

Primjena nanočestica u pakiranju ribljih i mesnih proizvoda

Mario Ščetar^{1*}, Mia Kurek¹, Domagoj Gabrić¹, Kata Galić¹

Sažetak

Nanotehnologija kao novi aspekt znanosti kojim se modificira fizikalna, kemijska i biološka svojstva hrane što dovodi do novih primjena u prehrambenoj industriji obrade mesa i ribe. Održavajući korak s drugim industrijama, mesna i industrija prerade ribe je usvojila novu tehnologiju u nizu primjena za poboljšanje kvalitete i sigurnosti proizvoda. Potencijalne primjene uključuju poboljšanje teksture, okusa, proizvodnju proizvoda s niskim udjelom masnoće i soli, poboljšanu apsorpciju hranjivih tvari, poboljšane tehnike pakiranja i bolji sustav detekcije patogena. Budući da je zakonska regulativa veza na za nanomaterijale još uvijek u potpunosti nedorečena, kod ovog načina pakiranja izuzetno je bitno smanjiti migracije nanočestica na najmanju moguću mjeru jer u suprotnom neće biti prihvaćena zbog razloga zdravstvene ispravnosti pa tako i zbog negativne percepcije potrošača. S ekonomskog gledišta, korištenje nanotematerijala za pakiranje vrlo vjerojatno će biti skuplje te će stoga njihov odabir u odnosu na druge materijale morati pokazati značajniju funkcionalnost te time opravdavati nastale troškove.

Ključne riječi: nanotehnologija, pakiranje, riblji i mesni proizvodi

Uvod

Nanotehnologija odnosno nanočestice (NP) su široka klasa materijala koja uključuje čestice koje imaju dimenzije manje od 100 nm. NP se mogu podijeliti u različite kategorije ovisno o njihovoj morfologiji, veličini i kemijskim svojstvima. Stoga se NP mogu klasificirati kao anorganske i organske nanočestice koje se mogu oblikovati u nanocijevčice, nanovlakna, nanoemulzije itd., koristeći organske materijale kao što su biopolimeri, ulja, ugljik itd. Nanočestice se mogu sintetizirati korištenjem nekoliko tehnika uključujući fizikalne, kemij-

ske i biološke metode kao što je kuglično mljevenje, elektrosprejanje, mikrovalovi, laserska ablacija, kondenzacija inertnog plina, sol-gel postupak, kemijsko i fizičko taloženje iz pare i nanoemulzija. Nanočestice se također dobivaju uz pomoć bioloških izvora poput bakterija, algi, gljivica itd. Odabir tehnike sinteze ovisi o željenoj vrsti nanočestica (Dash i sur., 2022.).

Mnoge vodeće svjetske prehrambene kompanije aktivno istražuju mogućnosti primjene nanotehnologije u proizvodnji hrane. Dosadašnja

¹ dr. sc. Mario Ščetar, izvanredni profesor; dr. sc. Mia Kurek, izvanredni profesor, dr. sc. Domagoj Gabrić, asistent; dr. sc. Kata Galić, redoviti profesor; Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnoški fakultet

*autor za korespondenciju: msetar@pbf.hr

istraživanja usmjerena su na poboljšanje svojstva hrane, materijala koji dolaze u dodir s hranom i samoj primarnoj proizvodnji hrane (Knežević i sur., 2012.). Primjena nanotehnologije u poljoprivredi se kreće u smjeru razvoja nanosenzora i raspršivača u prehrani bilja, pomoću kojih će se detektirati kada biljka treba hranjive sastojke ili vodu prije nego što se pojave znakovi njihova nedostatka. Daljnja moguća primjena je u proizvodnji pesticida s kemikalijama nano veličina, koje će se oslobađati ciljano u probavnom sustavu kukaca čime se poboljšava njihova učinkovitost. Moguće primjene nanotehnologije u prehrambenom sektoru detaljnije su dane u Tablici 1.

Primjena nanotehnologije u hrani uključuje i mogućnost dodavanja nanočestica koje poboljšavaju dostupnost i topivost nutrijenata bez utjecaja na okus i izgled, te njihova brza apsorpcija iz probavnog trakta u krvotok (Blasco i Picó, 2011.). Provode se istraživanja na polju razvoja nanokapsula s hranjivim tvarima koje bi imale sposobnost ciljanog otpuštanja nutrijenata kada nanosenzori utvrde nedostatak istih u organizmu (Mozafari i sur., 2008.; Ozimek i sur., 2010.). Pravovremeno otkrivanje kvarenja hrane postiže se pomoću nanosenzora koji omogućavaju da prilikom dodira s hranom, u kojoj se nalaze patogeni mikroorganizmi, dolazi do promjene boje ugrađenog pokazatelja (Bhattacharya i sur., 2007.). Ova činjenica ima veliki značaj u razvoju novih mikrobioloških i kemijskih analitičkih metoda, čime se vrijeme detekcije značajno skraćuje, s nekoliko dana na nekoliko sati ili manje. Iz prethodno navedene literature očito je da se istraživanja u domeni nanočestica provode već duži niz godina dok je njihova primjena u nekim sektorima uvelike komercijalizirana.

U proizvodnji ambalažnih materijala, ne samo da doprinose boljoj zaštiti hrane i produženju roka trajanja, nego se smatraju i ekološki prihvatljivim rješenjem jer se smanjuje potreba za korištenjem plastike kao materijala za pakiranje (Darder i sur., 2007.). Vrlo važno svojstvo materijala za pakiranje hrane je njegova sposobnost da djeluje kao barijera na vlagu, kisik, ugljikov dioksid i druge tvari (Ščetar i sur., 2010.), što se može pojačati ugradnjom anorganskih nanočestica kao što su čestice gline i silikata u biopolimerne strukture (Sorrentino i sur., 2007.).

Materijali s nano česticama srebra ili drugim tvarima s antimikrobnim svojstvima već se nalaze na tržištu (Knežević i sur., 2012.).

Primjena nanomaterijala u industriji mesa i mesnih proizvoda

Područja istraživanja na mesu i mesnim proizvodima uključuju reformulaciju smanjivanjem i modificiranjem sadržaja masti, smanjenjem količine natrija, fosfata i nitrata te uključivanje probiotika, prebiotika i drugih proizvoda, kao što su morske alge i orasi. Osim toga, poboljšanje bioraspoloživosti, stvaranje spojeva koji mogu poboljšati zdravlje i smanjenje štetnih spojeva moguća su područja proučavanja za preradu i skladištenje mesnih proizvoda (Olmedilla-Alonsoa i sur., 2013.).

Postoji širok izbor sastojaka za potencijalnu primjenu u preradi mesa (npr. zamjene za masnoću kao što su citrusna vlakna, koncentrat sojinog proteina, zobena vlakna, karagenan, sojina vlakna i protein plazme) (Weiss i sur., 2010.). Međutim, kod proizvodnje i primjene nanomaterijala kao sastojaka hrane, izuzetno je važno poznavanje sastava i svojstava (npr. nutritivna i organoleptička svojstva, te tekstura) izvorne i izmijenjene hrane (Augustin i Sanguansri, 2009.).

Dodavanje nanočestica mesnim proizvodima može biti strategija poboljšanja funkcionalnih svojstava i kvalitete proizvoda. Njihovim dodatkom moguće je poboljšati okus i teksturu, a istovremeno prikriti neugodne okusne arome. Neka istraživanja ukazuju i na potencijalno poboljšanje stabilnosti mesnih proizvoda primjenom bakterijske nanoceluloze (BNC). Primjenom BNC-a u mesnim emulzijama dobiva se proizvod s niskim udjelom lipida i niskim udjelom natrija, a koji je prethodno emulgiranim s visokooleinskim suncokretovim uljem. Dodatkom vrlo niske koncentracije BNC-a očuvana je stabilnost vakuumski pakiranih mesnih kobasica tijekom 45 dana (Marchetti i sur., 2017.). Što se tiče nutritivne modifikacije proizvoda od svinjskog mesa, ultrazvučno potpomognuta inkorporacija nano-inkapsuliranih omega-3 masnih kiselina utjecala je na poboljšani profil masnih kiselina proizvoda (Ojha i sur., 2017.).

Barijerna svojstva ambalaže mogu biti poboljšana upotrebom nanokompozitnih materijala koji uzrokuju transport molekule kisika duljim putem u usporedbi s ambalažom bez nanočestica (Silvestre i sur., 2011.). U studiji Picouet-a i sur. (2014.), nanogлина je korištena u ambalaži za vakuumsko pakiranje govedih lungića. Nanogлина je raspršena u polimernoj matrici poliamida 6 (PA6) kako bi se formirao film za pakiranje. Dodavanje nanogline u PA6 rezultiralo je s nekoliko pozitiv-

nih učinaka: poboljšana barijera na O₂, sposobnost blokiranja UV zraka i poboljšana krutost materijala. U usporedbi s komercijalnim pakiranjem, uočeni

su slični utjecaji na kvalitetu govedine, uz dodatnu prednost smanjene debljine materijala (a time i manji trošak).

Tablica 1. Primjena nanotehnologije u prehrambenoj industriji (prema Knežević i sur., 2012.)

Table 1. Application of nanotechnology in the food industry (according to Knežević et al., 2012)

Primjena /Application	Nanotehnologija /Nanotechnology	Nove / poboljšane osobine materijala /New / improved material properties
Uređaji u proizvodnji / Equipment in production	Nano keramički uređaji / Nano ceramic devices	Velike reaktivne površine / Large reactive surfaces
Hladnjaci, posude za čuvanje, oprema i pribor za pripremu hrane / Refrigerators, storage containers, food preparation equipment and accessories	Ugrađene čestice nano veličina, uglavnom srebro i cinkov oksid / Incorporated nano-sized particles, mainly silver and zinc oxide	Antibakterijske prevlake / Antibacterial coatings
Prehrambeni proizvodi / Food products	Sprejevi sa česticama srebra nano veličina / Sprays with nano-sized silver particles	Antibakterijski tretmani / Antibacterial treatments
	Koloidni metali / Colloidal metals Nanoemulzije, nanomicelle / Nanoemulsions, nanomicelles Nano inkapsulati / Nano encapsulates	Istaknut pojačan/ poželjan unos metala / Prominent enhanced/desired metal intake Poboljšana tekstura i stabilnost proizvoda (majoneze, namazi, kreme, jogurti) / Improved texture and product stability (mayonnaise, spreads, creams, yogurts) Ciljano/ pravovremeno otpuštanje nutrijenata / Targeted/timely nutrient release
Inteligentna ambalaža / Intelligent packaging Ambalaža bolje ili poboljšane čvrstoće / Packaging better or improved strength	Nanosenzori / Nanosensors Polimeri s ugrađenim nanometalima ili njihovim oksidima / Polymers with incorporated nanometals or their oxides Ugrađene aktivne nanočestice / Incorporated active nanoparticles	Nanoomotači sa nanočesticama srebra, reagiraju na kvarenje hrane i omogućavaju praćenje uvjeta čuvanja / Nanocoatings with silver nanoparticles react to food spoilage and enable monitoring of storage conditions Poboljšana barijerna svojstva, čvrstoća materijala i UV zaštita / Improved barrier properties, material strength and UV protection Pokazatelj koncentracije kisika, sprječavanje rasta patogena / Oxygen concentration indicator, pathogen growth prevention

Aktivno pakiranje: Metalne i nanočestice metalnog oksida u nanokompozitu

U usporedbi s molekularnim antimikrobnim sredstvima, anorganske nanočestice se bez većih poteškoća mogu ugraditi u polimere, što ih čini prikladnom ambalažom poboljšane funkcionalnosti (Kontominas i sur., 2021.). Međutim, prikladnost za pakiranje ovisi o kemijskoj prirodi nanočestica kao primjerice kod nanočestica srebra koje imaju izvrstan antimikrobni učinak, dok takav učinak nije

uočen kod nanočestica zlata (Duncan, 2011.). Nanočestice titanijeva dioksida (TiO₂) također su poznate po svojim antimikrobnim svojstvima. Također pružaju zaštitu zapakirane hrane od UV oštećenja i optički su prozirne. Osim vrste nanočestica, veličina, oblik, površinski naboj itd. također određuju antimikrobni učinak nanočestica (Duncan, 2011.). Na temelju studije Panea i sur. (2013.), cinkov oksid (ZnO) može biti snažno antimikrobno sredstvo zajedno sa srebrom (Ag) u nanokompozitu s

polietilenom niske gustoće (PE-LD). Uočeno je da su patogeni, kao što su *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Listeria monocytogenes*, u pilećem mesu bili inhibirani u navednoj ambalaži (Panea i sur., 2013.). U drugoj studiji Fedotove i sur. (2010.), su uočili da se primjenom nanočestica srebra u omotač kobasice od celuloze i kolagenskog filma postiže snažan antibakterijski i antifungalni učinak.

Nanolaminati: Jestive prevlake

Jestivi nanolaminati su materijal debljine mjerene u nanoskali, a koji se koristi za prevlačenje hrane i sastoje se od više od jednog sloja (Weiss i sur., 2006.). Tehnike taloženja sloj po sloj (engl. *Layer-by-layer*, LbL) mogu se koristiti za hranu koja ima površinski naboj (Kotov, 2003.). Prednost LbL tehnike je to što se debljina prevlaka može regulirati s preciznošću od 1 do 100 nm (Weiss i sur., 2006.). Zbog izrazito niske debljine, prikladniji je za direktno nanošenje na proizvod nego kao samostojeći film (Kotov, 2003.; Weiss i sur., 2006.). Osim što služe kao barijera za plinove ili vlagu, mogu nositi i antioksidanse i antimikrobna sredstva. Međutim, važno je napomenuti da svojstva ovih jestivih prevlaka ovise o karakteristikama nanomaterijala korištenih u slojevima (Weiss i sur., 2006.). Trenutno se u slojevima koriste proteini, polisaharidi i lipidi. Ovisno o vrsti biopolimernih nanočestica uključenih u prevlaku, mogu se postići različite funkcionalnosti. Slojevi napravljeni od lipida djeluju kao barijere za vlagu, ali nisu učinkoviti za blokiranje prijenosa plinova i nemaju mehaničku čvrstoću. S druge strane, slojevi na bazi proteina i polisaharida nude učinkovitu barijeru prijenosu plinova, ali ne i vlage. Stoga se nanolaminati mogu koristiti kao prirodne jestive barijere uz istovremeno produljenje roka trajanja i hranjive vrijednosti tretiranog/upakiranog proizvoda (Weiss i sur., 2006.).

Nanosenzori

Ukoliko bi se kvarenje hrane otkrilo u ranim fazama moglo bi se izbjeći nekoliko problema za prehrambene tvrtke i potrošače. Nanosenzori koji koriste npr. pričvršćena antitijelima za bakterije roda *Salmonella* mogu se primijeniti za otkrivanje patogena na površini hrane, kao što je pilećina (Villamizar i sur., 2008.). Druga primjena je otkrivanje kvalitete konzervirane tune utvrđivanjem prisutnosti spojeva koji djeluju kao indikatori kvarenja kao što su ksantin i hipoksantin (Çubukçua i sur., 2007.). Iako postoji njih izazova u izra-

di, ugradnji i masovnoj proizvodnji nanosenzora u mesnoj industriji, predviđa se da će oni imati značajnu ulogu u budućnosti. Međutim slijedom inicijative Europskog zelenog plana, u proizvodnji hrane povećane trajnosti i materijala koji se mogu popraviti, reciklirati i ponovno upotrijebiti (Anonymous, 2020.), mogućnost primjene i ekološki aspekt spomenutih nanosenzora postaje upitan.

Nanoobilježivači (*nanotrackers*) i nanomonitori (*nanomonitors*)

Budući da proizvodnja i uporaba proizvedenih nanomaterijala može dovesti do određenih rizika po zdravlje ljudi, potencijalne opasnosti i učinci od nanočestica moraju se kontrolirati. Nanoobilježivači imaju sposobnost praćenja potencijalnih rizika izloženosti, čime doprinose sigurnosti hrane i biosigurnosti (Diallo i Brinker, 2011.; Lamri i sur., 2021.; Rai i sur., 2019.). Nanoobilježivači i nanomonitori mogu imati različite primjene kao što su praćenje kvalitete zraka, okoliša i procjena izloženosti nanočesticama (Ultrafine and nanoparticle monitors, 2014.). Međutim, mali broj je uređaja koji prate otpuštanje nanomaterijala u različitim okruženjima kao što su mjesta proizvodnje ili ponovne uporabe nanomaterijala (NSI, 2012.). Unatoč tome, nadzor (monitor) nanočestica kao što je Aerasense (Philips) može otkriti i kvantificirati koncentraciju, površinu i veličinu nanočestica u stvarnom vremenu. Korištenjem ovakvih uređaja mogu se dobiti procjene izloženosti na osobnoj razini, praćenjem onečišćenja nanočesticama na radnim mjestima i praćenjem izvora čestica (Marra i sur., 2010.). Stoga se nanoobilježivači i nanomonitori mogu primijeniti za procjenu rizika na svim razinama proizvodnje mesa.

Budućnost nanotehnologije u mesnoj industriji

Meso se općenito smatra aktivnim (dinamičnim) sustavom s vrlo ograničenim rokom trajanja i sklono je promjenama senzorskih svojstava tijekom razdoblja skladištenja zbog promjena u kemijskom, fizičkom ili mikrobiološkom okruženju (Cenci-Goga i sur., 2020.). Implementacija nanotehnologije u preradi i pakiranju mesa ima za cilj primjenu antimikrobnih i barijernih svojstava uz poboljšanje senzorskih svojstava i/ili inkapsulaciju bioaktivnih spojeva s nanočesticama (Ghaderi-Ghahfarokhi i sur., 2016.). Analitička nanometrologija postaje izazovna stoga je otkrivanje i određivanje nanokomponenta u mesnim proizvodima (kompleznog sadržaja

nutrijenata) još uvijek vrlo ograničeno.

Biljni ekstrakti i eterična ulja (EO) imaju dobra svojstva konzervansa, ali njihovi jaki okusi i štetni učinci na senzorna svojstva mogu ograničiti njihovu primjenu u mesu i ribi. Enkapsulacija bi mogla biti korisna strategija za prevladavanje negativnih senzorskih svojstava u konačnom proizvodu. Zanimljive su nanokoloidne tvari kako za izradu ambalaže za pakiranje tako i za preradu hrane za dobivanje sigurne i zdravstveno ispravne hrane (Nile i sur., 2020.). Unatoč tome, potrebna su daljnja istraživanja kako bi se razumjelo ponašanje i značajke nanokoloida. Ukratko, trendovi u istraživanju primjene nanotehnologije u mesnoj industriji usmjereni su na primjenu nanomaterijala na bazi polimera za poboljšanje svojstava ambalažnih materijala, razvoja pametnog i aktivnog pakiranja (Sharma i sur., 2017.). S obzirom na to, određeni parametri poput pH, temperature ili promjene koncentracije plina mogu utjecati na kvalitetu, sigurnost ili svježinu pakiranih proizvoda. U slučaju poboljšanja ambalažnog materijala, nanokompoziti mogu biti od velike važnosti jer mogu ojačati polimernu matricu zahvaljujući primjenjenim punilima poput celuloznih vlakana, gline i silikata, čime će se održati kvaliteta proizvoda i odgoditi proces njenog kvarenja (García i sur., 2022.; Silvestre i sur., 2011.). Hadian i sur. (2017.) istražili su da je nanoinkapsulirani ružmarin, *Rosmarinus officinalis*, u nanogelu kitozan-benzojeva kiselina poboljšao rok trajanja govedih odrezaka. Rezultati navedenog istraživanja pokazali su da su nanogeli smanjili rast bakterija roda *Salmonella Typhimurium* tijekom skladištenja odrezaka u hladnjaku. Nadalje, nanočestice iz liofilizirane kore nara spriječile su oksidaciju lipida i poboljšale mikrobiološku kvalitetu i karakteristike kuhanja mljevene govedine (Morsy i sur., 2018.). Slično, Ghaderi-Ghahfarokhi i sur. (2016.) su primijetili da je inkapsulacija EO majčine dušice u nanočesticama kitozana obećavajuća strategija za

kontrolu nepoželjne oksidacije lipida i senzorskih promjena u govedim hamburgerima.

Svinjska želatina, koja je najčešći oblik želatine, nije prihvatljiva nekim potrošačima zbog vjerskih i/ili prehrambenih preferencija. Nanočestice želatine prirodne devine kože pokazale su visoku prikladnost za primjenu u hrani, s potencijalnom upotrebom na rastućem globalnom tržištu halal hrane (Ahmed i sur., 2020.).

Zaključak

Implementacija nanokompozita u prehrambenoj industriji izazvala je probleme koji imaju utjecaj na okoliš, budući da u prirodi nisu razgrađivi. Još uvijek postoje ograničene studije o ekotoksičnosti nanočestica, koje se moraju dodatno provoditi kako bi se dokazala njihova sigurnost za upotrebu. Matematički modeli ili metodologija odzivne površine neki su od postupaka koji se mogu upotrijebiti na pametan način za mjerenje toksičnosti nanočestica koje se koriste u prehrambenom lancu.

Nanotehnologija može imati različite uloge u prehrambenom lancu, posebice u industriji proizvodnje mesa i ribe, od prerade, konzerviranja do pakiranja svježih ili prerađenih proizvoda. Vrlo je važno pažljivo odabrati nanomaterijale koji će osigurati zdravstveno ispravnu željenu kvalitetu krajnjeg proizvoda. Štoviše, materijali za pakiranje trebali bi biti izrađeni od biorazgrađivog polimera iz razloga održivosti i utjecaja na okoliš. Napredak u nanotehnologiji navodno može donijeti potpuno novu digitalnu budućnost, što dovodi do sasvim novih istraživačkih tema.

Ekskluzivna i inovativna svojstva nanomaterijala potaknut će prehrambenu industriju da poveća komercijalnu primjenu ovih materijala i nanotehnologije. Stoga su studije o pitanjima toksičnosti, a u svezi s nanomaterijalima, ključne su za osiguranje zdravstvene ispravnosti ovih materijala.

Literatura

- [1] Ahmed, M.A., H.A. Al-Kahtani, I. Jaswir, H. AbuTarboush, E.A. Ismail (2020): Extraction and characterization of gelatin from camel skin (potential halal gelatin) and production of gelatin nanoparticles. *Saudi J Biol Sci*, 27 (2020), 1596–1601
- [2] Anonymous, 2020 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hr Pristupljeno: 10.03.2023.
- [3] Augustin, M. A., P. Sanguansri (2009): Nanostructured materials in the food industry. *Adv Food Nutr Res*, 58 (2009), 183-213
- [4] Bhattacharya S., J. Jan, D. Akin, R. Bashir (2007): Biomems and nanotechnology based approaches for rapid detection of biological entities. *J Rapid Methods Autom Microbiol*, 15 (2007), 1–32
- [5] Blasco C., Y. Pico (2011): Determining nanomaterials in food. *TrAC*, 30 (1) (2011), 84-99
- [6] Cenci-Goga, B.T., M.F. Iulietto, P. Sechi, E. Borgogni, M. Karama, L. Grispoldi (2020): New Trends in Meat Packaging. *Microbiol Res*, 11 (2020), 56–67
- [7] Çubukçua, M., S. Timurb, U. Anik (2007): Examination of performance of glassy carbon paste electrode modified with gold nanoparticle and xanthine oxidase for xanthine and hypoxanthine detection. *Talanta*, 74 (2007): 434-439
- [8] Darder M. P. Aranda, E. Ruiz-Hitzky (2007): Bionanocomposites: a new concept of ecological, bioinspired and functional hybrid materials. *Adv Mater*, 19 (2007), 1309–1319
- [9] Dash, K.K., P. Deka, S.P. Bangar, V. Chaudhary, M. Trif, A. Rusu (2022): Applications of Inorganic Nanoparticles in Food Packaging: A Comprehensive Review. *Polymers*, 14 (2022), 521
- [10] Diallo, M., C. J. Brinker (2011): Nanotechnology for sustainability: Environment, water, food, minerals, and climate. In: *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and outlook* (Eds. M. C. Roco, C. A. Mirkin, and M. C. Hersam). Springer, London, UK. pp. 229.
- [11] Duncan, T. V. (2011) **Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors.** *J Colloid Interface Sci*, 363 (2011), 1-24
- [12] Fedotova, A. V., A. G. Snezhko, O. A. Sdobnikova, L. G. Samoiloova, T. A. Smurova, A. A. Revina, and E. B. Khailova (2010): Packaging materials manufactured from natural polymers modified with silver nanoparticles. *Int Polym Sci Technol*, 37 (2010), 59-64
- [13] García, M.R., J.A. Férrez-Rubio, C. Vilas, (2022): Assessment and Prediction of Fish Freshness Using Mathematical Modelling: A Review. *Foods*, 11 (2022), 2312
- [14] Ghaderi-Ghahfarokhi, M., M. Barzegar, M.A. Sahari, M.H. Azizi (2016): Nanoencapsulation Approach to Improve Antimicrobial and Antioxidant Activity of Thyme Essential Oil in Beef Burgers During Refrigerated Storage. *Food Bioprocess Technol*, 9 (2016), 1187–1201
- [15] Hadian, M., A. Rajaei, A. Mohsenifar, M. Tabatabaei (2017): Encapsulation of *Rosmarinus officinalis* essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antibacterial activity in beef cutlet against *Salmonella typhimurium* during refrigerated storage. *LWT*, 84 (2017), 394–401
- [16] Kaynak C., C. Tasan (2006): Effects of production parameters on the structure of resol type phenolic resin/layered silicate nanocomposites. *Eur Polym J*, 42 (2006), 1908–1921
- [17] Knežević N., M. Ščetar, K. Galić (2012): Possibilities of Nanotechnology Application in the Food Sector with Reference on its Consumers Acceptance. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 7 (1-2) (2012), 126-131
- [18] Kontominas, M.G., A.V. Badeka, I.S. Kosma, C.I. Nathanailides (2021): Recent Developments in Seafood Packaging Technologies. *Foods*, 10 (2021), 940
- [19] Kotov, N. A. (2003) Layer-by-layer assembly of nanoparticles and nanocolloids: intermolecular interactions, structure and materials perspective. In: *Multilayer Thin Films: Sequential Assembly of Nanocomposite Materials* (Eds. G. Decher and J. B. Schlenoff). Wiley VCH, Weinheim, Germany. pp. 207-243.
- [20] Lamri, M., T. Bhattacharya, F. Boukid, I. Chentir, A.L. Dib, D. Das, D. Djenane, M. Gagaoua, (2021): Nanotechnology as a Processing and Packaging Tool to Improve Meat Quality and Safety. *Foods*, 10 (2021), 2633
- [21] Marchetti, L., B. Muzzio, P. Cerrutti, S.C. Andrés, A.N. Califano (2017): Bacterial nanocellulose as novel additive in low-lipid low-sodium meat sausages. Effect on quality and stability. *Food Struct*, 14 (2017), 52–59
- [22] Marra, J., M. Voetz, H. J. Kiesling (2010): Monitor for detecting and assessing exposure to airborne nanoparticles. *J Nanopart Res*, 12 (2010), 21-37
- [23] Morsy, M.K., E. Mekawi, R. Elsabagh, (2018): Impact of pomegranate peel nanoparticles on quality attributes of meatballs during refrigerated storage. *LWT*, 89, (2018), 489–495
- [24] Mozafari M.R., C. Johnson, S. Hatziantoniou, C. Demetzos (2008): Nanoliposomes and Their Applications in Food Nanotechnology. *J Liposome Res*, 18 (4) (2008), 309-327
- [25] Nile, S.H., V. Baskar, D. Selvaraj, A. Nile, J. Xiao, G. Kai (2020): Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. *Nano-Micro Lett*, 12 (2020), 45
- [26] NSI. 2012. (2012) **NSI white paper: Nanotechnology for sensors and sensors for Nanotechnology: Improving and protecting health, safety, and the environment**, Nanotechnology Signature Initiative. NSI white paper 1-11.
- [27] Ojha, K.S., C.A. Perussello, C.Á. García, J.P. Kerry, D. Pando, B.K. Tiwari (2017): Ultrasonic-assisted incorporation of nano-encapsulated omega-3 fatty acids to enhance the fatty acid profile of pork meat. *Meat Sci*, 132 (2017), 99–106
- [28] Olmedilla-Alonsoa, B., F. Jiménez-Colmeneroa, F.J. Sánchez-Muniz (2013): Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Sci*, 95 (2013), 919-930
- [29] Ozimek, L., E. Pospiech, S. Narine (2010): Nanotechnology is food and meat processing. *Acta Sci Pol Technol Aliment*, 9 (2010), 401-412
- [30] Panea, B., G. Ripoll, J. González, A. Fernández-Cuello, P. Albertí (2013): Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken breast meat quality. *J Food Eng*, 123 (2013), 104-112

- [31] Picouet, P. A., A. Fernandez, C. E. Realini, E. Lloret (2014): Influence of PA6 nanocomposite films on the stability of vacuum-aged beef loins during storage in modified atmospheres. *Meat Sci*, 96 (2014), 574-580.
- [32] Rai, M., A.P. Ingle, I. Gupta, R. Pandit, P. Paralikar, A. Gade, M.V. Chaud, C.A. dos Santos (2019) Smart nanopackaging for the enhancement of food shelf life. *Environ Chem Lett*, 17 (2019), 277-290
- [33] Sharma, C., R. Dhiman, N. Rokana, H. Panwar (2017): **Nanotechnology: An Untapped Resource for Food Packaging**. *Front Microbiol*, 8 (2017), 1735
- [34] Silvestre, C., D. Duraccio, S. Cimmino (2011) Food packaging based on polymer nanomaterials. *Prog Polym Sci*, 36 (2011), 1766-1782
- [35] Sorrentino A., G. Gorrasia, V. Vittoria (2007) Potential perspectives of bionanocomposites for food packaging applications. *TIFS*, 18 (2007), 84-95
- [36] Ščetar M., M. Kurek, K. Galić (2010) Trends in meat and meat products packaging – a review. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, (1) (2010), 32-48
- [37] **Ultrafine and nanoparticle monitors**. 2014. Philips Co. Inc <http://www.aerasense.com/index.php?pageID=3>. Pristupljeno: 14.03.2023.
- [38] Villamizar, R., A. Maroto, R. F. Xavier, I. Inza, M. Figueras (2008): Fast detection of Salmonella Infantis with carbon analytical nanotechnology for food analysis 17 nanotube field effect transistors. *Biosens Bioelectron*, 24 (2008), 79-283.
- [39] Weiss, J., M. Gibis, V. Schuh, H. Salminen (2010): Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Sci*, 86 (2010), 196-213
- [40] Weiss, J., P. Takhistov, J. McClements (2006): Functional materials in food nanotechnology. *J Food Sci*, 71 (2010), 107-116

Dostavljeno/Received: 15.03.2023.

Prihvaćeno/Accepted: 08.05.2023.

Application of nanoparticles on fish and meat products packaging

Abstract

Nanotechnology as a new aspect of science that modifies the physical, chemical and biological properties of food, which leads to new applications in the food industry of meat and fish processing. Keeping up with other industries, the meat and fish processing industry has adopted new technology in a variety of applications to improve product quality and safety. Potential applications include improvement of taste, texture, production of low fat and low salt products, improved absorption of nutrients, improved packaging techniques and better pathogen detection system. Since the legal regulations related to nanomaterials are still completely undefined, it is extremely important to reduce the migration of nanoparticles to the smallest possible extent, otherwise it will not be accepted due to safety reasons and also due to negative consumer perception. From an economic point of view, the use of nanomaterials for packaging will most likely be more expensive, and therefore their selection in relation to other materials will need to show more significant functionality and thus justify the costs incurred.

Key words: nanotechnology, packaging, fish and meat products

Anwendung von Nanopartikeln auf Verpackungen für Fisch- und Fleischprodukte

Zusammenfassung

Die Nanotechnologie ist ein neuer Aspekt der Wissenschaft, durch den die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften von Lebensmitteln verändert werden, was zu neuen Anwendungen in der Lebensmittelindustrie für Fleisch und Fisch führt. Ebenso wie andere Industriezweige hat auch die fleisch- und fischverarbeitende Industrie neue Technologien in einer Reihe von Anwendungen eingesetzt, um die Produktqualität und -sicherheit zu verbessern. Zu den möglichen Anwendungen gehören die Verbesserung von Geschmack und Textur, die Herstellung von Produkten mit geringerem Fett- und Salzgehalt, die verbesserte Aufnahme von Nährstoffen, verbesserte Verpackungstechniken und ein besseres

System zum Nachweis von Krankheitserregern. Da die gesetzlichen Bestimmungen im Zusammenhang mit Nanomaterialien noch völlig undefiniert sind, ist es äußerst wichtig, die Migration von Nanopartikeln auf das kleinstmögliche Maß zu reduzieren, da sie sonst aus Sicherheitsgründen und aufgrund einer negativen Wahrnehmung durch die Verbraucher nicht akzeptiert werden. Aus wirtschaftlicher Sicht wird die Verwendung von Nanomaterialien für Verpackungen höchstwahrscheinlich teurer sein, so dass ihre Auswahl im Vergleich zu anderen Materialien eine höhere Funktionalität aufweisen muss, um die entstehenden Kosten zu rechtfertigen.

Schlüsselwörter: Nanotechnologie, Verpackung, Fisch- und Fleischprodukte

Aplicación de nanopartículas en el envasado de pescado y productos cárnicos

Resumen

La nanotecnología se presenta como un nuevo campo científico que altera las características físicas, químicas y biológicas de los alimentos, brindando nuevas posibilidades en el procesamiento de carne y pescado en la industria alimentaria. Con el fin de mejorar la calidad y seguridad del producto, la industria de procesamiento de carne y pescado ha adoptado diversas tecnologías, siguiendo el ritmo de otras industrias. Entre las aplicaciones potenciales, se encuentran la mejora del sabor y la textura, la producción de productos con bajo contenido de grasas y sales, una mejor absorción de nutrientes, mejores técnicas de envasado y sistemas de detección de patógenos más eficientes. Sin embargo, dado que la regulación legal en relación con los nanomateriales no está completamente definida, es de vital importancia reducir al máximo la migración de nanopartículas en los envases, ya que esto puede ser perjudicial para la salud y afectar negativamente la percepción del consumidor. En términos económicos, se espera que el uso de nanomateriales para envases sea más costoso que otros materiales, por lo que su elección deberá estar respaldada por una funcionalidad más significativa para justificar los costos adicionales.

Palabras claves: nanotecnología, envasado, pescado y productos cárnicos

Utilizzo delle nanoparticelle nel confezionamento di prodotti a base di pesce e di carne

Riassunto

La nanotecnologia, come nuovo aspetto della scienza che modifica le proprietà fisiche, chimiche e biologiche degli alimenti, trova nuove e interessanti applicazioni nell'industria alimentare della lavorazione della carne e del pesce. Al passo con altri settori, l'industria della lavorazione della carne e del pesce ha adottato nuove tecnologie in una serie di applicazioni per migliorare la qualità e la sicurezza dei prodotti alimentari. Le potenziali applicazioni includono il miglioramento del sapore e della consistenza degli alimenti, la produzione di prodotti a basso contenuto di grassi e sale, un migliore assorbimento dei nutrienti, migliori tecniche di confezionamento e migliori sistemi di rilevamento dei patogeni. Poiché la normativa in materia di nanomateriali è ancora del tutto indefinita, riguardo a questo metodo di confezionamento è estremamente importante ridurre il più possibile la migrazione delle nanoparticelle, altrimenti non sarà accettata per motivi igienico-sanitari e anche per la percezione negativa del consumatore. Dal punto di vista economico, l'utilizzo dei nanomateriali per il confezionamento sarà molto probabilmente più costoso rispetto all'utilizzo di altri materiali. Perché la scelta, quindi, ricada sui nanomateriali si dovranno evidenziare funzionalità più significative che possano giustificare i costi più sostenuti.

Parole chiave: nanotecnologie, packaging (confezionamento), prodotti a base di pesce e prodotti a base di carne