

Savremeni procesi inkapsulacije u tehnologiji hrane

Steva Lević¹,
Ana Kalušević¹,
Verica Đorđević²,
Branko Bugarski²,
Viktor Nedović¹

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet
²Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Rad primljen: 06.04.2014.

Kontakt adresa:

Viktor Nedović
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet
Nemanjina 6, 11080, Zemun
tel: 011/2615315
e-mail: vnedovic@agrif.bg.ac.rs

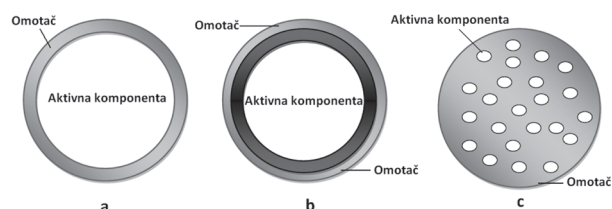
Kratak sadržaj: *Procesi inkapsulacije su intenzivno izučavani poslednjih godina kao moguća alternativa konvencionalnim tehnologijama u proizvodnji hrane. Inkapsulacija aktivnih komponenti hrane se bazira na formiranju omotača (ili više slojeva omotača) oko aktivne komponente korišćenjem odgovarajuće metode inkapsulacije. Uloga zaštitnog omotača je, s jedne strane da spreči degradaciju aktivne komponente, a sa druge strane da omogući kontrolisano otpuštanje zaštićenih komponenti pod određenim uslovima. Moderna proizvodnja hrane nudi brojna rešenja za inkapsulaciju komponenti hrane, biljnih ekstrakata, ćelija mikroorganizama, itd. Takođe, postoji veliki broj dostupnih materijala nosača koji mogu da zadovolje specifične zahteve. Inkapsulacija je složen proces i primena inkapsulacionih tehnika u proizvodnji hrane zahteva znanje iz različitih oblasti nauke. Cilj ovog rada je da objedini različita iskustva iz inkapsulacionih procesa koji se već koriste u prehrambenoj tehnologiji, kao i onih procesa koji su još u fazi razvoja. Ovaj rad daje analizu i dosadašnja iskustva u oblasti inkapsulacije za potrebe industrije hrane. Data je analiza nekoliko inkapsulacionih procedura kao što su sprej sušenje, oblaganje u fluidizovanom sloju, inkapsulacija u polimernim česticama, koacervacija i inkapsulacija u ciklodekstrine.*

Ključne reči: inkapsulacija, prehrambena tehnologija, hrana, zaštitni omotač, fermentacija.

UVOD

Inkapsulacija je postupak zaštite aktivnih komponenti fizičkim ili hemijskim procesima pri čemu se formira zaštitni omotač. Na ovaj način se aktivna supstanca fizički odvađa od okolne sredine stvaranjem zaštitnog omotača. Često se u literaturi zaštitni omotač naziva i nosačem aktivne komponente. Aktivne komponente mogu biti, kako hemijske materije (npr. arome i vitamini), tako i ćelije mikroorganizama ili pak enzimi [1]. Kao krajnji proizvod inkapsulacije se dobija sistem aktivna komponenta/nosač koji se još naziva i inkapsulat. Sama inkapsulacija predstavlja složen proces koji se sastoji iz pripremne faze (mešanja aktivne komponente sa nosačem), same inkapsulacije tj. dobijanja željenog oblika i dimenzija čestica i eventualno dorade ovako dobijenih proizvoda. Primenom različitih procesa inkapsulacije kao i odabirom odgovarajućih nosača mogu se dobiti čestice sa inkapsulisanim aktivnom materijom čije dimenzije mogu biti u opsegu od nekoliko nanometara do nekoliko milimetara [1,2,3].

Različitim procesima inkapsulacije se mogu dobiti dva tipa čestica: „matriks“ i „rezervoar“ tip (Slika 1). Kao što se može videti, kod „rezervoar“ čestica omotač se nalazi oko aktivne materije (Slika 1a,b), dok je kod „matriks“ tipa čestica aktivna komponenta dispergovana u samom materijalu omotača (Slika 1c). Ukoliko postoji potreba, čestice se mogu dodatno zaštititi nanošenjem dodatnog sloja nosača na već formiranu česticu inkapsulata (Slika 1b). Važno je napomenuti da se procesima inkapsulacije pored sfernog oblika mogu dobiti inkapsulati cilindričnog oblika, ili pak agregati koji se sastoje iz manjih čestica [1].



Slika 1. Osnovni tipovi čestica dobijenih inkapsulacijom. a-b) „rezervoar“ tip čestice; c) „matriks“ tip čestice [1]

Razlozi za uvođenje inkapsulacije u procese proizvodnje hrane su:

1. Zaštita aktivne komponente od nepovoljnih uslova sredine (negativni uticaj kiseonika, povišene temperature, povišene vlažnosti, ali i sprečavanje kontakta sa drugim sastojcima u proizvodu;
2. Olakšano rukovanje inkapsulisanim aktivnom komponentom;
3. Poboljšana bezbednost pri radu sa aktivnim materijama;
4. Stvaranje određenih vizuelnih i teksturnih efekata;
5. Kontrolisano otpuštanje aktivne komponente;
6. Maskiranje neželjenih senzornih svojstava aktivne komponente.

Treba napomenuti da pri uvođenju inkapsulacije u proizvodni proces posebnu pažnju treba obratiti na cenu uvođenja inkapsulacionih tehnologija. Naime, uvođenje inkapsulacione tehnologije predstavlja dodatni trošak, a u isto vreme dovodi i do usložnjavanja samog proizvodnog procesa [1].

Materijali za inkapsulaciju

Svojstva dobijenih inkapsulata su određena s jedne strane tehnikom inkapsulacije i svojstvima aktivne supstance koja se inkapsulira. S druge strane, na svojstva inkapsulata i pre svega efekte same inkapsulacije odlučujući uticaj ima izbor materijala nosača. U prehrambenoj industriji se koriste različiti materijali za inkapsulaciju aktivnih materija. Izbor materijala nosača zavisi od tehnike inkapsulacije, svojstava aktivne materije, primene inkapsulata i zakonske regulative [1,4]. U Tabeli 1 je dat pregled (prema poreklu) nekih od najvažnijih materijala koji se koriste kao nosači za inkapsulaciju u biotehnologiji.

Neki materijali poput polisaharida su pogodni za dobijanje inkapsulata ekstruzionim procesima [5,6], dok drugi materijali, poput voskova, su pogodniji za dobijanje čestica metodom emulzifikacije [7]. Sintetički materijali, kao na primer polivinil alkohol, su pak pogodni za dobijanje filmova sa inkapsulisanim aktivnom materijom, uz istovremeno postizanje željenih termičkih svojstava inkapsulisane aktivne komponente [8]. Ukoliko je potrebno dobiti određena tj. specifična svojstva inkapsulata, moguće je kombinovati sintetičke i prirodne materijale [9,10]. Sintetički materijali su pokazali dobra svojstva i kada je u pitanju inkapsulacija mikroorganizama [11].

Tehnike inkapsulacije

Kao što je već rečeno, svojstva inkapsulata zavise, kako od svojstava primenjenog materijala nosača, tako i od tehnike kojom su sami inkapsulati dobijeni. Danas postoji veliki broj tehnika i u literaturi se mogu pronaći različite klasifikacije tehnika inkapsulacije [1].

Generalno, procesi inkapsulacije se mogu podeliti na procese tipa A (hemijski procesi) i na procese tipa B (mehanički procesi). Razlika između ove dve grupe procesa je u tome što se kod procesa tipa A formiranje sloja omotača oko aktivne komponente odvija u tečnosti, pri čemu je aktivna komponenta dispergovana u rastvoru nosača, dok se sam proces formiranja omotača odvija putem određene hemijske reakcije. Jedan od primera procesa tipa A je kompleksna koacervacija. Kod procesa tipa B rastvor za inkapsulaciju (aktivna komponenta i nosač) se mehanički disperguju kako bi se dobile čestice uz naknadno formiranje sloja omotača. Najpoznatija tehnika inkapsulacije koja spada u grupu procesa tipa B je sprej sušenje [2].

Sprej sušenje

Od svih tehnika inkapsulacije za prehrambenu industriju je svakako najvažnija tehnika sprej sušenja. Sprej sušenje se bazira na raspršivanju prethodno pripremljene smeše aktivne komponente i nosača u komori koja se zagreva. U toku ovog procesa dolazi do formiranja čvrstih čestica usled otparavanja rastvarača. Primenom ove tehnike, a u zavisnosti od procesnih parametara i svojstava rastvora za inkapsulaciju moguće je dobiti čestice čija veličina može biti od 10 μ m do 400 μ m. Samo dobijanje čestica tj. raspršivanje rastvora za inkapsulaciju se može realizovati primenom vazduha pod pritiskom preko posebno konstruisane dizne ili pak primenom rotirajućeg mehaničkog atomizera. Na konačnu veličinu čestica inkapsulata utiču brojni faktori kao što su viskozitet i površinski napon rastvora koji se inkapsulira, protok rastvora, vreme sušenja, pritisak u dizni i radna temperatura. Važno je napomenuti da se sprej sušenjem uglavnom procesuiraju vodeni rastvori ali da je moguće uz odgovarajuće tehničke izmene vršiti i inkapsulaciju (ili sušenje) sistema na bazi organskih rastvarača. Kod tehnike sprej sušenja se primenjuju visoke temperature tokom samog procesa formiranja omotača. Temperaturna kontrola procesa se vrši preko kontrole temperature i protoka ulaznog i izlaznog vazduha. Koriste se ulazne temperature vazduha u opsegu od 150-220 $^{\circ}$ C, dok je temperatura izlaznog vazduha u opsegu od 50 do 80 $^{\circ}$ C [1]. Sprej sušenje omogućava korišćenje velikog broja različitih materijala kao nosača aktivnih komponenta. Pri inkapsulaciji metodom sprej sušenja se mogu koristiti sledeći materijali: guma arabika, proteini mleka, želatin, proteini soje, maltodekstrini kao i kombinacije materijala kako bi se postigle specifične karakteristike inkapsulata [1,12].

Sprej sušenje je našlo primenu pre svega u procesima inkapsulacije prehrambenih aroma. Prema nekim procenama na svetskom nivou oko 20-25% svih proizvedenih aroma je u obliku inkapsulata. Oko 80-90% inkapsulisanih aroma se dobija metodom sprej sušenja, dok je samo manji deo ukupno proizvedenih inkapsulata dobijen ostalim tehnikama (npr. sprej hlađenjem). Za inkapsulaciju aroma metodom sprej sušenja najčešće se koriste sledeći materijali: monosaharidi, disaharidi, maltodekstrini, modifikovani skrobovi, guma arabika, proteini mleka kao i smeše različitih materijala [13,14]. Stepent inkapsulacije aroma metodom sprej sušenja zavisi od karakteristika arome i materijala nosača,

Tabela 1. Podela materijala nosača prema poreklu [4]

Materijali biljnog porekla	Materijali životinjskog i mikrobnog porekla	Ostali materijali
Skrob i derivati skroba	Ksantan	Parafin
Celuloza i derivati celuloze	Dekstran	Polivinilpirolidon
Biljni ekstrudati (npr. guma arabika)	Hitozan, Alginat	Polivinil alkohol
Biljni ekstrakti (npr. galaktomanani)	Proteini surutke	Oksidi silicijuma
Biljni izolati (npr. izolati soje)	Želatin	Oksidi aluminijuma

koncentracije nosača (veća koncentracija nosača daje bolje zadržavanje arome), odnosa aromanosač i procesnih parametara. Modifikacije nosača npr. dodatkom šećera i sirupa obično daju bolje rezultate kada je u pitanju efikasnost inkapsulacije aroma. Pored toga, manje čestice (1-2 μ m) su se pokazale kao pogodnije sa stanovišta očuvanja sadržaja arome tokom sprej sušenja. Primenom sprej sušenja se dobijaju inkapsulati aroma čiji je rok trajanja od 6 do 12 meseci [13].

Druga značajna primena sprej sušenja u prehrambenoj tehnologiji je inkapsulacija probiotskih kultura. Cilj inkapsulacije probiotika je njihova zaštita i olakšana upotreba kao i kontrolisano otpuštanje pri konzumiranju probiotskih inkapsulata ili proizvoda koji sadrže inkapsulate probiotskih kultura [15]. Probiotske ćelije se mogu inkapsulisati primenom različitih nosača kao što su obrano mleko [16], maltodekstrini ili korišćenjem neke od prirodnih guma [15].

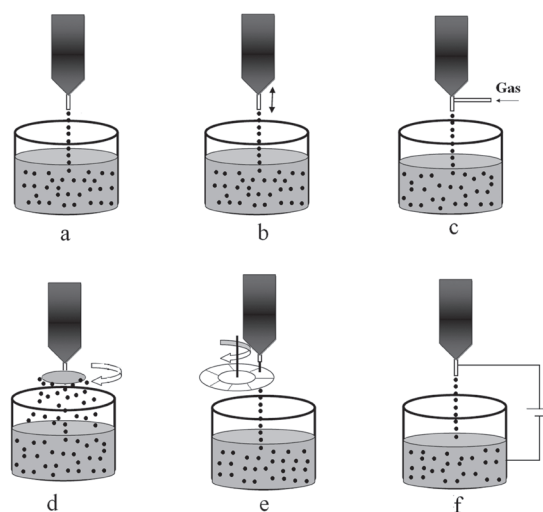
Potrebno je naglasiti da se sprej sušenje odlikuje brojnim prednostima u odnosu na druge tehnike koje se koriste za inkapsulaciju aktivnih komponenti hrane. Sprej sušenje se u industriji dosta primenjuje, između ostalog jer omogućava automatizaciju procesa. Kada je cilj dobiti čestice većih dimenzija, mogu se kombinovati sprej sušenje i postupak aglomeracije, pri čemu se čestice dobijene sprej sušenjem aglomerišu u posebnom uređaju. Nedostaci sprej sušenja su vezani pre svega za primenu visokih temperatura pri samom procesu, što može dovesti do gubitaka lako isparljivih komponenti ili pak formiranje nepoželjnih produkata oksidacije aktivne komponente (npr. hemijske promene kod aroma) [13].

Oblaganje u fluidizovanom sloju

Pored sprej sušenja, u industriji je dosta zastupljena i tehnika oblaganja aktivne supstance u fluidizovanom sloju. Suština ove tehnike je tretman čvrstih čestica koje se u uređajima za oblaganje u fluidizovanom sloju zaštićuju dodatnim omotačem. Najčešći materijali omotača su lipidi (npr. voskovi) koji se nanose u topljenom stanju, a sam omotač se formira naknadnim hlađenjem čestica. Ova metoda se može koristiti za tretman čestica dobijenih sprej sušenjem u cilju dobijanja agregata tj. čestica većih dimenzija. Ako je potrebno, kao materijali za oblaganje se mogu koristiti i drugi materijali, kao na primer derivati celuloze, ili pak omotači na bazi proteina. Proces je jednostavan i omogućava veliku fleksibilnost, kako sa aspekta odabira nosača tako i pri odabiru procesnih uslova i konfiguracije uređaja. Veličina čestica dobijenih ovom metodom se kreće od 200 μ m do 5000 μ m [13]. Jedan od pozitivnih primera upotrebe ove tehnike je agregacija proizvoda sa visokim sadržajem proteina [17]. Ispitivanja su pokazala da oblaganjem natrijum hlorida u fluidizovanom sloju uz korišćenje lipofilnih omotača može značajno uticati na smanjenje nastanka produkata Maillard-ovih reakcija u pekarskim proizvodima [18]. Osnovni nedostatak ove metode, a posebno kada su u pitanju arome, je pre svega dugo trajanje procesa koji u nekim slučajevima može da traje i do 20 sati. Pored toga, formiranje čestica odgovarajuće veličine često iziskuje potrošnju velike količine materijala za oblaganje [13].

Inkapsulacija u polimerne čestice

U novije vreme pažnju sve više privlače sistemi za inkapsulaciju aktivnih materija u polimerne čestice. Ovaj metod inkapsulacije se bazira na dobijanju dispergovanih kapi nosača i aktivne materije, koje zatim geliraju tj. prevode se u nerastvorni oblik odgovarajućim procesom. Dobijanje polimernih kapi se može vršiti na dva načina: metodom emulzifikacije i metodom ekstruzije (ukapavanja) u rastvor za geliranje. Kod metode emulzifikacije čestice se dobijaju dispergovanjem vodenog rastvora polimera i aktivne materije u lipofilnoj fazi (ulju) uz naknadno geliranje nosača. Metodu emulzifikacije je generalno lakše primeniti u industrijskim uslovima uz to da se ulje koje zaostaje nakon procesa na površini čestica mora odvojiti pre dalje upotrebe inkapsulata. S druge strane, dobijanje čestica ekstruzijom se vrši propuštanjem rastvora za inkapsulaciju kroz kapilaru (iglu) pri čemu se formiraju kapi koje padaju u rastvor za geliranje [1]. Šeme osnovnih ekstruzionih metoda su date na Slici 2. Najjednostavnija metoda je metoda ukapavanja pod dejstvom gravitacije (Slika 2a). Međutim, kada je cilj dobiti čestice manjih dimenzija, ova metoda se nije pokazala kao pogodna. Zato su razvijene metode koje omogućavaju bolju kontrolu procesa i dobijanje čestica željenih dimenzija (Slika 2b-f). Od svih ekstruzionih metoda, elektrostatička ekstruzija se pokazala kao posebno pogodna kada je potrebno dobiti čestice malih dimenzija i pri inkapsulaciji osetljivih aktivnih komponenti kao što su ćelije. Jedan od najpogodnijih nosača za dobijanje čestica metodom elektrostatičke ekstruzije je natrijum alginat. Ovaj polisaharid u reakciji sa jonima kalcijuma daje Ca-alginat koji se pokazao kao pogodan materijal za inkapsulaciju različitih aktivnih supstanci, a pre svega onih koji spadaju u domen prehrambene tehnologije [5,19].



Slika 2. Ekstruzione tehnike: a) Metoda ukapavanja; b) Vibraciona metoda; c) Metoda ukapavanja uz dejstvo sekundarnog toka vazduha; d) Raspršivanje pomoću rotirajućeg ravnog diska; e) Presecanje mlaza pomoću rotirajućeg diska; f) Elektrostatička ekstruzija [1,19]

Čestice Ca-alginata dobijene metodom elektrostatičke ekstruzije su ispitivane kao nosači različitih aktivnih materija i biokatalizatora. Posebno treba istaći da je inkapsulacija ćelija

kvasca pokazala dobre rezultate kada je u pitanju dobijanje fermentacionih proizvoda. Ovdje u prvom redu treba pomenuti dobijanje piva [19], voćnih vina [20] kao i fermentaciju i dobijanje etanola [21]. Posebno dobar efekat inkapsulacije ćelija kvasca u alginatu je primećen pri fermentaciji kore citrusa koja sadrži značajnu količinu inhibitornih supstanci koje mogu zaustaviti rast ćelija. Kod ovog tipa fermentacija alginat predstavlja barijeru za prodor inhibitornih supstanci do ćelija, pri čemu ne ometa difuziju nutrijenata i proizvoda fermentacije [22]. Pored fermentacija, inkapsulacija probiotika je još jedna oblast u kojoj je inkapsulacija ćelija u polimerne čestice našla primenu [15]. Kada je reč o ostalim komponentama hrane, polimerne čestice su pokazale dobra svojstva pri inkapsulaciji hidrofobnih aktivnih komponenti, kao što su jestiva ulja i arome. Jestiva biljna ulja kao izvori biološki vrednih masnih kiselina mogu se inkapsulisati u Ca-alginatne čestice metodom elektrostatičke ekstruzije i koristiti kao dodatak u mesne proizvode. Ovim putem je moguće smanjiti udeo životinjske masti u proizvodima uz povećanje udela biljne masti bez negativnog uticaja na senzorna svojstva hrane [23]. Inkapsulacija aroma u polimerne čestice omogućava lakšu manipulaciju aditivima uz postizanje boljih termičkih svojstava aktivne komponente. Arome, bilo u tečnom ili čvrstom stanju, je moguće inkapsulisati u polimerne čestice, pri čemu alginat ima ulogu stabilizatora emulzija i suspenzija aroma u rastvoru za inkapsulaciju, a nakon procesa inkapsulacije formira zaštitni omotač oko same arome. Na ovaj način je moguće dobiti čestice sa relativno velikim udelom arome bez primene emulgatora u proizvodnom procesu. Pored toga, u svim slučajevima inkapsulisane arome su pokazale bolja termička svojstva, što se pre svega ogledalo preko kontrolisanog otpuštanja na znatno višim temperaturama u odnosu na slobodne (neinkapsulisane) arome [8,9,10,24]. Pored prirodnih nosača u formulacijama za inkapsulaciju aroma je moguće primeniti i sintetičke polimere [9,10]. Polimerne čestice se mogu koristiti i za inkapsulaciju aktivnih komponenti dobijenih ekstrakcijom biljnog materijala [25,26] kao i ekstrakta jestivih gljiva [27].

Pored ekstruzije, čestice inkapsulata je moguće dobiti i primenom emulzifikacione tehnike, pri čemu se vodena faza (rastvor nosača) disperguje u ulju uz dodatak sredstva za geliranje. Naknadno se ovako dobijene čestice mogu koristiti za inkapsulaciju biljnih ekstrakata [28].

Koacervacija

Ukoliko je aktivna komponenta nerastvorna u vodi, moguće je oko nje stvoriti zaštitni omotač metodom koacervacije [2]. Proces koacervacije podrazumeva formiranje koacervata koji se sastoji od dispergovanih kapi aktivne komponente i omotača hidrofobnih svojstava. Da bi došlo do formiranja koacervata potrebno je stvoriti sistem kod koga je aktivna komponenta dispergovana u polimernom rastvoru ili sistemu nosača koji se zatim prevodi putem variranja parametara sistema (pH, temperatura) u formu tečnog filma koji obavlja aktivnu komponentu. Na ovaj način je moguće formirati tečni film nosača na površini dispergovane (čvrste ili tečne) aktivne komponente. Ukoliko se za dobijanje koacervata koriste dva ili više polimera onda se proces naziva kompleksna koacervacija. Jedan

od najpoznatijih sistema kompleksne koacervacije se bazira na korišćenju guma arabike i želatina kao sistema nosača. Prednost koacervata je u tome što se dobijene kapsule mogu dodatno gelirati ili sušiti [1,2]. Još jedna prednost koacervacije je u tome što se (kao na primer u slučaju inkapsulacije aroma) mogu ostvariti visoki udeli aktivne komponente (i do 90%) u strukturi inkapsulata. Pored toga, ovakvi sistemi inkapsulacije omogućavaju kontrolisano otpuštanje arome pod dejstvom pritiska ili povišene temperature [13]. Mogu se primeniti i nosači na bazi proteina mleka u kombinaciji sa karboksimetil celulozom za inkapsulaciju aroma [29]. Dobri rezultati su postignuti i korišćenjem sojinog izolata u procesima inkapsulacije etarskih ulja metodom koacervacije [30].

Ostale tehnike za inkapsulaciju komponenti hrane

Od ostalih metoda inkapsulacije značajnih za prehrambenu tehnologiju treba pomenuti korišćenje lipozoma i ciklodekstrina kao nosača aktivnih komponenti.

Lipozomi su nosači koji se sastoje iz fosfolipidnih membrana unutar kojih se smešta aktivna komponenta. Lipozomi se formiraju u uslovima intenzivnog mešanja fosfolipida u vodenoj fazi uz prisustvo aktivne komponente. Samo formiranje čestica je rezultat interakcija (hidrofilno-hidrofobno) između fosfolipida i vode. U toku procesa formiranja lipozoma aktivna komponenta može biti u vodenoj fazi ili je vezana za membranu lipozoma. Veličina lipozoma može da varira od nekoliko nanometara do nekoliko mikrometara. Osnovni materijali za dobijanje lipozoma su lecitin i holesterol [1]. Lipozomi su pogodni kod inkapsulacije vrednih i skupih biološki aktivnih komponenti kao što je resveratrol, pri čemu je moguće dobiti lipozome različitim metodama [31].

Pored lipozoma, inkapsulacija u čestice nanometarskih dimenzija je moguća i primenom ciklodekstrina kao nosača. Dobijanje ciklodekstrina je enzimski proces u kome se molekuli glukoze (iz skroba) povezuju α -1-4 vezama uz formiranje cikličnih oligosaharida tj. ciklodekstrina. Ciklodekstrini se dele prema broju molekula glukoze koje sadrže na: α (6 molekula), β (7 molekula) i γ (8 molekula). Sam proces inkapsulacije aktivne komponente se vrši na temperaturi od 60 do 80°C u vodenoj sredini. Zatim se dodaje aktivna komponenta uz intenzivno mešanje. Ovako dobijeni sistemi su se pokazali pogodnim za zaštitu aroma od dejstva vlage, kiseonika, svetlosti i povišenih temperatura. Osnovni nedostatak ove metode je relativno mali udeo aktivne komponente koja može da se veže u strukturu ciklodekstrina. Pored toga, postoje i određena zakonska ograničenja za upotrebu ovih sistema u prehrambenoj industriji [13]. Posebno interesantna je potencijalna primena ciklodekstrina za inkapsulaciju aroma [32,33], ali i korišćenje ove metode kao pretretmana (dodatne zaštite) pre drugih postupaka inkapsulacije [34].

LITERATURA

1. Zuidam NJ, Shimoni E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In: Zuidam NJ, Nedovic VA eds. Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing. Springer, Dordrecht, 2010; 3-29.
2. Thies C. Microencapsulation. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, New York, (4 izdanje) 16, 2005; 317-327.
3. Augustin MA, Hemar Y. Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. Chem Soc Rev 2009; 38:902-912.
4. Wandrey C, Bartkowiak A, Harding ES. Materials for Encapsulation. In: Zuidam NJ, Nedovic VA eds. Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing. Springer, Dordrecht, 2010; 31-100.
5. Nedović VA, Obradović B, Leskošek-Čukalović I, Trifunović O, Pešić R, Bugarski B. Electrostatic generation of alginate microbeads loaded with brewing yeast. Process Biochem 2001; 37(1):17-22.
6. Lević S, Lijaković IP, Đorđević V, Rac V, Rakić V, Knudsen TS, Pavlović V, Bugarski B, Nedović V. Characterization of sodium alginate/D-limonene emulsions and respective calcium alginate/D-limonene beads produced by electrostatic extrusion. Food Hydrocolloid 2015; 45,111-123.
7. Milanovic J, Manojlovic V, Levic S, Rajic N, Nedovic V, Bugarski B. Microencapsulation of Flavors in Carnauba Wax. Sensors 2010; 10(1):901-912.
8. Lević S, Obradović N, Pavlović V, Isailović B, Kostić I, Mitrić M. i sar. Thermal, morphological, and mechanical properties of ethyl vanillin immobilized in polyvinyl alcohol by electrospinning process. J Therm Anal Calorim 2014; 118(2):661-668.
9. Lević S, Rac V, Manojlović V, Rakić V, Bugarski B, Flock T. i sar. Limonene encapsulation in alginate/poly (vinyl alcohol). Procedia Food Science 2011; 1:1816-1820.
10. Levic S, Djordjevic V, Rajic N, Milivojevic M, Bugarski, B., Nedovic, V. Entrapment of ethyl vanillin in calcium alginate and calcium alginate/poly(vinyl alcohol) beads. Chem Pap 2013; 67 (2): 221-228.
11. Bezbradica D, Obradovic B, Leskosek-Cukalovic I, Bugarski B, Nedovic V. Immobilization of yeast cells in PVA particles for beer fermentation. Process Biochem 2007; 42:1348-1351.
12. Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. Food Res Int 2007; 40:1107-1121.
13. Zuidam NJ, Heinrich E. Encapsulation of aroma. In: Zuidam NJ, Nedovic VA, eds. Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing. New York: Springer 2010:127-160.
14. Chen Q, McGillivray D, Wen J, Zhong F, Siew Young Quek Z.S. Co-encapsulation of fish oil with phytosterol esters and limonene by milk proteins. J Food Eng 2013; 117:505-512.
15. Manojlović V, Nedović VA, Kailasapathy K, Zuidam JN. Encapsulation of Probiotics for use in Food Products. In: Zuidam NJ, Nedovic VA, eds. Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing. Springer, Dordrecht, 2010; 269-301.
16. Radulović Z, Mirković N, Bogović-Matijašić B, Petrušić M, Petrović T, Manojlović V. i sar. Quantification of viable spray-dried potential probiotic lactobacilli using real-time PCR. Arch Biol Sci 2012; 64:1465-1472.
17. Meesters HMG. Encapsulation of Enzymes and Peptides. In: Zuidam NJ, Nedovic VA, eds. Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing. Springer, Dordrecht, 2010; 253-268.
18. Fiore A, Troise DA, Mogol AB, Roullier V, Gourdon A, El Mafadi Jian S. i sar. Controlling the Maillard Reaction by Reactant Encapsulation: Sodium Chloride in Cookies. J Agric Food Chem 2012; 60: 10808-10814.
19. Nedović V. Imobilisani ćelijski sistemi u fermentaciji piva. Zadužbina Andrejević, Beograd 1999;
20. Djordjević R, Gibson B, Sandell M, De Billerbeck MG, Bugarski B, Leskošek-Čukalović I. i sar. Raspberry wine fermentation with suspended and immobilized yeast cells of two strains of *Saccharomyces cerevisiae*. Yeast 2015; 32, 271-279.
21. Nikolić S, Mojović Lj, Rakin M, Pejcin D. Bioethanol production from corn meal by simultaneous enzymatic saccharification and fermentation with immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*. Fuel 2009; 88:1602-1607.
22. Lalou S, Mantzouridou F, Paraskevopoulou A, Bugarski B, Levic S, Nedovic V. Bioflavour production from orange peel hydrolysate using immobilized *Saccharomyces cerevisiae*, Appl Microbiol Biot 2013; 97:9397-9407.
23. Stajić S, Živković D, Tomović V, Nedović V, Perunović M, Kovjanić N. Lević S. i sar. The utilisation of grapeseed oil in improving the quality of dry fermented sausages. Int J Food Sci Tech 2014; 49(11):2356-2363.
24. Manojlovic V, Rajic N, Djonlagic J, Obradovic B, Nedovic V, Bugarski B. Application of Electrostatic Extrusion - Flavour Encapsulation and Controlled Release. Sensors 2008; 8:1488-1496.
25. Belščak-Cvitanović A, Stojanović R, Manojlović V, Komes D, Juranović Cindrić I, Nedović V. i sar. Encapsulation of polyphenolic antioxidants from medicinal plant extracts in alginate-chitosan system enhanced with ascorbic acid by electrostatic extrusion. Food Res Int 2011; 44:1094-1101.
26. Stojanovic R, Belscak-Cvitanovic, A, Manojlovic V, Komes D, Nedovic V, Bugarski B. Encapsulation of thyme (*Thymus serpyllum* L.) aqueous extract in calcium alginate beads. J Sci Food Agric 2012; 92: 685-696.
27. Klaus A, Kozarski M, Vunduk J, Todorovic N, Jakovljevic D, Zizak Z. i sar. Biological potential of extracts of the wild edible Basidiomycete mushroom *Grifola frondosa*. Food Res Int 2015; 67:272-283.
28. Trifković TK, Milašinović ZN, Djordjević BV, Kalagasidis Krušić TM, Knežević-Jugović DZ, Nedović AV. i sar. Chitosan microbeads for encapsulation of thyme (*Thymus serpyllum* L.) polyphenols. Carbohydr Polym 2014; 111: 901-907.
29. Koupantsis T, Pavlidou E, Paraskevopoulou A. Flavour encapsulation in milk proteins -CMC

- coacervate-type complexes. Food Hydrocolloid 2014; 37:134-142.
30. Jun-xia X, Hai-yan Y, Jian Y. Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. Food Chem 2011; 125:1267-1272.
 31. Isailović DB, Kostić TI, Zvonar A, Đorđević BV, Gašperlin M, Nedović AV. i sar. Resveratrol loaded liposomes produced by different techniques. Innov Food Sci Emerg 2013; 19:181-189.
 32. Ciobanu A, Landy D, Fourmentin S. Complexation efficiency of cyclodextrins for volatile flavor compounds. Food Res Int 2013; 53:110-114.
 33. Fang Z, Ruth Comino P, Bhesh Bhandari B. Effect of encapsulation of D-limonene on the moisture adsorption property of β -cyclodextrin. LWT - Food Science and Technology 2013; 51:164-169.
 34. Kayaci F, Uyar T. Encapsulation of vanillin/cyclodextrin inclusion complex in electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanoweb: Prolonged shelf-life and high temperature stability of vanillin. Food Chem 2012; 133: 641-649.

Modern encapsulation processes in food technology

Steva Lević¹,
Ana Kalušević¹,
Verica Đorđević²,
Branko Bugarski²,
Viktor Nedović¹

¹Univerzitet u Beogradu,
Poljoprivredni fakultet
²Univerzitet u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

Summary: *The encapsulation processes have been intensively studied in the recent years as possible alternative to conventional food technologies. Encapsulation of food active compounds is based on formation of protective layer(s) around active compound using adequate encapsulation technique. The role of protective layer is to prevent degradation of active compound and to provide controlled release of protected ingredient under defined conditions. Modern food technology offers numerous solutions for encapsulation of food ingredients, plant extracts, microorganism cells, etc. Also, there are numerous available carrier materials that could be used for specific demand. Encapsulation is complex process and application of encapsulation techniques in the food production requires knowledge from different areas of science. The aim of this review is to summarize different encapsulation processes that are already applied in food technology as well as those that are under development. This paper analyses current experience in the area of encapsulation for food industry. Several encapsulation procedures such as spray drying, fluid bed coating, encapsulation in polymer particles, coacervation and encapsulation in cyclodextrins were analyzed.*

Key words: *encapsulation, food technology, food, protective layer, fermentation.*