрофилна природа. Използват се за удължаване на срока на годност на продукта, без да създават анаеробни условия. Обикновено използваните полизахаридни материали за образуване на филм са следните:

Целулоза и нейните производни

Целулозата е най-разпространеният естествен органичен полимер, който може да се използва за приготвяне на ядивен филм. Основно четири вида целулозни производни се използват за ядливи покрития или филми като хидроксипропил метилцелулоза (НРМС; Е464), хидроксипропил целулоза (НРС; Е463), метилцелулоза (МС; Е461) и карбоксиметилцелулоза (СМС; Е466). Покритията на базата на МС създават двупосочна бариера за масла или липиди, и се използват в сладкарството. По същия начин филмът или покритията на базата на НРМС възпрепятстват абсорбцията на масла, и затова се използват за пържени хранителни продукти [1].

Нишесте и модифицирано нишесте

Нишестето е хомо полизахарид, състоящ се от амилоза и амилопектин, използван за разработване на биоразградими филми, тъй като може да образува непрекъсната матрица и е възобновим, и изобилен ресурс. Амилозата обикновено се използва за образуване на филм поради своята висока гъвкавост, ниска пропускливост на кислород и разтворимост във вода. Въпреки това, присъщата хидрофилност на амилозата я прави лоша бариера за водни пари. Следователно, за подобряване на свойствата на ядивния филм на основата на нишесте, е необходима модификация на нишестето [1].

Пектин

Полизахаридът пектин се състои предимно от галактуронова киселина и нейните производни. Тези полизахариди се извличат до голяма степен от цитрусови кори и ябълково къспе. Степента на *естерификация*¹ на пектина с метанол пряко влияе върху способността за желиране и филмообразуване. Пектинът се използва широко за производството на ядивни филми, поради неговата биоразградимост, биосъвместимост, ядливост, разнообразни химични и физични свойства, като селективна газопрпускливост и желиране [1].

Алгинат

Алгинатните полизахариди се изолират главно от кафяви морски водорасли. Колоидната природа на алгината, със сгъстяващи, стабилизиращи, филмообразуващи и суспендиращи свойства, го прави годен за ядивен филмообразуващ материал. Наличието на двете анионни захарни киселини (мануронова киселина и гулууронова киселина) в състава на алгината позволява да свързва двувалентни катиони като Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} и Fe^{+2} . Следователно способността на ядивните филми на базата на алгинати да свързват двувалентни катиони като желиращ агент им придава и други физически свойства, като задържане на влага и цвят. Ядивните филми или покрития на базата на алгинат показват по-малка устойчивост на влага или вода, поради присъщата хидрофилна природа на алгинатите [1].

¹ Пектините се класифицират въз основа на два параметъра: степента на метилова естерификация на карбоксилните групи и разпределението на тези метилови естери по протежение на пектиновата основа. Съотношението на метил-естерифицираните групи на галактуроновата киселина към общите групи на галактуроновата киселина се нарича степен на естерификация (DE).

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



Пулулан

Полизахаридът пулулан се секретира от гъбата *Auerobasidium pullulans*, като защита срещу изсушаване и хищници. Структурата на пулулана главно от малтотриозни единици. Пулуланът действа като съгъстител при образуването на ядливи филми, а покритията на основата на пулулан са полезни за увеличаване на срока на годност на плодовете. Ядливото покритие на базата на пулулана може да бъде подоброено чрез използването на глутатион (редуциращ агент) и хито олигозахарид (антибактериален) в комбинация. Подобно на други полизахариди, пулуланът е хидрофилен по природа, което се отразява негативно на неговата функция като водна бариера и механичните му свойства. Това ограничение може да бъде преодоляно чрез добавяне на липиди и мастни киселини като пчелен восък (BW), палмитинова киселина и олеинова киселина [1].

Хитин и хитозан

Хитинът е основният компонент на клетъчната стена на гъбите и безгръбначните. Ядивните филми на базата на хитозан имат бариерни свойства за кислорода (O₂) и въглеродният диоксид (CO₂), както и притежават присъщи антимикробни свойства. Физикохимичните свойства на ядивните филми или покрития на базата на хитозан варират в зависимост от степента на деацетилиране на хитина. Хитинът се характеризира с отлична биоразградимост, биосъвместимост, антибактериална активност и ниска имуногенност. Хитозановите продукти са силно вискозни, наподобяващи естествени гуми с антимикробни свойства, дължащи се на активни аминокрупи и могат да образуват прозрачни филми за подобряване на качеството и удължаване на живота на хранителните продукти [1].

Ядивните филми на липидна основа

Липидите са съединения с естествен произход от растения, животни и насекоми. Разнообразието от липидните функционални групи се състои от моно-, ди-, триглицериди, фосфолипиди, фосфатиди, терпени, цереброзиди, мастни киселини и мастен алкохол. За разлика от протеините и полизахаридите, липидите сами по себе си не могат да образуват ядивен филм. Въпреки, че са способни да образуват ядивно покритие, липсата на голям брой повтарящи се единици, свързани с ковалентни връзки, предотвратява образуването на самостоятелен филм. Следователно, различни растителни и животински липиди (масла и мазнини) се добавят във филмообразуваща емулсия (FFS) за получаване на ядивния филм, за да придадат повече хидрофобни свойства, поради тяхната ниска полярност.

Маслата и мазнините са химически сходни смеси, където основните компоненти са триглицериди, но се различават по произход и външен вид. Маслата се извличат от растения и течности в природата, докато мазнините произхождат от животни и са твърди на вид при стайна температура. Различни растителни масла (слънчогледово масло, зехтин, рапично масло), восъци на растителна основа (восъци от канделила и захарна тръстика), восъци от животински произход (пчелен восък, ланолин) и синтетични восъци (парафинов восък и петролен восък), се добавят, за да се образува филмообразуващ разтвор.

За придаване на антиоксидантни и антимикробни свойства, етерични масла от много ароматни подправки (карамфил, розмарин, канела, лимон, мащерка, чесън, риган) се добавят към филмообразуващия разтвор по време на процеса на емулгиране. Основният недостатък на липидния филм е неговата крехкост. Освен това филмът е восъчен и мазен по текстура и вкус, което не е желателно за опаковъчния материал в много случаи [1].

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



Композитни ядивни филми

Композитните филми са многокомпонентни системи, в които различни хидрофобни, както и хидрофилни съединения са смесени за постигане на по-добри функционални свойства. Полярните биополимерни ядливи филми, като полизахариди и протеини обикновено показват добри бариерни свойства срещу газове и сравнително добри механични свойства при ниска относителна влажност. Независимо от това, те показват лоши водоизолационни свойства, поради тяхната хидрофилна природа при висока влажност. За разлика от тях, хидрофобните липиди са сравнително ефективни срещу миграцията на влага, но поради тяхната неполимерна природа, те показват лоши механични свойства и са по-лоши от тези на хидроколоидните филми.

Композитните филми се приготвят или под формата на слой, или в емулсия от филмообразуващи материали. Композитните филми, образувани чрез емулгиране на съставките, дават по-добър филм от слоестите, тъй като слоестият филм може да има тенденция да се разслоява с течение на времето и също така изисква по-голям брой процеси на леене и сушене [1].

Ядивни филми на базата на наночастици

През последното десетилетие нанотехнологиите се използват като иновативен подход за получаване на органични и неорганични съединения в наномасщаб с уникални свойства поради техния размер. По дефиниция наноматериалите имат размер на поне една от частиците от около 1-100 nm. Приложението на наноматериали в сектора за опаковане на храни е нововъзникваща област. Включването на наноматериали в матрични полимери се оказва обещаваща стратегия за подобряване на техните физични и механични свойства, което конвенционалните компоненти не могат да постигнат. Освен това може да се използва за синтез на ефективни **активни опаковъчни материали чрез метода на нанокапсулиране на биоактивни природни материали**. Техниката на нанокапсулиране подобрява стабилността и разтворимостта на биоактивните съединения, като по този начин води до образуването на активен филм с по-добра производителност от конвенционалните.

Различни изследователи съобщават за няколко комбинации от биобазирани матрични полимери и наночастици. Прилагането на **нано глина** се използва широко поради способността ѝ да подобрява бариерните и механичните свойства чрез тяхното високо аспектично съотношение и съотношение повърхност/обем.

Şağrı Mehmetoğlu и др. (2021) демонстрира ефекта на **сребърните наночастици** във филми на основата на суроватъчен протеин. Техните открития показват, че добавянето на сребърни наночастици към филм увеличава неговата якост на опън с 84% и неговите бариерни свойства с 67% в сравнение с контролния филм.

По същия начин други **наночастици като цинков оксид, титанов оксид, нано целулоза** и др. са широко използвани в опаковките на храни.

Въпреки това, дали тези наноматериали са безопасни или не, все още е спорен въпрос за научната общност. Наноматериалите могат да имат различни токсични ефекти в зависимост от техния химичен състав, разпределение на размера на частиците, формата на частиците и състоянието на повърхността. Потенциалът за причиняване на оксидативен стрес и, в някои случаи, възпалителни реакции или генотоксични ефекти са най-честите ефекти, наблюдавани в експериментални проучвания. Интензивността на този вреден ефект допълнително зависи от дозата на наноматериала в конкретния FFS. В зависимост от размера варира и способността им да проникват в човешките клетки. **Например 100 nm частици могат лесно да проникнат в клетките, 40 nm могат да влязат в ядрата, а под 35 nm могат да преминат**

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



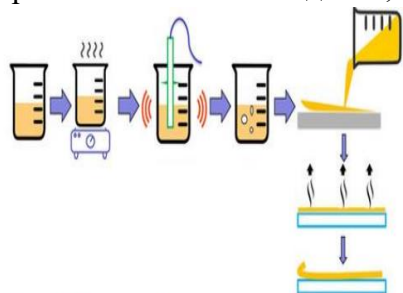
кръвно-мозъчната бариера. Освен това частиците с по-малък размер ще имат по-голяма каталитична способност и техният потенциал за производство на реактивен кислород, скорост на адсорбция и способност за свързване могат да бъдат сравнително по-високи от частиците с по-голям размер. **Надеждни данни за безопасността и токсикологичните ефекти на наночастиците все още не са публично достояние.** Следователно ефектът от тези наночастици върху човешкото здраве и микробиотата на околната среда трябва да бъде проучен подробно, за да се изключи всякакъв неблагоприятен ефект.

Методи за производство на ядивни филми

Ядивният филм може да се приготви чрез използването на два основни метода.

Мокрият процес, известен също като *леене* с разтворител (Фиг.2) е най-преобладаващата техника, използвана при съставянето на годни за консумация филми. По време на процеса биополимерите се разтварят или диспергират в разтвор на водна или алкохолна основа, за да се образува FFS, последвано от изсушаване на разтворителя. Поради своята простота, ядивните филми, приготвени чрез мокър процес, се използват широко в лабораторни условия. Трите основни стъпки, включени в мокрия процес са: разтваряне, отливане и сушене.

При **сухия процес** биополимерите са превърнати във филм чрез използване на термопластичното поведение, проявявано от някои протеини и полизахариди при ниски нива на влага.

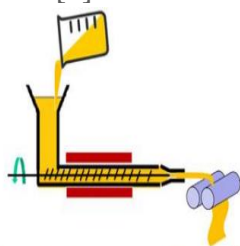


Фиг.2. Производство на ядивни филми по мокрия метод

Сухият процес се класифицира главно като *екструдирани* и *формоване под налягане*. Методът на *екструдирани* е широко използван за комерсиална формулировка на синтетичен пластмасов филм (Фиг. 3), при който филмообразуващата матрица е подложена на структурни промени под въздействието на висока температура, налягане и ниско съдържание на влага. При този метод ядивните биопластични материали първо се превръщат в пелети и се екструдират с

подходящи пластификатори.

При *формоване под налягане* филмообразуващите материали се подлагат на високо налягане и температура във формата до втвърдяване. Филмът, формован чрез компресия, може да има по-голяма дебелина и по-голяма гъвкавост от филма, отлят с разтворител [1].



Фиг. 3. Производство на ядивни филми по сух метод - екструзия

Приложение на ядивните филми за опаковане на храни

Всяка година търсенето на този вид опаковъчен материал се увеличава с 8%. Увеличава се и интересът на потребителите относно зелените опаковки, което предизвиква рязък скок в използването на материали за опаковане на храни на биологична основа за удължаване на срока на годност на различни хранителни продукти [1].

Плодове и зеленчуци

Потребителите винаги предпочитат да избират пресни плодове и зеленчуци, което води до непрекъснатото развитие на усъвършенствани методи, които помагат за

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56

поддържане на качеството и срока на годност на продуктите. Високата влажност и микробното разваляне пресните плодове и зеленчуци продукти силно нетрайни и ограничават възможностите им за съхранение.

Прилагането на подходящи опаковки, като ядливи опаковки, може да увеличи срока на годност чрез създаване на бариера срещу микроби, влага и газове. Докладвани са редица разработки, базирани на приложение на биополимери за покриване на плодове и зеленчуци. Например, филм на основата на хитозан в комбинация с титановият диоксид (TiO₂) е експериментиран за съхранение на грозде; ефектът върху срока на годност на пресни смокини, от прилагането на композитен филм на базата на алгинат, е проучен от Reyes-Avalos et al., (2016); ефектът, върху качеството на сливи след прибиране на реколтата на съдържанието на ядивен филм от хидроксипропил метилцелулоза с пчелен восък, е оценен от Navarro-Tarazaga et al., (2011) [1].

Ядивният филм може да подобри качеството и срока на годност на различни плодове чрез инхибиране на липидното окисление, забавяне на загубата на влага, предотвратяване на обезцветяването и поддържане на външния вид на плодовете. Това се извършва чрез минимизиране на контакта с мръсотия и прах, улавяне на летливи ароматни съединения. Ядивните филми могат да действат и, като носители на хранителни добавки като антимикробни и антиоксидантни агенти.

Ochoa et al. (2011) успешно подобриха качеството и срока на годност на златни ябълки чрез прилагане на ядливи слоеве, състоящи се от естествен восък, извлечен от *Euphorbia antisiphilitica* и мощен антиоксидант 0,01% елагова киселина (EA). Fagundes et al., (2015) оценяват полезните свойства на композитните ядливи филми, формулирани с хидроксипропил метилцелулоза (HPMC), пчелен восък и различни хранителни консерванти, имащи противогъбични свойства, като натриев бензоат, натриев етил парабен и натриев метил парабен, приложени върху чери домати с изкуствено инокулирани гъбички с черни петна *Alternaria alternata* по време на студено съхранение. Ядливите опаковки на базата на натриев бензоат (2%) значително намаляват загубата на тегло, честотата на дишане и поддържат твърдостта на чери домати [1].

Млечни продукти

Млякото и млечните продукти се считат за добър източник на хранителни вещества за както за деца, така и за възрастни. Проучването показва, че опаковането на сирене се счита за една от потенциалните области на приложение на ядивния филм. Установено е, че опаковката, особено с антимикробен филм на сиренето, оказва значително влияние върху срока на годност.

Fajardo et al. (2010) оценяват ефикасността на филма на основата на хитозан, като носител на натамицин² за подобряване на стабилността при съхранение на сиренето Saloio и отбелязват, че продуктът е защитен до седем дни на съхранение от факторите на околната среда.

Mañsene и др. (2020) оцениха консервиращия ефект на ядивния филм на базата на натриев алгинат, с включено етерично масло, върху домашно приготвено сирене, и заключиха, че ядливата опаковка е ефективен метод за консервиране на сиренето [1].

Месо и месни продукти

Месото и месните продукти се считат за предпочитана храна сред потребителите, поради техния уникален вкус и хранителни предимства. Месото е силно податливо на разваляне, поради микробни и химични промени, затова неговата

² Натамицинът е полиенов противогъбичен антибиотик, активен срещу *Candida spp.*, *Fusarium spp.* и някои представители на *Trichomonas spp.* Използва се за лечение на гъбични инфекции в медицината и като консервант в хранителната индустрия.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



консервация изисква специално внимание. Появиха се разширени технологии, като интелигентно и антиминобно опаковане.

Концепцията за ядливи опаковки набира голяма популярност при месото и месните продукти, поради значителната си роля за подобряване на физикохимичните и органолептични свойства.

През последните години етеричните масла се използват все по-широко в ядивни филми, поради техните антиоксидантни и антиминобни свойства. Например, етеричното масло от ферулаго ангулат (FAEO) (0,05%), включено във филм на базата на желатин и хитозан, инхибира растежа на микробите и подобрява срока на годност на пуешкото месо [1].

Морски дарове

Морските дарове, риба и рибни продукти, обикновено имат ограничен срок на годност поради бързия растеж на микроби, което може да представлява заплаха за здравето на потребителите, както и да доведе до икономически загуби. През последните години концепцията за ядливи опаковки се развива като ефективна стратегия за подобряване на стабилността на съхранение на рибата.

Ядивният филм, който е предимно на основата на хитозан-желатин, ефективно запазва желаното качество, удължава срока на годност и подобрява текстурата и цвета на морските и месните продукти чрез намаляване на развалянето, намаляване на натрупването на летливи съединения и окислителни вещества, и минимизиране на загубата на тегло. Castro et al., (2019) провери потенциала на филма от суроватъчен протеинов концентрат в комбинация с екстракт от зелен чай, приложен върху прясна сьомга и установи, че тяхната комбинация ефективно забавя липидното окисляване на прясната сьомга до четиринадесетте дни на съхранение. Включването на етерични масла в ядивни филми, поради тяхната антиоксидантна и антиминобна активност е все по-често срещано през последните няколко години [1].

Безопасност и регулиране на ядивни филми

Изискванията относно безопасността на храните варират в различните страни. Съгласно разпоредбите на ЕС и САЩ, ядивният филм и покритие могат да се считат за хранителни съставки, добавки, материали в контакт с храната или опаковъчни материали. В резултат на това съставките, използвани за формулирането му, трябва да имат статут на общо препоръчани като безопасни (GRAS), съгласно разпоредбите на регламента на Администрацията по храните и лекарствата (FDA). **Въпреки това, има възможност за трансформиране на FFS в токсични вещества поради промени, които настъпват по време на процеса на разработване на филма. Различни омрежващи агенти, използвани за подобряване на свойствата на филма и взаимодействие със стомашно-чревни вещества, също могат да предизвикат образуването на токсични съединения.**

В едно проучване (Roşu et al., 2017) е изследван цитотоксичният ефект на графеновия оксид и неговите производни в базирания на метилцелулоза филм върху човешки бели дробове и е докладвана по-ниска токсичност за редуцирания графенов оксид в сравнение с нередуцирания.

Ефектът от техниките за модифициране и подбора на съставки играе критична роля за безопасността на ядивният филм, но те рядко се докладват в проучванията. **Освен това, добавянето на наноматериали във филма може да причини няколко токсикологични ефекта върху човешкото тяло. Понастоящем няма специфично законодателство за използването на наноматериали в опаковките на храни и препоръките се различават в различните държави:**

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56



- Съгласно насоките на Института по хранителни науки и технологии (IFST) в Обединеното кралство, **наноматериалите трябва да се считат за опасни, освен ако не е налице изрично доказателство за безопасност** (Jeevahan et al., 2020).
 - Съгласно законодателството на ЕС и Швейцария трябва да се изготви информация за риска от наноматериали и/или правно обвързващи определения за наноматериали.
 - **Етикетирането на наличието на наноматериали** в конкретен филм е от решаващо значение за съобщаването на рисковите елементи на потребителите.
- В дефинициите на ЕС размерът се използва като идентификатор за наноматериали за регулаторни цели (Bizymis & Tzia, 2021).
- Агенцията за контрол на храните и лекарствата на САЩ (USFDA) публикува списък с хранителни съставки и контактни вещества и съветва производителите да проучат и разработят токсикологичен профил за всеки наноматериал (USFDA 2014).

Повечето държави в момента нямат никакви разпоредби за използването на нанотехнологиите. Повече изследвания върху токсикологичните ефекти на наноматериалите могат да помогнат за формулирането на изисквания и нива на безопасност, и разпоредби за приложението им. [1].

Последни тенденции, предизвикателства и бъдещи перспективи в производството на ядивните филми

Изследователските проекти за разработване на ядивни филми интензивно се развиват с добавяне на нови суровини за образуване на филм, активно разработване на опаковки, нанотехнологични приложения. Всички тези усилия са насочени към разработване на биополимери със свойства, подобни на конвенционалните синтетични полимери и тяхното икономично производство чрез използване на селскостопански вторични продукти.

Разработването на активни филми е основен фокус в изследванията на опаковките през последните десетилетия, което позволява удължаване на срока на годност на нетрайни плодове и зеленчуци, чрез добавяне на различни антимицробни и антиоксидантни компоненти в тяхната основна полимерна матрица.

Активните ядливи филми имат активно взаимодействие със съдържащата се храна и могат да имат някои полезни ефекти за здравето на потребителите. Например, Orozco-Parra et al. (2020) разработиха синбиотичен филм от нишесте от маниока с включване на инсулин като пребиотична молекула и *L.casei* като пробиотична бактерия. При изследването, симулиращо условията в стомаха, разработеният филм показва намалена загуба на жизнеспособност на пробиотичните бактерии.

През последните години ядивните филми, базирани на странични продукти от хранително-вкусовата промишленост (ХВП) набират популярност. Това позволява ополотворяването на промишлените странични продукти, а ниската им цена помага за икономичното разработване на ядивни филми. Страничните продукти от преработката на плодове и зеленчуци, преработката на морски храни и преработката на хранителни масла показва обещаващ потенциал за производството на ядивни филми.

Въпреки всички предимства, на ядивните филми, подобно на всички други новоразработени технологии, те също са изправени пред големи предизвикателства, които трябва да бъдат преодоляни, за да постигнат търговски успех. Въпреки, че се експериментират редица начини за подобряване на свойствата на филмите, за да се изравнят с полимерите на петролна основа, **лошите механични свойства, слабата устойчивост на вода и газове**, и недостатъчната физична устойчивост са препятствието за използването на ядливите филми в различни хранителни приложения. Провеждат се

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
 тел. 02/ 427 30 56



изследвания за справяне с тези предизвикателства чрез разработване на композитни филми и нанокompозитни филми. Производството на композитен многослоен филм има тенденция да се проваля, поради разслояване на слоевете, а времето, енергията и разходите за образуването на многослойния филм са високи.

Друго важно свойство на ядивните филми е тяхната способност под въздействие на топлина да се слепват и запечатват. Диапазонът на оптималната температура на запечатване е тесен за филми на биологична основа, така, че, шансовете да не се залепят или да се стопят и овъглят, поради прегряване са по-високи за тези филми. Това се отразява негативно на приложенията на филма при изработването на торбички и капаци. Основната причина, ограничаваща търговското приложение на ядивните филми, е невъзможността да се направят филми с големи размери (>25 cm), трудностите при поддържане на дебелината и необходимостта от дълго време за сушене (2-3 дни).

Прилагането на **нанотехнологиите** е разрастваща се тенденция при производството на ядивни филми. Практическите трудности при изолирането и хомогенната дисперсия на наноматериалите в матричните полимери и икономическите аспекти продължават да създават предизвикателства за производството им. Освен това **липсата на информация за токсикологичния ефект на наноматериалите и другите филмообразуващи компоненти поражда страх и нежелание у потребителите.**

Докладвани са само ограничени проучвания за оценката на това как стареенето на филма влияе върху неговите свойства. Тъй като основното предназначение на опаковъчния материал е в него да се съхрани храната и да се удължи нейния срок на годност, този фактор трябва да се вземе предвид.

Сред докладваните изследвания върху ядивните филми акцентът върху органолептичния анализ е сравнително нисък. Органолептичните характеристики на фолиото са първият и най-важен фактор, който решава приемането на ядивното опаковъчно фолио. В крайна сметка приемането от страна на потребителите е единственият решаващ фактор при промяната на концепцията за опаковане на храните. За постигане на търговски успех е необходимо пълно проучване и документация (с правно потвърждение), за да се докаже биоразградимостта, органолептичните качества, безопасността и сигурността на ядивните филми. За да се преодолеят тези предизвикателства, значителни изследователски усилия трябва да се концентрират върху следните основни аспекти:

- Необходимо е да се извърши подробно токсикологично изследване на филмообразуващите компоненти с акцент върху наночастиците.
- Трябва да се разработи метод за производство на ядивен филм с постоянни свойства.
- Промяната в свойствата на ядивно фолио по време на стареене и при различни условия на температура и относителна влажност също е от съществено значение за потвърждаване на неговата полезност при съхранение на храни.
- Програмите за информиране на потребителите и рекламите на годни за консумация филми също могат да повишат тяхната приемливост [1].
- От изключителна важност е да се въведат правни изисквания към ядивните фолия и опаковки със стриктни изисквания за етикетиране на съставките на опаковката, така че да се даде максимално подробна информация на потребителите за техния информиран избор.

7. Заключение

Ядивните филми са идентифицирани като здравословен източник на защита на храната от различни елементи, тъй като те са естествени, евтини и възобновяеми. Възможността за включване на функционални съставки и отличната биоразградимост допълнително подчертават привлекателността на този начин на опаковане на храни.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg

тел. 02/ 427 30 56



Проведени са обширни изследвания, за да се определи най-добрият резултат и да се сведат до минимум недостатъците с нови концепции, като подхода на композитен филм и приложение на нанотехнологии. Повече изследвания върху важни аспекти, като безопасност и регулиране, проучване на нови и икономически източници и търговско разширяване чрез непрекъснато производство, са от съществено значение за успешното му приложение [1].

Годните за консумация филми имат голям потенциал за приложение в ХВП, но все още са необходими повече изследвания, за да станат привлекателни за пазара. Важно е да стане ясно, че не се очаква ядивните и биоразградимите филми и покрития да заменят напълно конвенционалните опаковъчни материали. Те могат да увеличат стабилността на храната чрез намаляване на обмена на влага, газове, мазнини и летливи вещества между храната и околната среда. Като предотвратяват повърхностното замърсяване, спомагат за подобряване на ефективността на опаковките на храни и по този начин предлагат допълнителен ефект спрямо намаляването на изискванията за полимери, получени от петрол [2].

Надеждни данни за безопасността и токсикологичните ефекти на наночастиците, влагани в ядивните филми все още не са публично достояние. Следователно ефектът от тези наночастици върху човешкото здраве и микробиотата на околната среда трябва да бъде проучен подробно, за да се изключи всякакъв неблагоприятен ефект [1] и използването им да бъде правно регламентирано със съответните изисквания, нива на безопасност и етикетирание, а дотогава следва да се подхожда с резерви и особено внимание.



Други информации в областта на материали в контакт с храни, ензими и ароматизанти могат да бъдат намерени на интернет страницата на ЦОРХВ: <http://corhv.government.bg/?cat=35>

Източник:

[1]. Ajesh Kumar V, Muzaffar Hasan, Shukadev Mangaraj, Pravitha M, Deepak Kumar Verma, Prem Prakash Srivastav, Trends in Edible Packaging Films and its Prospective Future in Food: A Review, Applied Food Research, Volume 2, Issue 1, 2022, 100118, ISSN 2772-5022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502222000786?via%3Dihub#bib0148>

[2]. Ядивни филми - производство и приложение, проф. д-р инж. Стефан Стефанов; Университет по хранителни технологии -Пловдив; Сборник доклади Научно-техническа конференция „Опаковки – тенденции в развитието и приложението“, 30 септември 2022 година, Пловдив ISSN 2603 – 4743; https://hst.bg/Sbornik_opakovki_rendencii_v_razvitiето_i_prilojenieto_2022.pdf

Изготвил:

инж. Светлин Стефанов, младши експерт,
Дирекция ОРХВ, ЦОРХВ
14.03.2023 г.

Amber Green White

гр. София, 1618, бул. "Цар Борис III" № 136
<https://corhv.government.bg>, corhv@mzh.government.bg
тел. 02/ 427 30 56

