

УДК: 664.1+678

М.О. ПОЛУМБРИК, канд. техн. наук
Національний університет харчових технологій

НАНОТЕХНОЛОГІЇ В ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ

В статті проаналізовані основні галузі застосування нанотехнологій в харчових продуктах, зокрема в технології пакувальних матеріалів, наноліпосомах та наносенсорів. Показано, що присутність наноматеріалів суттєво поліпшує властивості упаковки, полегшує контроль якості готових виробів, сприяє збереженню активних компонентів продуктів всередині харчової матриці.

Ключові слова: нанотехнології, пакувальні матеріальні, ліпосоми, наносенсори, наноконсоли

В статье проанализированы основные области использования нанотехнологий в пищевых продуктах, в частности в технологии упаковочных материалов, нанолипосомах и наносенсорах. Показано, что их присутствие значительно улучшает свойства упаковочных материалов и контроль качества готовых изделий, способствует сохранению активных компонентов продуктов в пищевой матрице.

Ключевые слова: нанотехнологии, упаковочные материалы, липосоми, наносенсоры, наноконсоли

The main applications of food nanotechnologies including packaging materials, nanosensors and nanoliposomes were analyzed. It has been shown that nanomaterials essentially improved barrier properties of packaging materials and help control and maintain food quality and also preserve active compounds in food matrix.

Keywords: nanotechnologies, packaging materials, liposomes, nanosensors, nanocantilever

Нанотехнології — широкий термін, який використовують для опису сукупності процесів, матеріалів, а також застосувань, які охоплюють хімію, фізику, біологію і інженерію. Всі вони включають маніпулювання об'єктами з розмірами в межах нанометричної шкали. Наноматеріали характеризуються наявністю одного чи декількох внутрішніх розмірів в межах наношкали (1...100 нм), або які є наноструктурованими. Матеріали, в яких всі три внутрішні розміри знаходяться в межах наношкали, класифікуються як наночастинки [1]. Наноматеріали можуть існувати у різних формах, зокрема у вигляді нанотрубок, які мають два внутрішніх розміри в межах наношкали, і нанопилюшки, які мають лише один розмір в межах від 1 до 100 нм. Слід зазначити, що більшість наноматеріалів, які використовують в харчових продуктах, займають проміжне положення між нано- і мікроструктурами. Так, діаметр ДНК складає 12 нм, ліпосом 30...10000 нм, амілопектину 44...200 нм, кубосомів 500 нм, наносенсорів < 1000 нм [1,2].

Нанотехнології потенційно можуть впливати на багато аспектів технологій харчових продуктів. Безпека і якість продуктів харчування; засоби доставки біологічно активних компонентів; нові матеріали для детектування патогенів і захист навколишнього середовища є основними напрямками застосування наноматеріалів у харчових продуктах [1—3].

Нанотехнології у пакувальних матеріалах

Наноконсолі застосовують для посилення бар'єрних властивостей пакувальних матеріалів. Полімерні плівки металізують за допомогою алюмінію в якості бар'єрів для газу і світла вже протягом десятиліть. Крім того, наночастинки таких оксидів як TiO_2 , SiO_2 , ZnO ,

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Al_2O_3 включають до складу полімерних плівок з метою гальмування їхнього фотолітичного розкладу. Деякі наночастинки, наприклад наносрібло, завдяки біоцидним і біостатичним властивостям наносять на поверхню плівок.

Найбільший інтерес представляє застосування нанотехнологій в пакувальних матеріалах, здатних розкладатись біологічним шляхом. Біонаноккомпозити — гібридні наноструктуровані матеріали з поліпшеними механічними, термічними і бар'єрними властивостями. Застосування таких наноматеріалів не тільки сприяє збереженню харчових продуктів і подовженню терміну їх придатності, але й захищає навколишнє середовище шляхом заміни полімерних пластикових матеріалів. Три типи сполук використовують для отримання біонаноккомпозитів, а саме: 1) природний полімер (крохмаль, целюлоза, полімолочна кислота, желатин, колаген, хітозан); 2) неорганічні глини (монтморилоніт, клоїзит); 3) пластифікатор (гліцерол, рослинні олії, триетилцитрат). Із розвитком нанотехнологій ефективних упаковок з'являються їх нові функціональні властивості, такі як антимікробіологічна активність пакувальних матеріалів, здатних розкладатись біологічним шляхом [1, 3].

Наноматеріали використовують в активному пакуванні, яке передбачає поглинання або сприяння утворенню певних хімічних сполук. Так в якості кисневих пасток застосовують наночастинки металів, насамперед заліза і їх оксидів, полімерні смоли, здатні до швидкого окиснення, а також низькомолекулярні органічні сполуки, такі як аскорбінова кислота [1].

Нанотехнології є важливими у так званому «розумному пакуванні», метою якого є контроль якості упакованих продуктів. Воно базується на здатності індикаторних наносполук реагувати з хімічними речовинами, які утворюються внаслідок окиснення чи мікробіологічного псування харчових продуктів. Наприклад, під час зберігання упакованого м'яса птиці внаслідок мікробіологічного псування накопичується гідрогенсульфід H_2S , який реагує з тонким шаром наносрібла. Останній має світло-коричневий колір, але при поступовому утворенню Ag_2S , колір шару наносрібла поступово змінюється до прозорого. Для контролю за вмістом кисню всередині упаковки застосовують світлочутливі наночастинки [1].

Наноліпосоми

В якості носія біологічно активних речовин одними з найбільш перспективних є ліпосоми. Коли молекули амфільних (мають як гідрофільну, так і гідрофобну природу) сполук, наприклад фосфоліпіди потрапляють у водне середовище, вони в певних умовах можуть утворювати везикули фосфоліпідних бішарів — наноліпосоми (ліпосоми, рис. 1). Під час утворення цих композицій гідрофільні сполуки можуть проникати всередину ліпосом [4]. Ліпофільні сполуки, такі як деякі вітаміни і харчові добавки, можуть включатись у бішари при їх розчиненні разом з ліпідами.

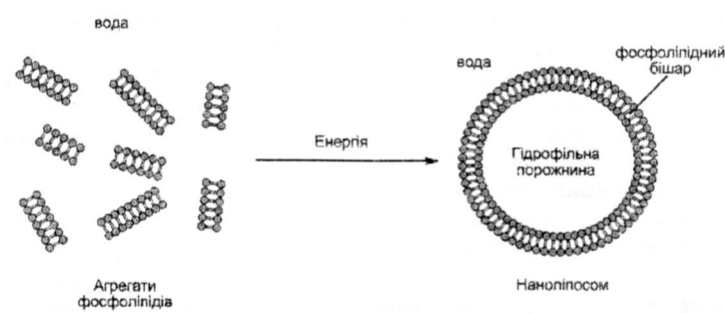


Рис. 1. Спрощений механізм утворення ліпосом

Зважаючи на позитивний досвід застосування ліпосом у медичній і фармацевтичній галузях (доставка ліків, терапія онкозахворювань, генна терапія тощо) [5], спеціалісти в галузі харчових технологій почали використовувати ліпосоми для контрольованого введення функціональних компонентів, таких як пептиди, ензими, вітаміни і ароматизатори у різні харчові продукти.

Одним з перших використань ліпосомів у харчових продуктах була технологія сиру [4]. Інкапсуляція ензимів, джерелом яких є мікроорганізми *Lactococcus lactis*, за допомогою молочних жирів дозволила значно поглибити смакові якості сиру за рахунок збільшення

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

концентрації речовин, які формують смакові якості — діацетилю та ацетоїну у 8 разів при обробці сиру за температури 30—33 °С. Проте, при підвищенні температури до 35 °С мікрокапсули руйнуються, наслідком чого є суттєве зниження кількості сполук, які формують смакові якості сиру [4]. Альтернативним методом інкапсуляції ензимів є використання ліпідних везикул у формі ліпосом чи наноліпосом [4].

Відомо, що додавання протеаз, які містяться всередині багатошарових везикул, до сирної маси інгібує швидкий протеоліз β-казеїну, сприяючи зростанню твердості сиру після завершення ферментації і підтримуючи його структуру шляхом попередження дії ензимів. Подібні результати були отримані при дослідженні активності протеаз, інкапсульованих в ліпосомах під час процесів заморожування-розморожування [4]. Ензими у ліпосомах звичайно орієнтуються між ліпідними бішарами, і, таким чином, дифундують більш швидко, ніж ті, що знаходяться у гідрофільному просторі. Більшість ліпідних везикул з'єднуються з мембранами жирів молока, деякі залишаються у сироватці, в той час як окремі негативно заряджені везикули зв'язуються з казеїном. Ліпосоми, які розміщені близько до глобул жирів молока, з часом взаємодіють з мембраною, дестабілізуючи її, а ті ліпосоми, що знаходяться в сироватці агрегуються з утворенням великих везикул [4].

Ліпосоми також застосовують для інкапсуляції ліпаз. Вони сприяють зниженню твердості сиру Чедер, підвищуючи його когезивність і еластичність. Оптимізація основних параметрів ліпосом, таких як їх тип, склад мембран, концентрація інкапсульованого ензиму, дозволяє виготовляти сир з відмінними текстурою і смаковими характеристиками при скороченні тривалості виробництва наполовину і зменшенні кількості використаних ензимів у 100 разів [4].

Крім здатності істотно знижувати тривалість виготовлення сирів, ліпосоми використовують для збагачення продуктів вітамінами і, таким чином, підвищення їх харчової цінності. Зокрема, інкапсуляція в ліпосомах гальмує розклад вітамінів. Так, у сирі, виготовленому з включенням вітамінів у ліпосоми, кількість корисного вітаміну D на 30 %-ків є більшою, ніж при збагаченні виробів за стандартною процедурою [4].

Іншою важливою галуззю застосування ліпосомів є захист консервантів. Прикладом є їх використання в технології таких сирів як Гауда, Емменталь та Едем [4,7]. Ці сири мають підвищену тенденцію до росту патогенних і гнильних мікроорганізмів, включаючи спороутворюючі бактерії. Таке псування пригнічується шляхом додавання ензиму лісозим, який має білкову природу. Недоліком його при використанні у молочних виробках вважається приєднання до казеїну, що знижує ефективність лісозиму. Інкапсуляція його у наноліпосоми дозволяє цього уникнути [7].

Таким чином, використання наноліпосом в харчових технологіях — зручний і безпечний спосіб забезпечення стабільності чутливих біологічно активних компонентів і харчових добавок.

Наносенсиори

Крім пакування та біодоставки нанотехнології також застосовують для контролю якості харчових продуктів. Сполуки, які утворюються під час псування харчових продуктів, можна визначити за допомогою наносенсорів. Наприклад, при контакті з харчовими патогенами вони викликають специфічну флуоресценцію [1, 2]. Основним завданням наносенсорів є зниження часу, необхідного для детектування патогенів, з декількох днів до кількох годин чи, навіть хвилин. Такі наносенсиори включають, наприклад, до складу пакувальних матеріалів, де вони слугують в якості «електронного носу», який здатен детектувати хімічні сполуки, які утворюються внаслідок псування харчових продуктів. Цей аналітичний метод використовують, зокрема, для розрізнення різних сортів вина [8]. Інші типи наносенсорів базуються на мікрогідродинамічних пристроях і використовуються для ефективного визначення патогенів в реальному часі і з високою точністю [2].

Іншим класом біологічних сенсорів вважають наноконсолі. Їх детекторний принцип полягає у здатності визначати фізичний чи електромеханічний сигнал біологічно-зв'язуючих взаємодій, зокрема між антигеном і антитілами, ензимом та субстратом чи кофактором і рецептором або лігандом. Наноконсолі містять тонкий шар кремнієвого матеріалу, який має здатність розпізнавати білки і детектувати патогенні бактерії і віруси. Визначення патогенів базується на їх здатності вібрувати на різних частотах, залежно від біомаси патогенних організмів [2].

Наноконсолі можна модифікувати шляхом приєднання антитіл до кремнієвої поверхні, наслідком чого є зміна резонансної частоти вібрування залежно від приєднаної маси. Гфелер та ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ № 10, 2011

ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

співр. детектували мікроорганізми *Escherichia coli*, які є індикатором фекального забруднення води і харчових продуктів, за допомогою консольного сенсора, покритого шаром полісахариду агарози (рис. 2) [9]. Відносний вміст води шару агарози і вологого середовища знаходяться в рівновазі (рис. 2 а). Із збільшенням концентрації мікроорганізмів на поверхні поживного шару агарози, остання для відновлення рівноваги поглинає пари води із вологого середовища, що приводить зміни маси, і, таким чином, характеристичної частоти вібрації консолі (рис. 2 б).

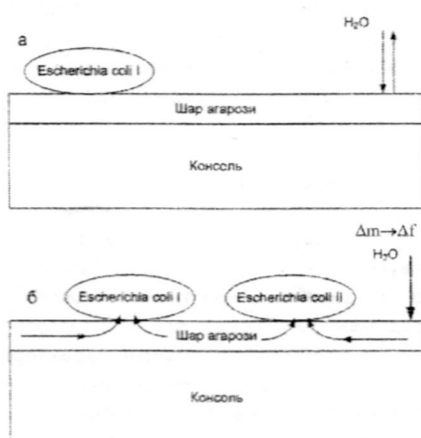


Рис. 2. Схематичне уявлення про функціонування наноконсольного сенсора. Передруковано з [12]

Таким чином, використання нанотехнологій у пакувальних матеріалах привело до революції у цьому секторі. З'явилися нові типи пакування, такі як активне та «розумне» пакування. На долю пакувальних матеріалів приходить більше половини від загальної частки нанотехнологій в харчових продуктах. В найближчому майбутньому слід очікувати інтенсивного застосування наноліпосомів та інших засобів біодоставки і збереження активних компонентів не лише в технології молочних продуктів, а й інших галузях промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Chaudhry Q., Castle P., Watkins R. Nanotechnology in food. 2010. RSC Publishing. — 300 p.
2. Sozer N., Kokini J.L. Nanotechnology and its applications in the food sector // *Trends Biotechnol.* 2009. v. 27, p. 82—89.
3. М.О. Полумбрик. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини. К.: Академперіодика. 2011. — 487 с.
4. Mozafari M.R., Johnson C., Hatziantoniou S. et. al. Nanoliposomes and their applications in food nanotechnology // *J. Liposom. Res.* 2008. v. 18, p. 309-327.
5. Gregoriadis G., Bacon A., Caparros-Wanderley W. et. al. Plasmid DNA vaccines: entrapment into liposomes by dehydration-rehydration // *Meth. Enzymol.* 2003. v. 367, p. 70-80.
6. Thompson A.K. Liposomes: from concepts to applications // *Food N.Z.* 2003. v. 13, p. s23-S32.
7. Benech R.O., Kheadr E.E., Laridi R. et. al. Inhibition of *Listeria innocua* in cheddar cheese by addition of nisin Z in liposomes or by in situ production in mixed culture // *Appl. Environ. Microbiol.* 2002. v. 68, p. 3683-3690.
8. Garcia M., Aleixandre M., Gutierrez J. et al. Electronic nose for wine discrimination // *Sensors Actuat. B.* 2006. v. 113, p. 911—916.
9. Gfeller K.Y., Nugaeva N., Hegner M. Micromechanical oscillators as rapid biosensor for the detection of active growth of *Escherichia coli* // *Biosens. Bioelectron.* 2005. v. 21, p. 528—533.

Одержана редколлегією 25.03.2011 р.