

Primjena nitrita i nitrata u mesnoj industriji i moguće alternative

Kaić Ana¹*, Rožanković Ivan¹, Karolyi Danijel¹

Sažetak

Nitriti i nitrati ključni su za mesnu industriju jer pomažu očuvati kvalitetu salamurenih proizvoda, odnosno stabiliziraju boju, inhibiraju rast mikroorganizama, sprječavaju oksidaciju lipida te omogućuju razvoj karakterističnog okusa i mirisa. Međutim, njihova primjena nosi rizik od stvaranja nitrozospoljeva, koji su potencijalno kancerogeni, što izaziva zabrinutost zbog njihovog dugoročnog zdravstvenog utjecaja. Alternativne metode konzerviranja, poput korištenja prirodnih izvora nitrata, starter kultura, plazmom aktivirana voda, termičke obrade, zračenja i visokog hidrostatskog tlaka, pokazuju potencijal u smanjenju upotrebe sintetičkih nitrita i nitrata. Iako ove alternative mogu djelomično zamijeniti njihove funkcije, nijedna ne može u potpunosti zamijeniti sve uloge nitrita i nitrata u mesnoj industriji. Daljnja istraživanja i razvoj novih tehnologija trebaju usmjeriti mesnu industriju prema smanjenju korištenja sintetičkih aditiva, uz očuvanje sigurnosti i kvalitete proizvoda, kako bi udovoljili sve strožim zakonskim zahtjevima i potrebama potrošača.

Ključne riječi: nitriti, nitrati, mesni proizvodi, alternative

Uvod

Danas je teško udovoljiti potrebama tržišta za visokokvalitetnim i senzorski privlačnim mesnim proizvodima bez uporabe prehrambenih aditiva. Aditivi su postali tehnološka nužnost u industrijskoj proizvodnji prerađene hrane jer omogućuju očuvanje kvalitete, produljenje roka trajanja i poboljšanje sigurnosti proizvoda. U slobodnoj prodaji gotovo je nemoguće pronaći hranu koja ne sadrži barem neki oblik aditiva (Katalenić, 2008.). Prema Zakonu o prehrambenim aditivima, aromama i prehrambenim enzimima (NN 39/13, NN 114/18, NN 36/22) te Pravilnicima o prehrambenim aditivima (NN 62/10,

NN 62/11, 135/11, NN 79/12), aditiv je definiran kao tvar koju se samu po sebi ne konzumira kao hranu, već se namjerno dodaje radi postizanja određenih tehnoloških učinaka tijekom proizvodnje, prerade, pakiranja, prijevoza ili skladištenja hrane. Prema istom Zakonu definirano je sveukupno 26 kategorija aditiva.

Aditivi se koriste u različite svrhe, uključujući konzerviranje, emulgiranje, stabilizaciju i poboljšanje okusa. Za mesno-prerađivačku industriju posebno su značajni konzervansi, antioksidansi, zakiseljivači, pojačivači okusa, bojila, fosfati,

¹ Izv.prof.dr.sc. Ana Kaić, Ivan Rožanković, mag.ing., prof.dr.sc. Danijel Karolyi – Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska; Rad je izvod iz diplomskog rada studenta Ivana Rožankovića naslova „Primjena aditiva u mesnoj industriji“.

*autor za korespondenciju: akaic@agr.hr

stabilizatori, zgušnjivači i emulgatori. Konzervansi, primjerice, sprječavaju kvarenje mesa stvaranjem nepovoljnih uvjeta za rast mikroorganizama odgovornih za kvarenje (Lovrić i sur., 2003.), antioksidansi usporavaju oksidaciju masti i produžuju trajnost proizvoda (Davidson i sur., 2012.), zakiseljivači pomažu u regulaciji pH vrijednosti (Sebranek i Bacus, 2007.), dok bojila poboljšavaju vizualni izgled proizvoda (Feiner, 2006.). Fosfati pridonose vezivanju vode i poboljšanju teksture mesa (Hui, 2012.), a emulgatori i stabilizatori omogućuju ravnomjernu distribuciju masti i drugih sastojaka, čime osiguravaju konzistentnu kvalitetu proizvoda (Pearson i Gillett, 1996.).

Soljenje i salamurenje dva su najčešća načina konzerviranja mesa, pri čemu kuhinjska sol (NaCl) ima ključnu ulogu. Sol ne samo da poboljšava okus i strukturu mesa i mesnih proizvoda, već smanjuje aktivnost vode, regulira osmotski tlak i inhibira rast mikroorganizama tijekom skladištenja (Bidlas i Lambert, 2008.). Salamurenje, koje uključuje smjesu kuhinjske soli, nitrita, nitrata i drugih sastojaka, odavno se koristi u proizvodnji suhomesnatih proizvoda, kobasica i mesnih konzervi. Osim što produžuje trajnost proizvoda, ovaj proces značajno doprinosi razvoju specifičnih okusa i mirisa karakterističnih za salamurene mesne proizvode (Daničić, 2020.).

Nitriti i nitrati

Među različitim aditivima, nitriti i nitrati zauzimaju posebno mjesto u modernoj mesnoj industriji. Njihova multifunkcionalna uloga uključuje očuvanje kvalitete, odnosno stabilizaciju boje salamurenih proizvoda, inhibiciju oksidacijskih procesa i zaštitu od štetnih mikroorganizama poput *Clostridium botulinum* (Sebranek i Bacus, 2007.). No, unatoč njihovim brojnim prednostima, uporaba ovih aditiva izaziva zabrinutost zbog mogućnosti stvaranja kancerogenih nitrozospojeva (Xie i su., 2023.). Zbog toga je nužno razumjeti ne samo njihov tehnološki značaj već i potencijalne zdravstvene rizike te istražiti alternative koje mogu smanjiti potrebu za sintetičkim nitritima i nitrati, uz istovremeno očuvanje sigurnosti i kvalitete proizvoda te usklađenost s važećim zakonskim propisima i preferencijama potrošača.

Najpoznatiji i najviše korišteni konzervansi u mesnoj industriji su nitriti i nitrati, koji igraju ključnu ulogu u preradi suhomesnatih proizvoda i sporo fermentirajućih kobasica. Kemijski gleda-

no, nitrati su soli dušične (nitratne) kiseline (HNO_3), dok su nitriti konjugirane baze dušikaste (nitritne) kiseline (HNO_2). U praksi, nitrati najčešće dolaze u obliku natrijevih (NaNO_3) ili kalijevih (KNO_3) soli, označenih E251 i E252, dok se nitriti obično nalaze kao natrijev nitrit (NaNO_2 , E250) ili kalijev nitrit (KNO_2 , E249) (Hui, 2012.). Njihova primjena u mesnoj industriji opravdana je njihovim multifunkcionalnim djelovanjem na meso, uključujući poboljšanje boje, inhibiciju rasta mikroorganizama, kontrolu oksidacije lipida, čime se sprječava užeglost (ranketljivost) masti (Pearson i Gillett, 1996.; Sebranek i Bacus, 2007.) te manje poznatom činjenicom da pridonose stvaranju jedinstvenog okusa ili mirisa (Ferysiuk i Wójciak, 2020.).

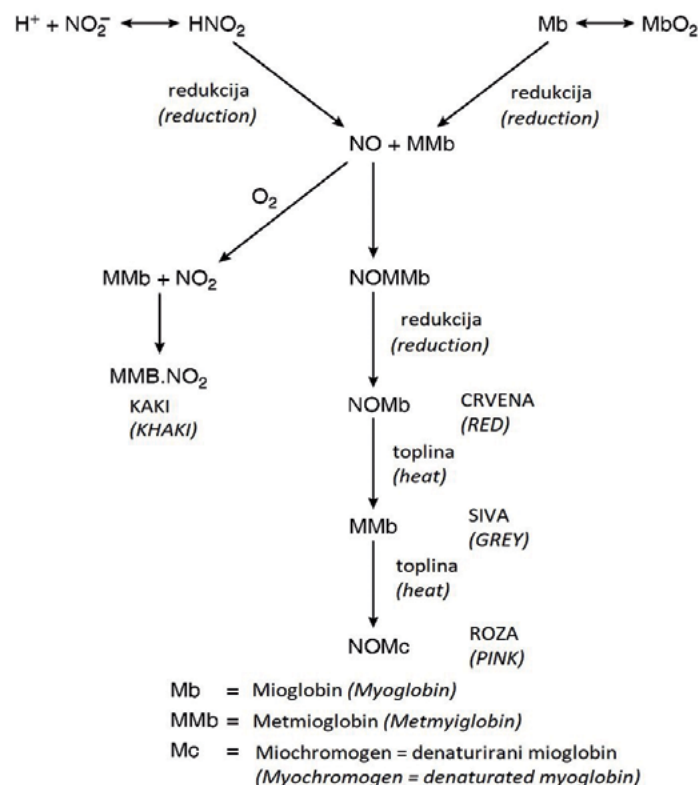
Nitrati uz pomoć denitrificirajućih bakterija, posebice iz roda *Micrococcus*, reduciraju u nitrite, čime ujedno djeluju kao njihov izvor. Nastala koncentracija nitrita, a ujedno i njihov antimikrobni učinak se tijekom tehnološkog procesa proizvodnje znatno smanjuje (Tompkin, 2005.). Nitrati se mogu pronaći u mesnim proizvodima u koje je prethodno dodan nitrit koji djelomično oksidira u nitrat izdvajanjem kisika, te u slučajevima kada nitrati dolaze iz vode, začina ili su izravno dodani. Nitrati i nitriti unose se u mesne proizvode putem različitih mješavina soli za salamurenje, uključujući: sol za salamuru (NaCl s 3 % NaNO ili KNO), nitritnu sol za salamuru (NaCl s 0,5–0,6 % nitrita izraženih kao NaNO), ili nitritnu sol za salamuru s dodatkom salitre (NaCl s 0,5–0,6 % nitrita izraženih kao NaNO i 0,9–1,2 % salitre izražene kao NaNO) (Kovačević, 2001.; Kovačević, 2014.). Nitrati se u mesnoj industriji koriste za proizvodnju sporo fermentiranih kobasica i proizvoda koji podliježu dugotrajnom procesu salamurenja (npr. šunke), pri čemu se prvo pretvaraju u nitrite. S druge strane, nitriti se najčešće koriste za proizvodnju brzo fermentiranih kobasica, čiji proces fermentacije počinje odmah (Honikel, 2008.).

Crvena boja mesa najvećim dijelom se pripisuje crvenom mišićnom pigmentu mioglobinu (Feiner, 2006.). Mioglobin je sarkoplazmatski protein koji uz manifestaciju boje ima ulogu reverzibilnog vezanja kisika. Sastoji se od jednog lanca globina i jednog hema, koji je funkcionalna skupina i osnova za boju. Mioglobin se u mesu nalazi u više oblika, a najčešće ga nalazimo u tri oblika: izvorni mioglobin, oksimioglobin i metmioglobin. Stanje mioglobina ovisi o valenciji željezovog (Fe) iona, jer ono uvjetuje koji ligand se veže na 6. koor-

dinatno mjesto u prstenu protoporfirina, odnosno hema. Oksimioglobin (MbO_2) nastaje vezanjem kisika na hem, dok je željezo u fero formi (Fe^{2+}). Ovaj oksigenirani pigment manifestira svijetlocrvenu boju, te se uočava na svježem mesu ostavljenog na zraku nekoliko minuta od rezanja. Metmioglobin (MMb) nastaje oksidacijom fero forme željeza u feri formu (Fe^{3+}). Pojavljuje se zbog nedostatka reducirajućih komponenti u mišićima, a karakteriziran je tamnosmeđom (tamnocrvenom) bojom (Feiner, 2006.).

Boja gotovog proizvoda bitan je pokazatelj uspješnosti same proizvodnje, kao i važan čimbenik u potrošačevoj odluci o kupnji proizvoda. Sukladno tome, u proizvodnji salamurenih mesnih proizvoda se primjenjuju nitriti i nitrati s ciljem stvaranja svijetlo crvene boje interakcijom s mioglobinom u mišićima, koja se nakon termičke obrade manifestira kao ružičasta boja. Jedan od značajnijih učinaka nitrita na konzervirano meso i mesne proizvode je stabilizacija crvene boje salamurenog mesa koja se razvija nizom reakcija od metmi-

oglobina do nitrozilmioglobina, prikazanih na slici 1 (Andrée i sur., 2010.; Ranken, 2000.). U kiselom mediju HNO_2 se disocira dajući dušikov (II) oksid (NO), dok se uslijed pro-oksidativnog djelovanja nitrita crveni mioglobin pretvara u smeđi metmioglobin. Dobiveni dušikov oksid i metmioglobin spajaju se u nitrozil-metmioglobin (NOMMb), koji se redukcijom pretvara u nitrozil-mioglobin (NOMb), supstancu odgovornu za svijetlocrvenu boju salamurenog mesa. Termičkom obradom dolazi do denaturacije nitrozil-mioglobina u nitrozil-miokromogen (NOMbCr), koji manifestira ružičastu boju mesa (Andrée i sur., 2010.). Pri proizvodnji fermentiranih kobasica razvoj salamurene boje mesa se pospješuje dodatkom NaCl-a i određenih zakiseljivača. Poznato je da se pri nižim pH vrijednostima (5,2 – 5,5) stvara veća količina dušikova (III) oksida (N_2O_3) zbog prisutnosti više molekula nedisocirane dušikaste kiseline. S druge strane, sol stvara nitrozil-klorid (NOCl) koji je jači prekursor NO od N_2O_3 , posljedično ubrzavajući formiranje nitrozil-mioglobina.



Slika 1. Promjena boje u konzerviranom mesu (Prilagođeno prema Ranken, 2000.)

Figure 1 Color change in cured meat (Adapted from Ranken, 2000.)

Osim formiranja poželjne boje fermentiranog mesa, nitriti i nitrati imaju zapaženu antimikrobnu ulogu, zbog čega se dodaju u kombinaciji s drugim faktorima radi unapređenja mikrobiološke ispravnosti proizvoda (Pichner i sur., 2006.). Primarni razlog njihova dodavanja je inhibicija sporulirajućih gram pozitivnih bakterija *Clostridium botulinum*, koje nakon konzumacije proizvode neurotoksine izazivajući intoksikacijski botulizam. Zapaženo je da nitriti utječu na bakterije prisutne u mesu, ali s različitom učinkovitošću. Dok vrlo učinkovito inhibiraju *Clostridium botulinum*, ne pokazuju jednako djelovanje protiv *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Streptococcus lactis* i *Streptococcus faecalis* (Davidson i sur., 2012.). Prema Karolyi-u (2003.) nitrit u formi nedisocirane nitritne kiseline prelazi ionsku barijeru stanične membrane, te na taj način narušava funkciju staničnih enzima i djelovanje bakterijske stanice. Dušikov (II) oksid se veže na ion željeza u bakterijskoj stanici i na taj način ugrožava njezine procese, pritom stvarajući peroksid dušika kojeg karakterizira citotoksično djelovanje. Poznato je da je antimikrobni učinak nitrita značajniji na gram pozitivne bakterije, međutim učinkovitost protiv gram negativnih bakterija također je značajna (Pichner i sur., 2006.).

Osim što djeluju na boju te inhibiraju rast i razmnožavanje mikroorganizama, nitriti djeluju i kao jaki antioksidanti u mesu i proizvodima od mesa (Zhang i sur., 2023.). Jo i sur. (2020.) navode da NO koji nastaje iz nitrita može konkurentno iscrpiti kisik autooksidacijom, vezati se za željezni ion u hemoglobinu, čime sprječava njegovu oksidaciju, te zaustaviti radikalne lančane reakcije oksidacije lipida. Ovi indirektni učinci nitrita mogu objasniti njegova antioksidativna svojstva. Ji i sur. (2020.) otkrili su da natrijev nitrit učinkovito inhibira oksidaciju lipida pri koncentraciji od 1×10^4 tijekom mariniranja ovčetine.

Nitriti su manje poznati po svojoj ulozi u stvaranju jedinstvenog okusa i mirisa suhomesnatih proizvoda (Ferysiuk i Wójciak, 2020.). Iako je općeprihvaćeno da nitriti utječu na okus mesa, reakcije koje uzrokuju ovaj učinak još uvijek nisu u potpunosti razjašnjene (Shakil i sur., 2022.). S potrošačkog stajališta, okus mesa, uz sočnost i mekoću, predstavlja ključni čimbenik koji određuje ukupnu „kvalitetu konzumacije“ (Ferysiuk i Wójciak, 2020.).

Zdravstveni rizici povezani s uporabom nitrita i nitrata

Svi aditivi u hrani, uključujući one koji se koriste u mesnim proizvodima, podvrgnuti su strogim istraživanjima, kontrolama i nadzoru kako bi se osigurala sigurnost potrošača i zaštita od potencijalnih zdravstvenih rizika. Međutim, korištenje nitrita i nitrata u mesnoj industriji izaziva zabrinutost među potrošačima zbog mogućih zdravstvenih prijetnji, osobito u kontekstu potencijalne tvorbe kancerogenih spojeva. Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) klasificirala je N-nitrozodimetilamin (NDMA) i N-nitrozodietilamin (NDEA) kao vjerojatno kancerogene za ljude. Osim njih, u mesnim proizvodima mogu se detektirati i drugi nitrozamini, uključujući N-nitrozodibutilamin (NDBA), N-nitrozopirrolidin (NPYR), N-nitrozopiperidin (NPiP), N-nitrozometilamin (NMOR) i N-nitrozodifenilamin (NDPhA), koji su također prepoznati kao potencijalno kancerogeni spojevi. Njihova tvorba povezana je s reakcijama između sekundarnih amina i nitrita tijekom prerade, skladištenja i termičke obrade mesnih proizvoda (IARC, 1978.).

Naime, u ljudskom organizmu razgradnja aminokiselina može dovesti do stvaranja sekundarnih amina i amida, koji u kombinaciji s nitritima mogu rezultirati nastankom kancerogenih dušikovih nitrozospojeva. Među tim spojevima su nitrozamini i nitrozoamidi, a procjenjuje se da od 45 % do 75 % ukupne izloženosti nitrozospojevima dolazi od endogene produkcije, dok ostatak potječe iz egzogenih izvora – hrane i pića, poglavito u formi nitrata koji se mogu reducirati u nitrite (Karolyi, 2003.). U većim količinama, nitriti mogu biti izravno štetni za zdravlje jer izazivaju razgradnju eritrocita i vitamina A. Glede unosa putem salamurenih mesnih proizvoda, približno 17 % nitrita koji se ne pretvori u nitrozilmioglobin reagira s aminima i stvara nitrozamine, koji su kancerogeni (Kovačević, 2001.). Zbog tih razloga, mesna industrija nastoji smanjiti udio nitrita u mesnim proizvodima. Pored toga značajno je povećana uporaba reducirajućih tvari, primjerice askorbata, koje priječe reakcije nastanka nitrozoamina, čime je još više smanjena potencijalna opasnost od tvorbe N nitrozo-spojeva u salamurenom mesu.

Unatoč tomu, nitrit ostaje jedini poznati konzervans koji učinkovito inhibira rast patogene bakterije *Clostridium botulinum* i sprječava stvaranje neurotoksina botulinuma. Zbog potencijalno štetnog utjecaja nitrita na ljudsko zdravlje, osobi-

to kancerogenog djelovanja nitrozamina, propisima su ograničene najveće dopuštene količine nitrita u mesnim proizvodima. Prema službenom mišljenju Znanstvenog odbora Hrvatske agencije za hranu, temeljenom na rezultatima istraživačkog projekta „Analiza i procjena sigurnosti prehrambenih aditiva (2010. – 2012.)“, aditivi natrijev i kalijev nitrit (E250 i E249) svrstani su u najrizičniju, treću sigurnosnu skupinu. Utvrđeno je da procijenjeni dnevni unos tih aditiva teorijski višestruko prelazi prihvatljiv dnevni unos, što ukazuje na potrebu za kontinuiranim praćenjem unosa nitrita u ljudski organizam. Unos nitrita u ljudski organizam prati se različitim metodama, poput prehrambenih anketa i kemijskih analiza uzoraka hrane i pića, koje omogućuju procjenu izloženosti potrošača i potencijalnih zdravstvenih rizika povezanih s njihovom konzumacijom.

Zakonska regulativa i smjernice

Zbog sve veće svijesti o mogućim zdravstvenim rizicima, broj potrošača koji traže proizvode s nižim sadržajem aditiva ili one konzervirane prirodnim metodama kontinuirano raste. Istovremeno, regulatorni standardi u Europskoj uniji i drugim regijama postaju sve stroži u pogledu dopuštenih količina nitrita i nitrata u mesnim proizvodima. Količine nitrita i nitrata u mesnim proizvodima regulirane su propisima Europske unije (Uredba (EZ) br. 1333/2008) te hrvatskim zakonodavstvom o aditivima (Pravilnik o prehrambenim aditivima (NN 62/10) i Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o prehrambenim aditivima (NN 62/11, NN 135/11, NN 79/12)). Prema navedenim propisima najviša dopuštena količina nitrata za toplinski neobrađeno meso iznosi 150 mg/kg, a za tradicionalne mesne proizvode 250 mg/kg.

Jedan od najnovijih propisa je Uredba (EZ) br. 2108/2023, usvojena 2023. godine, koja smanjuje dopušteni sadržaj nitrita i nitrata u trajnim kobasicama na 80 i 90 mg/kg⁻¹, počevši od 9. listopada 2025. godine. Proizvođači će biti obvezni prilagoditi svoje proizvodne procese kako bi zadovoljili ove nove standarde. Također, proizvođači moraju jasno označiti prisutnost nitrita i nitrata na ambalaži, što omogućuje potrošačima da donesu informirane odluke prilikom kupnje.

Nadležne institucije, poput Hrvatske agencije za poljoprivredu i hranu (HAPIH) i Državnog inspektorata, redovito provode inspekcije kako bi

osigurale usklađenost s važećim propisima i zaštite potrošače od potencijalnih zdravstvenih rizika. Istraživanja Kovačević i sur. (2016.) na suhim kobasicama s hrvatskog tržišta te Karolyi-a (2011.) i Mastanjević i sur. (2024.) na domaćem slavonskom kulenu ukazuju da mesni proizvodi sadrže varijabilne količine rezidualnih nitrita i nitrata, od zanemarivih pa do najvećih dopuštenih količina prema zakonskim regulativama. Prema Karolyi-u (2011.), prosječna koncentracija rezidualnih nitrita u slavonskom kulenu iznosila je 6,55 mg/kg⁻¹. Novija analiza Mastanjević i sur. (2024.) pokazuje još niže vrijednosti, pri čemu je koncentracija nitrita varirala od 0,98 do 9,84 mg/kg⁻¹, dok su nitrati bili prisutni u rasponu od 0 do 66,83 mg/kg⁻¹, što je unutar propisanih granica.

S druge strane, istraživanje Kovačević i sur. (2016.) na trajnim kobasicama s hrvatskog tržišta pokazalo je znatno veće vrijednosti. Srednja vrijednost nitrata iznosila je 130 mg/kg⁻¹ (s rasponom od 4 do 315 mg/kg⁻¹), dok je koncentracija nitrita bila u prosjeku 7 mg/kg⁻¹, s rasponom od 4 do 21 mg/kg⁻¹. Mastanjević i sur. (2024.) navode da su dobivene varijacije rezultat razlika u recepturama proizvođača (kao što su maseni udio dodanog Na-nitrata i Na-nitrita, dodatak šećera i starter kultura) te različitih tehnoloških parametara proizvodnje.

Alternativne metode konzerviranja

Zbog sve većih zahtjeva za smanjenjem upotrebe sintetičkih nitrita i nitrata, raste interes za alternativnim metodama konzerviranja mesa koje mogu zadržati ili poboljšati kvalitetu i sigurnost proizvoda. Smanjenje ukupne količine dodanih nitrita i nitrata u mesnim proizvodima moguće je postići optimizacijom receptura, primjenom alternativnih konzervansa te poboljšanjem tehnoloških procesa koji doprinose očuvanju mikrobiološke sigurnosti i stabilnosti proizvoda. Naime, proizvođači mogu postupno smanjivati količinu dodanih aditiva u fazama, pomno prateći učinke na stabilnost, boju i okus proizvoda (Higuero i sur., 2020.). Higuero i sur. (2020.) su utvrdili da 75 mg/kg⁻¹ ili 37,5 mg/kg⁻¹ nitrata i nitrita daje sličnu boju Iberijskom sušenom kareu kao tretman sa 150 mg/kg⁻¹ nitrata ili 150 mg/kg⁻¹ nitrita. Rezultati istraživanja ukazuju na to da postoji optimalna količina nitrata ili nitrita potrebna za postizanje željene crvene boje. Sukladno tome, optimizacija procesa mogla bi biti učinkovit pristup za kontrolu, odnosno smanjenje količine dodanih nitrata ili nitrita.

Iako potpuno uklanjanje ili zamjena nitrita, zbog njihove multifunkcijske uloge predstavlja izazov, istraživanja pokazuju da smanjenje njihove količine, uz primjenu alternativnih metoda, može biti vrlo učinkovito u mesnoj industriji. Primjerice, primjena prirodnih izvora nitrata u kombinaciji s inovativnim pristupima pokazuje značajan potencijal. Zhang i sur. (2023.) ističu da korištenje kombinacija konzervansa u nižim dozama, u kombinaciji s prirodnim antioksidansima poput ekstrakta ružmarina, može značajno smanjiti potrebu za nitritima u mesnoj industriji. Ključno je pritom osigurati da ove alternative ne kompromitiraju karakteristična svojstva prerađenih mesnih proizvoda, poput boje, okusa, mirisa i drugih važnih senzorskih karakteristika.

Prirodni izvori nitrata

Korištenje prirodnih izvora nitrata smanjuje ovisnost o sintetiziranim aditivima i može biti ekološki prihvatljivije jer se temelji na obnovljivim resursima. U ovom pristupu, mesni proizvodi se konzerviraju uz pomoć biljaka koje su bogate nitratima, a koje se obrađuju kako bi osigurale konzervacijski učinak sličan onom od sintetiziranih nitrita. Vitamini, biljni ekstrakti, začini, ljekovito bilje i voće istraženi su kao moguće alternative (Flores i Toldrá, 2021.; Gassara i sur., 2016.), budući da su ovi materijali ili njihovi sastojci pokazali antioksidativna i/ili bakteriostatska svojstva te sprječavaju nastanak nitrozamina. Iako mesni proizvodi i dalje sadrže određenu količinu nitrita i nitrata, sve se češće koriste prirodni izvori ovih spojeva, što može biti privlačno potrošačima koji preferiraju prirodnije sastojke. Prirodni nitrati iz povrća poput celera, špinata i blitve često se koriste kao zamjena za sintetske dodatke u mesnoj industriji. Međutim, iako nitriti i nitrati mogu potjecati iz prirodnih izvora, njihov kemijski sastav identičan je onome sintetičkih oblika koji se koriste kao aditivi. Stoga se prirodni izvori nitrita i nitrata ne mogu smatrati pravom alternativom sintetičkim dodacima, već samo njihovim alternativnim izvorom, pri čemu njihova sigurnost i učinkovitost ovise o dozi i uvjetima primjene. Najčešće korišteni prirodni izvori uključuju ekstrakte celera, špinata, blitve i cikle, kao i višnji prah, ružmarin te razne začine poput cimeta, klinčića, kima, češnjaka, papra, đumbira, kurkume i muškarnog oraščića (Bernardo i sur., 2021.; Shakil i sur., 2022.).

Primjeri primjene uključuju istraživanje Wang i sur. (2020.), gdje je ekstrakt ruže korišten kao zamjena za nitrite u polusuhim fermentiranim kobasicama. Kvaliteta kobasica značajno je poboljšana u usporedbi s onima koje sadrže 150 mg/kg natrijevog nitrita, a optimalna kombinacija bila je 10 % ekstrakta ruže i 80 mg/kg natrijevog nitrita. Khatib i sur. (2020.) istraživali su mogućnost djelomične zamjene nitrita u kuhanim goveđim kobasicama korištenjem nanoliposoma koji sadrže lupulon i ksantohumol (L-X-NL). Rezultati su pokazali da je zamjena 50 % nitrita ovim spojevima bila moguća bez negativnog utjecaja na senzorsku kvalitetu proizvoda. Osim toga, nanoliposomi su učinkovito sprječavali oksidaciju lipida, čime su pridonijeli očuvanju stabilnosti kobasica. Ozaki i sur. (2020.) istraživali su dodavanje praha rotkve (0,5 % ili 1,0 %) i eteričnog ulja origana (100 mg/kg) u fermentirane kuhane svinjske i goveđe kobasice. Ova kombinacija pokazala je poboljšanje boje i inhibiciju rasta mezofilnih bakterija, iako nije bila učinkovita u sprječavanju oksidacije lipida. Dodatni primjeri uključuju upotrebu 0,2 % cvijeta sofore i 1 % ljutog papra u kineskim kobasicama (Tang i sur., 2021.), 0,3 % praha bijelog kimchija i 0,5 % praha limunskog ekstrakta u prirodno sušenim kobasicama (Bae i sur., 2021.), što su također alternative s visokim potencijalom u ovoj zamjeni.

Ovi rezultati ukazuju na veliki potencijal korištenja prirodnih alternativa sintetskim nitratima, omogućujući očuvanje kvalitete i sigurnosti mesnih proizvoda. Nadalje, primjena prirodnih izvora nitrata omogućuje proizvođačima da označe proizvode kao "bez nitrita" (engl. „nitrite-free“), čime se povećava njihova privlačnost među potrošačima koji preferiraju „prirodnije“ opcije.

Međutim, važno je istaknuti da sadržaj nitrata u biljnim izvorima može značajno varirati ovisno o sezoni, uvjetima uzgoja i geografskom podrijetlu, što može otežati standardizaciju proizvodnih procesa (Bernardo i sur., 2021.; Shakil i sur., 2022.). Uz to, prirodni izvori nitrata mogu utjecati na senzorske karakteristike proizvoda, poput boje i okusa, zahtijevajući dodatnu kontrolu i prilagodbu proizvodnje kako bi se postigao optimalan senzorski profil (Ferysiuk i Wójciak, 2020.). Unatoč tim izazovima, korištenje biljnih izvora nitrata u mesnim proizvodima pruža održivu alternativu sintetiziranim nitritima i nitratima.

Fermentacija i starter kulture

Određeni mikroorganizmi pokazali su se učinkovitim u smanjenju i konverziji nitrita u mesnim proizvodima. Mikrobni enzimi mogu pretvoriti metmioglobin u NOMb, dajući mesnim proizvodima karakterističnu ružičastu boju (Zhang i sur., 2023.). Fermentacija, prirodni proces konzerviranja, koristi bakterije mliječne kiseline za snižavanje pH vrijednosti, čime se inhibira rast patogenih bakterija. Osim što konzervira, fermentacija poboljšava senzorska svojstva proizvoda, dajući proizvodima karakterističan okus i aromu. Starter kulture omogućuju kontroliranu fermentaciju, što je posebno važno u proizvodnji mesnih proizvoda poput kobasica, gdje osiguravaju ujednačenu kvalitetu. Upotreba starter kultura omogućuje smanjenje potrebe za sintetičkim aditivima, što ih čini privlačnim izborom za potrošače koji preferiraju alternative. Međutim, ključno je osigurati da primjena ovih kultura ne utječe negativno na okus i ukupnu kvalitetu proizvoda.

Huang i sur. (2019.) su tijekom pripreme suhomesnatih proizvoda bez dodanih nitrita koristili *Lactobacillus fermentum* RC4 i *L. plantarum* B6, pri čemu su postigli svijetlu boju i nisku razinu nitrita. U drugom istraživanju, Huang i sur. (2020.) primijenili su tri vrste stafilokoka (*Staphylococcus vitulinus*, *S. carnosus* i *S. equorum*) kako bi potaknuli proizvodnju NOMb uz pomoć katalize dušikovog oksida sintazom, čime su značajno povećali intenzitet tvorbe crvene boje mesnih proizvoda. Luo i sur. (2020.) dodali su *Lactobacillus fermentum* AS1.1880 u emulziju svinjskog mesa, potvrdivši kako je ova vrsta bakterije povećala intenzitet crvene boje mesa. Liu i sur. (2021.) koristili su komercijalni starter PRO-MIX5, koji sadrži *Staphylococcus xylose*, *Lactobacillus sakei* i *Lactobacillus plantarum*, za pripremu slanine te su utvrdili da je ovaj starter značajno smanjio sadržaj rezidualnih nitrita, ukupnih N-nitrozamina i njihovih prekursora.

Plazmom aktivirana voda

Plazma je četvrto stanje tvari koje nastaje ionizacijom plinova, pri čemu postaje bogata ionima, elektronima i slobodnim radikalima, što joj omogućuje visoku električnu vodljivost (Bai i sur., 2020.; Rivero i sur., 2022.). Postoje dvije vrste plazme: toplinska (nastaje pri 6000–20000 K) i netermalna plazma (NTP), poznata i kao hladna plazma, koja djeluje pri sobnim temperaturama (25–100 °C) (Šimončicová i sur., 2019.).

NTP se primjenjuje za dekontaminaciju hrane, u pročišćavanju vode, poljoprivredi i biomedicini (Šimončicová i sur., 2019.). Iako učinkovito uništava mikrobe, može izazvati neželjene promjene boje i teksture te oksidirati lipide u mesu čime dovodi do ubrzanog kvarenja (Jadhav i Annapure, 2021.). Kako bi se ti nedostaci smanjili, razvijena je plazmom aktivirana voda (PAV), koja nastaje interakcijom NTP-a s vodom. PAV sadrži visoko reaktivne kisikove i dušikove spojeve, poput nitrita, nitrata i vodikovog peroksida, koji imaju snažno antimikrobno djelovanje (Moutiq i sur., 2020.; Qian i sur., 2021.). Zhang i sur. (2023.) navode da se voda tretirana plazmom može koristiti kao učinkovita zamjena za nitrit ili nitrat.

Moutiq i sur. (2020.) koristili su atmosfersku NTP za tretiranje filea pilećih prsa i utvrdili da su razine prirodne mikroflore bile približno 2 log CFU/g niže nakon tretmana s atmosferskom hladnom plazmom napona 100 kV tijekom 5 minuta, dok je rok trajanja pilećih prsa produljen sterilizacijom mezofila, psihrotrofa i *Enterobacteriaceae* u mesu. Dong i Tu (2006.) koristili su atmosfersku NTP za tretiranje pečene janjetine i utvrdili da je tretman plazmom u trajanju od 45 minuta rezultirao za 30 % nižom koncentracijom zaostalog nitrita u usporedbi s janjetinom tretiranom dodanim nitritom, dok su ukupni senzorski rezultati bili slični u obje skupine.

Termička obrada

Nitrit se lako oksidira u visoko temperaturnim aerobnim uvjetima, poput kuhanja, što rezultira smanjenjem sadržaja nitrita u mesu ili mesnim proizvodima (Zhang i sur., 2023.). Waga i sur. (2017.) su utvrdili da nitrat inhibira auto degradaciju nitrita u svinjskoj šunki kuhanoj u vodenoj kupelji na 75 °C. Asioli i sur. (2017.) istraživali su učinke temperature suhog prženja (100, 150, 200 i 250 °C) na zaostali nitrit i razine N-nitrozamina u dimljenoj slanini te su utvrdili da sadržaj zaostalog nitrita u početku raste (od nekontroliranog zagrijavanja do 150 °C), a zatim naglo opada između 150 °C i 250 °C. Iammarino i sur. (2023.) analizirali su 60 uzoraka konzumiranih mesnih proizvoda kako bi se procijenile promjene u koncentracijama zaostalih nitrita i nitrata nakon tri različite vrste toplinske obrade: pečenja, roštiljanja i kuhanja. Utvrđeno je da kuhanje uzrokuje općenito smanjenje koncentracije oba aditiva, dok pečenje i osobito roštiljanje uzrokuju povećanje nitrata, a u nekim slučajevima i nitrita. Ovi rezultati

imaju važnu implikaciju u pogledu moguće povećane razine N-nitrozamina, čime se potvrđuje značaj pravilne toplinske obrade kao metode za smanjenje zaostalih nitrita u mesnim proizvodima.

Zračenje

Zračenje hrane obuhvaća tretman gama zrakama, rendgenskim zrakama ili elektronskim zrakama. Od svih ovih metoda, gama zračenje pokazuje najveći potencijal (Zhang i sur., 2023.). Međutim, njen razvoj i komercijalizacija bili su usporeni zbog nepovoljnih javnih stavova i percepcija. Podrška zračenju hrane od strane brojnih međunarodnih organizacija za zdravlje i sigurnost hrane djelomično je ublažila ovu percepciju, čime je povećano povjerenje potrošača i podignut interes prehrambene industrije (Zhang i sur., 2023.). Gama zračenje se pokazalo učinkovitim u smanjenju rezidualnih nitrita i N-nitrozamina u mesnim proizvodima. Ahn i sur. (2002.) utvrdili su da visoke doze gama zračenja (>10 kGy) značajno smanjuju razine rezidualnih nitrita u kobasicama tretiranih gama zračenjem. Wei i sur. (2009.) navode da doza od 5 kGy gama zračenja značajno smanjuje rezidualne nitrite u kineskoj Rugao šunki. Unatoč provedenim istraživanjima u posljednjim godinama, broj studija koje se bave učincima zračenja na smanjenje rezidualnih nitrita u mesnoj industriji i dalje je relativno mali.

Visoki hidrostatski tlak

Tretman hidrostatskim tlakom predstavlja inovativnu tehnologiju koja se primjenjuje na mesne proizvode ravnomjerno pri umjerenim temperaturama (manje od 45 °C) kao antimikrobni postupak s ciljem produljenja trajnosti proizvoda (Shakil i sur., 2022.). Ova metoda povećava trajnost mesnih proizvoda smanjenjem rasta patogenih mikroorganizama (San Martin i sur., 2002.; Patterson i sur., 2007.) i deaktivacijom enzima kroz dulje vremensko razdoblje, bez korištenja sintetskih aditiva (Shakil i sur., 2022.). Osim što osigurava sigurnost hrane, tretman hidrostatskim tlakom produljuje rok trajanja proizvoda uz minimalne promjene u teksturi i senzorskim svojstvima, uz očuvanje hranjivih tvari i okusa (Shakil i sur., 2022.). Učinkovitost tretmana u velikoj mjeri ovisi o pravilnoj prilagodbi tlaka i temperature prema karakteristikama proizvoda (Bolumar i sur., 2021.). Razina tlaka može varirati od 100 do 800 MPa, dok trajanje

tretmana obično traje od nekoliko sekundi do 20 minuta, ovisno o vrsti mikroorganizama i sastavu hrane (Rendueles i sur., 2011.; Chotyakul i Boonnoon, 2016.). Proces inhibicije mikroorganizama temelji se na njihovoj osjetljivosti na tlak. Membrane stanica mikroorganizama posebno su osjetljive na oštećenja uzrokovana hidrostatskim tlakom. Pod djelovanjem tlaka, membrane gube integritet, čime se narušava sposobnost stanica da reguliraju prolazak tekućina i elektrolita, što na kraju dovodi do gubitka sposobnosti reprodukcije (Hugas i sur., 2002.).

Gram-negativne bakterije općenito su otpornije na tlak u usporedbi s gram-pozitivnim bakterijama (Chotyakul i Boonnoon, 2016.). Primjenom ove metode prerađivači mesa mogu odgovoriti na rastuću potražnju potrošača za prirodnim i „bez konzervansa“ mesnim proizvodima, istovremeno osiguravajući stabilne senzorske karakteristike i sigurnost proizvoda tijekom duljeg skladištenja (Pettersson i sur., 2007.; Yordanov i sur., 2010.).

Tretman hidrostatskim tlakom tako predstavlja održivo rješenje za očuvanje kvalitete i sigurnosti mesnih proizvoda, eliminirajući štetne i patogene mikroorganizme te istovremeno zadovoljavajući zahtjeve suvremenih potrošača za visokokvalitetnim prehrambenim proizvodima.

Ros-Polski i sur. (2015.) navode da primjena tretmana hidrostatskim tlakom na usoljeno bijelo pileće meso poboljšava teksturu kuhanog mesa, dok u mljevenoj govedini poboljšava boju. Ti podaci ukazuju na mogućnost primjene tretmana kao opcije u preradbenom procesu koja smanjuje uporabu nitrita, a istovremeno zadržava fizikalna svojstva, kvalitetu i funkcionalnost mesa. Istraživanja su pokazala da natrijev nitrit može usporiti rast bakterije *Listeria monocytogenes* u gotovim mesnim proizvodima, ali ga ne može u potpunosti spriječiti, jer nema baktericidno djelovanje. Povećanjem koncentracije nitrita produljuje se faza mirovanja (lag faza) bakterije, što usporava njezin rast, no ne osigurava dugoročnu kontrolu patogena tijekom skladištenja (Mayers i sur., 2013.). Zbog toga se visoki hidrostatski tlak istražuje kao dodatna strategija za učinkovitu inhibiciju *L. monocytogenes* i poboljšanje sigurnosti mesnih proizvoda. Landry i sur. (2011.) ističu da je tretman hidrostatskim tlakom učinkovita strategija za smanjenje *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.* i *Listeria monocytogenes* u narezanom sušenom pršutu. *Salmonella*

spp. i *Campylobacter spp.* nisu pronađeni u narezanom sušenom pršutu tretiranom hidrostatskim tlakom pri 600 MPa (31 °C) tijekom 6 minuta, dok je *L. monocytogenes* pronađena u netretiranim uzorcima (25 g) na početku ispitivanja. Chotyakul i Boonnoon (2016.) navode da *Listeria monocytogenes* nije pronađena u uzorcima narezanog sušenog pršuta tretiranim visokim hidrostatskim tlakom i proučavanim tijekom 4 mjeseca pri 4 °C. Campus i sur. (2010.) zabilježili su smanjenje (10 logaritama) najotpornijeg soja *Listeria monocytogenes* u svinjskim kobasicama tretiranim visokim hidrostatskim tlakom pri 400 MPa i 50 °C tijekom 6 minuta. Simonin i sur. (2012.) te Rubio i sur. (2007.) dokazali su da tretman hidrostatskim tlakom usporava oksidaciju lipida u svinjskom mesu izloženom tlaku od 800 MPa, čime se produljuje rok trajanja.

Zaključak

Nitriti i nitrati i dalje igraju ključnu ulogu u mesnoj industriji pri čemu su važni za očuvanje kvalitete i sigurnosti mesnih proizvoda, te njihova

potpuna zamjena drugim aditivima još uvijek nije moguća. Razvijene su različite alternative, kao što su prirodni izvori nitrata, starter kulture, plazmom aktivirana voda, termička obrada, zračenje i tehnologija visokog tlaka, koje mogu djelomično zamijeniti nitrite, no nijedna od tih alternativa ne može u potpunosti ispuniti sve funkcije koje nitriti i nitrati obavljaju u procesu prerade mesa. Među istraženim alternativama, najveći potencijal za komercijalnu primjenu u mesnoj industriji imaju fermentirani biljni ekstrakti koji omogućuju kontrolirano dodavanje prirodnih nitrata u proizvodni proces uz očuvanje mikrobiološke sigurnosti i stabilnosti boje mesa te se kao takvi već koriste u komercijalne svrhe. Međutim, za daljnju implementaciju svih predloženih alternativa potrebna su dodatna istraživanja kako bi se pronašla ekonomična i učinkovita zamjena za sve njihove funkcije, uključujući očuvanje kvalitete, sigurnosti i senzorskih karakteristika mesnih proizvoda. U konačnici, razvoj ovih inovacija ne samo da će omogućiti industriji da zadovolji regulatorne zahtjeve, nego i proizvodnju koja je u skladu s potrebama modernih potrošača.

Literatura

- [1] Ahn, H., J. Kim, C. Jo, C. Lee, M. Byun (2002): Reduction of carcinogenic N-nitrosamines and residual nitrite in model system sausage by irradiation. *J Food Sci*, 67 (4), 1370–1373 DOI:10.1111/J.1365-2621.2002.TB10291.X
- [2] Andrée S., W. Jira, K.-H. Schwind, H. Wagner, F. Schwägele (2010): Chemical safety of meat and meat products. *Meat Sci*, 86 (1), 38–48 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.020>
- [3] Asioli, D., J. Aschemann-Witzel, V. Caputo, R. Vecchio, A. Annunziata, T. Næs, P. Varela (2017): Making sense of the “clean label” trends: a review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Res Int*, 99 (1), 58–71 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022>
- [4] Bae, S.M., S.H. Gwak, J. Yoon, J.Y. Jeong (2021): Effects of lemon extract powder and vinegar powder on the quality properties of naturally cured sausages with white kimchi powder. *Food Sci Anim Resour*, 41 (6), 950–966 DOI: 10.5851/kosfa.2021.e48
- [5] Bai, Y., A.I. Muhammad, Y. Hu, S. Koseki, X. Liao, S. Chen, X. Ye, D. Liu, T. Ding (2020): Inactivation kinetics of *Bacillus cereus* spores by plasma activated water (PAW). *Int Food Res*, 131, 109041 doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109041>
- [6] Bernardo, P., L. Patarata, J.M. Lorenzo, M.J. Fraqueza (2021): Nitrate is nitrate: the status quo of using nitrate through vegetable extracts in meat products. *Foods*, 10 (12), 3019 doi: <https://doi.org/10.3390/foods10123019>
- [7] Bidlas, E., R.J. Lambert (2008): Comparing the antimicrobial effectiveness of the NaCl and KCl with a view to salt/sodium replacement. *Int J Food Microbiol*, 124 (1), 98–102 doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.02.031
- [8] Bolumar, T., V. Orlien, A. Sikes, K. Aganovic, K.H. Bak, C. Guyon, A.S. Stubler, M. de Lamballerie, C. Hertel, D.A. Bruggemann (2021): High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 20, 332–368 <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12670>
- [9] Campus, M. (2010): High pressure processing of meat, meat products and seafood. *Food Eng Rev*, 2, 256–273
- [10] Chotyakul, N., N. Boonnoon (2016): High pressure food processing: An alternative technology to reduce food additives used in processed meat products. *Panyapiwat J*, 8, 327–341
- [11] Daničić, M. (2020): Konzerviranje mesa soljenjem i salamurenjem. Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
- [12] Davidson, P.M., T.M. Taylor, S.E. Schmidt (2012): Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. U: Doyle, M.P.,

- Diez-Gonzalez, M., Hill, C. (ur.). Food microbiology: fundamentals and frontiers. USA; ASM Press, 2012
- [13] Dong, Q., K. Tu (2006): Research progress on bacteriostatic mechanism of nitrite in preserved meat. *Progress in Modern Biomedicine*, 2 (3), 48–52
- [14] Feiner, G. (2006): Meat products handbook: Practical science and technology. England, Woodhead Publishing Limited. 2006
- [15] Ferysiuk, K., K.M. Wójciak (2020): Reduction of nitrite in meat products through the application of various plant-based ingredients. *Antioxidants*, 9 (8), 711 doi: 10.3390/antiox9080711.
- [16] Flores, M., F. Toldra (2021): Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products - invited review. *Meat Sci*, 171 (1), 1–12 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108272>
- [17] Gassara, F., A.P. Kouassi, S.K. Brar, K. Belkacemi (2016): Green alternatives to nitrates and nitrites in meat-based products—A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 56, 2133–2148 doi: 10.1080/10408398.2013.812610
- [18] Higuero, N., I. Moreno, G. Lavado, M.C. Vidal-Aragon, R. Cava (2020): Reduction of nitrate and nitrite in Iberian dry cured loins and its effects during drying process. *Meat Sci*, 163, 108061–108062 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108062>
- [19] Honikel, K.O. (2008): The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Sci*, 78, 68–76 doi:10.1016/j.meatsci.2007.05.030
- [20] Huang, L., Z. Sun, A. Wu, J. Sun, Z. Zeng, X. Zeng, D. Pan (2019): Optimization of processing technology for no-nitrite-added cured meat. *Journal of Ningbo University*, 32, 21–27
- [21] Huang, P., B.C. Xu, X.F. Shao, C.G. Chen, W. Wang, P.J. Li (2020): Theoretical basis of nitrosomyoglobin formation in a dry sausage model by coagulase-negative staphylococci: behavior and expression of nitric oxide synthase. *Meat Sci*, 161(3), 1–9 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108022>
- [22] Hugas, M. M. Garriga, J. Monfort (2002): New mild technologies in meat processing: High pressure as a model technology. *Meat Sci*, 62, 359–371 doi: 10.1016/s0309-1740(02)00122-5
- [23] Hui, Y.H. (2012): Handbook of Meat Processing / Hui, Y.H. (ur.). London; CRC Press, 2012
- [24] Iammarino, M., G. Berardi, I. Tomasevic, V. Nardelli (2023): Effect of different cooking treatments on the residual level of nitrite and nitrate in processed meat products and margin of safety (mos) assessment. *Foods*, 12(4), 869 doi: <https://doi.org/10.3390/foods12040869>
- [25] IARC (International Agency for Research in Cancer) (1978): Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 17: Some N-Nitroso Compounds. IARC, Lyon
- [26] Jadhav, H.B., U. Annapure, (2021): Consequences of non-thermal cold plasma treatment on meat and dairy lipids— A review. *Future Foods*, 4, 100095 doi: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100095>
- [27] Ji, X., G. Ma, Y. Chen, J. Jin, Q. Yu (2020): Effect of sodium nitrite on fatty acid composition and lipid oxidation of mutton in marinating process. *J Gansu Univ Technol*, 55, 195–202
- [28] Jo, K., S. Lee, H.I. Yong, Y.S. Choi, S. Jung (2020): Nitrite sources for cured meat products. *Food Sci Technol*, 129, 109583 doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109583>
- [29] Karolyi, D. (2003): Salamureno meso i zdravlje ljudi. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu, 5, 16–18
- [30] Karolyi, D. (2011): Fizikalno-kemijska, higijenska i organoleptička karakterizacija slavonskog kulena. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu, 6, 423–429
- [31] Katalenić, M. (2008): Aditivi i hrana. *Medicus*, 17 (1), 57–64
- [32] Khatib, N., M.J. Varidi, M. Mohebbi, M. Varidi, S. Hosseini (2020): Replacement of nitrite with lupulon–xanthohumol loaded nanoliposome in cooked beef-sausage: experimental and model based study. *J Food Sci Technol*, 57 (7), 2629–2639
- [33] Kovačević, D. (2001): Kemija i tehnologija mesa i ribe. Osijek; Prehrambeno tehnološki fakultet Osijek, 2001 doi: 10.1007/s13197-020-04299-4
- [34] Kovačević, D. (2014): Aditivi koji se koriste u industrijskoj proizvodnji fermentiranih kobasica. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu, 16 (3), 208–210
- [35] Kovačević, D., K. Mastanjević, K. Ćosić, J. Pleadin (2016): Količina nitrita i nitrata u mesnim proizvodima s hrvatskog tržišta. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu, 18 (2016), 40–46
- [36] Landry, A.P., X. Duan, H. Huang, H. Ding (2011): Iron–sulfur proteins are the major source of protein-bound dinitrosyl iron complexes formed in *Escherichia coli* cells under nitric oxide stress. *Free Radic Biol Med*, 50, 1582–1590 doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2011.03.005
- [37] Liu, L., X. Li, Y. Chen, L. Ma, H. Yang (2021): Effects of microbial nitrosation inhibitors on the quality of new bacon. *Meat Research*, 35 (2), 1–8
- [38] Lovrić, T., B. Tripalo, J. Hribar, A. Pozderović (2003): Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva. Zagreb; Hinus, 2003
- [39] Luo, H.T., P.J. Li, H.W. Zhang, X.P. Diao, B.H. Kong (2020): Nitrosylmyoglobin formation in meat by *Lactobacillus fermentum* AS1.1880 is due to its nitric oxide synthase activity. *Meat Sci*, 166(8), 1–7 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108122>
- [40] Mastanjević, K., D. Kovačević, M. Daničić, K. Habschied (2024): Levels of nitrite and nitrate content in traditional dry sausage “homemade kulen”. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu, 5 (2024), 419–427
- [41] Mayers, K., J. Cannon, D. Montoya, J. Dickson, S. Lonergan, J. Sebranek (2013): Effects of high hydrostatic pressure and varying concentrations of sodium nitrite from traditional and vegetable-based sources on the growth of *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat (RTE) sliced ham. *Meat Sci*, 94 (1), 69–76 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.12.019>
- [42] Moutiq, R., N. Misra, A. Mendonca, K. Keener (2020): In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: microbial, quality and storage studies. *Meat Sci*, 159 (1), 1–9 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107942>
- [43] NN 114/18 (2018): Zakon o izmjenama Zakona o prehrambenim aditivima, aromama i prehrambenim enzimima. Narodne novine br. 114
- [44] NN 135/11 (2011): Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o prehrambenim aditivima. Narodne novine br. 135
- [45] NN 36/22 (2022): Zakon o izmjenama i dopuni Zakona o prehrambenim aditivima, aromama i prehrambenim enzimima. Narodne novine br. 36

- [46] NN 39/13 (2013): Zakon o prehrambenim aditivima, aromama i prehrambenim enzimima. Narodne novine br. 39
- [47] NN 62/10 (2010): Pravilnik o prehrambenim aditivima. Narodne novine br. 62
- [48] NN 62/11 (2011): Pravilnik o izmjenama Pravilnika o prehrambenim aditivima. Narodne novine br. 62
- [49] NN 79/12 (2012): Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o prehrambenim aditivima. Narodne novine br. 79
- [50] Ozaki, M.M., M. Santos, W.O. Ribeiro, N. Ferreira, M. Pollonio (2020): Radish powder and oregano essential oil as nitrite substitutes in fermented cooked sausages. *Food Res Int*, 140 (3), 109855 doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109855>.
- [51] Patterson M.F., M. Linton, C.J. Doona (2007): Introduction to high pressure processing of foods, U: Doona, C.J. (ur.). High Pressure Processing of Foods. USA; Blackwell Publishing, 2007, 1–14
- [52] Pearson, A.M., T.A. Gillett (1996): Processed meats. USA; Springer Science & Business Media, 1996
- [53] Pichner, R., H. Hechelmann, H. Steinrück, M. Gareis (2006): Shigatoxin producing *Escherichia coli* (STEC) in conventionally and organically produced salami products. *Fleischwirtschaft*, 10, 112–114
- [54] Qian, J., C. Wang, H. Zhuang, M.M. Nasiru, J. Zhang, W. Yan (2021): Evaluation of meat-quality and myofibrillar protein of chicken drumsticks treated with plasma-activated lactic acid as a novel sanitizer. *LWT*, 138, 110642 doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110642>
- [55] Ranken, M.D. (2000): Handbook of meat product technology. USA; Blackwell Science, 2000
- [56] Rendueles, E., M.K. Omer, O. Alvseike, C. Alonso-Calleja, R. Capita, M. Prieto (2011): Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. *LWT-Food Sci Technol*, 44, 1251–1260
- [57] Rivero, W.C., Q. Wang, D. Salvi (2022): Impact of plasma-activated water washing on the microbial inactivation, color, and electrolyte leakage of alfalfa sprouts, broccoli sprouts, and clover sprouts. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 81, 103123 doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103123>
- [58] Ros-Polski, V., T. Koutchma, J. Xue, C. Defelice, S. Balamurugan (2015): Effects of high hydrostatic pressure processing parameters and NaCl concentration on the physical properties, texture and quality of white chicken meat. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 30, 31–42 doi: [10.1016/j.ifset.2015.04.003](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.003)
- [59] Rubio, B., B. Martinez, D. Garcia-Cachan, J. Rovira, I. Jaime (2007): The effects of high pressure treatment and of storage periods on the quality of vacuum-packed “salchichón” made of raw material enriched in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 8, 180–187 doi: [10.1016/j.ifset.2006.09.005](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.09.005)
- [60] San Martin, M., G. Barbosa-Cánovas, B. Swanson (2002): Food processing by high hydrostatic pressure. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 42, 627–645 doi: [10.1080/20024091054274](https://doi.org/10.1080/20024091054274)
- [61] Sebranek, J.G., J.N. Bacus (2007): Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Sci*, 77(2007), 136–147 doi: [10.1016/j.meatsci.2007.03.025](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.025)
- [62] Shakil, M.H., A.T. Trisha, M. Rahman, S. Talukdar, R. Kobun, N. Huda, W. Zzaman (2022): Nitrites in cured meats, health risk issues, alternatives to nitrites: a review. *Foods*, 11(21), 3355 doi: [10.3390/foods11213355](https://doi.org/10.3390/foods11213355)
- [63] Simonin, H., F. Duranton, M. de Lamballerie (2012): New insights into the high-pressure processing of meat and meat products. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 11, 285–306 doi: [10.1111/j.1541-4337.2012.00184.x](https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00184.x)
- [64] Šimončicová, J., S. Kryštofová, V. Medvecká, K. Ďurišová, B. Kaliňáková (2019): Technical applications of plasma treatments: Current state and perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol*, 103 (13), 5117–5129 doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09877-x>
- [65] Tang, R., J. Peng, L. Chen, D. Liu, W. Wang, X. Guo (2021): Combination of Flos Sophorae and chili pepper as a nitrite alternative improves the antioxidant, microbial communities and quality traits in Chinese sausages. *Food Res Int*, 141 (3), 1–9
- [66] Tompkin, R.B. (2005): Nitrite. U: Davidson, P.M., Sofos, J.N., Branen, A.L. (ur). *Antimicrobials in Food*. London; CRC Press, 2005
- [67] UREDBA KOMISIJE (EU) 2023/2108 od 6. listopada 2023. o izmjeni Priloga II. Uredbi (EZ) br. 1333/2008 Europskog parlamenta i Vijeća i Priloga Uredbi Komisije (EU) br. 231/2012 u pogledu prehrambenih aditiva nitrita (E 249–250) i nitrata (E 251–252)
- [68] Waga, M., S. Takeda, R. Sakata (2017): Effect of nitrate on residual nitrite decomposition rate in cooked cured pork. *Meat Sci*, 129 (7), 135–139 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.03.002>
- [69] Wang, Y., Y. Huang, L. Chai (2020): The effect of substituting nitrite with rose extract on the quality of semi-dried fermented sausage. *Food Ferment Ind*, 47 (13), 219–231
- [70] Wei, F., X. Xu, G. Zhou, G. Zhao, C. Li, Y. Zhang, J. Qi (2009): Irradiated Chinese Rugao ham: changes in volatile N-nitrosamine, biogenic amine and residual nitrite during ripening and post-ripening. *Meat Sci*, 81 (3), 451–455 doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.09.005>
- [71] Xie, Y., Y. Geng, J. Yao, J. Ji, F. Chen, J. Xiao, X. Hu, L. Ma (2023): N-nitrosamines in processed meats: Exposure, formation and mitigation strategies. *J Agric Food Res*, 2023, 13 doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100645>
- [72] Yordanov, D., G. Angelova (2010): High pressure processing for foods preserving. *Biotechnol Biotechnol Equip*, 24, 1940–1945 doi: [10.2478/V10133-010-0057-8](https://doi.org/10.2478/V10133-010-0057-8)
- [73] Zhang, Y., Y. Zhang, J. Jia, H. Peng, Q. Qian, Z. Pan, D. Liu (2023): Nitrite and nitrate in meat processing: functions and alternatives. *Curr Res Food Sci*, 24 (6), 100470 doi: [10.1016/j.crfs.2023.100470](https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100470)

Application of Nitrites and Nitrates in the Meat Industry and Possible Alternatives

Abstract

Nitrites and nitrates are essential in the meat industry as they help to maintain the quality of cured products by stabilizing colour, inhibiting microbial growth, preventing lipid oxidation and contributing to the development of the characteristic flavour and aroma. However, their use carries the risk of forming nitroso compounds, which are potentially carcinogenic and raise concerns about their long-term health effects. Alternative preservation methods, such as the use of natural nitrate sources, starter cultures, plasma-activated water, thermal processing, irradiation and high hydrostatic pressure, have the potential to reduce reliance on synthetic nitrites and nitrates. Although these alternatives can partially replace their functions, none of them can completely take over all the functions of nitrites and nitrates in the meat industry. Further research and the development of new technologies should lead the meat industry to reduce the use of synthetic additives while maintaining product safety and quality to meet increasingly stringent regulatory requirements and consumer demands.

Keywords: nitrites, nitrates, meat products, alternatives

Verwendung von Nitriten und Nitraten in der Fleischindustrie und mögliche Alternativen

Zusammenfassung

Nitrite und Nitrate sind in der Fleischindustrie unverzichtbar, da sie zur Erhaltung der Qualität von gepökelten Produkten beitragen, indem sie die Farbe stabilisieren, das mikrobielle Wachstum hemmen, die Lipidoxidation verhindern und zur Entwicklung des charakteristischen Geschmacks und Aromas beitragen. Ihre Verwendung birgt jedoch das Risiko der Bildung von Nitrosoverbindungen, die potenziell krebserregend sind und Bedenken hinsichtlich ihrer langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen wecken. Alternative Konservierungsmethoden, wie die Verwendung natürlicher Nitratquellen, Starterkulturen, plasmaaktiviertes Wasser, thermische Verarbeitung, Bestrahlung und hoher hydrostatischer Druck, haben das Potenzial, die Abhängigkeit von synthetischen Nitriten und Nitraten zu verringern. Obwohl diese Alternativen deren Funktionen teilweise ersetzen können, kann keine von ihnen alle Funktionen von Nitriten und Nitraten in der Fleischindustrie vollständig übernehmen. Weitere Forschungen und die Entwicklung neuer Technologien sollten die Fleischindustrie in die Lage versetzen, den Einsatz synthetischer Zusatzstoffe zu verringern und gleichzeitig die Produktsicherheit und -qualität zu erhalten, um den immer strengeren gesetzlichen Anforderungen und den Wünschen der Verbraucher gerecht zu werden.

Schlüsselwörter: Nitrite, Nitrate, Fleischerzeugnisse, Alternativen

Aplicación de los nitritos y nitratos en la industria cárnica y posibles alternativas

Resumen

Los nitritos y nitratos son esenciales en la industria cárnica, ya que ayudan a mantener la calidad de los productos curados al estabilizar el color, inhibir el crecimiento microbiano, prevenir la oxidación lipídica y contribuir al desarrollo del sabor y aroma característicos. Sin embargo, su uso

conlleva el riesgo de formar compuestos nitrosos, los cuales son potencialmente carcinógenos y generan preocupaciones sobre sus efectos a largo plazo en la salud. Métodos alternativos de conservación, como el uso de fuentes naturales de nitratos, cultivos iniciadores, agua activada por plasma, procesamiento térmico, radiación y alta presión hidrostática, tienen el potencial de reducir la dependencia de los nitritos y nitratos sintéticos. Aunque estas alternativas pueden reemplazar parcialmente sus funciones, ninguna de ellas puede asumir completamente todas las funciones de los nitritos y nitratos en la industria cárnica. Se requiere más investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías para que la industria cárnica logre reducir el uso de aditivos sintéticos, manteniendo la seguridad y calidad del producto, a fin de cumplir con los requisitos regulatorios cada vez más estrictos y las demandas de los consumidores.

Palabras claves: nitritos, nitratos, productos cárnicos, alternativas

Utilizzo dei nitriti e dei nitrati nell'industria della carne e possibili alternative

Riassunto

I nitriti e i nitrati sono essenziali per l'industria della carne, poiché aiutano a preservare la qualità dei prodotti in salamoia, stabilizzano il colore, inibiscono la crescita dei microrganismi, prevengono l'ossidazione dei lipidi e consentono lo sviluppo di un sapore e un odore caratteristici. Tuttavia, il loro utilizzo comporta il rischio di formazione di nitrosocomposti (o nitrosoderivati), che sono potenzialmente cancerogeni, suscitando preoccupazioni riguardo ai loro effetti sulla salute a lungo termine. Metodi alternativi di conservazione, come l'uso di fonti naturali di nitrati, colture starter, acqua attivata al plasma, trattamenti termici, radiazioni e alta pressione idrostatica, mostrano potenzialità nel ridurre l'uso di nitriti e nitrati sintetici. Sebbene queste alternative possano parzialmente sostituire le loro funzioni, nessuna può sostituire completamente tutti i ruoli ricoperti dai nitriti e dai nitrati nell'industria della carne. Ulteriori ricerche e lo sviluppo di nuove tecnologie devono indirizzare l'industria della carne verso la riduzione dell'uso di additivi sintetici, preservando la sicurezza e la qualità dei prodotti, al fine di soddisfare i requisiti legislativi sempre più severi e le esigenze dei consumatori.

Parole chiave: nitriti, nitrati, prodotti a base di carne, alternative

