PREGLEDNI RAD

Visokotlačna obrada i hladna plazma kao inovativni pristupi održivom očuvanju mesa

Nives Marušić Radovčić[1]*

Sažetak

Meso je zbog visokog sadržaja vode i hranjivih tvari izrazito podložno mikrobiološkom kvarenju, zbog čega postoji stalna potreba za učinkovitim metodama očuvanja koje osiguravaju sigurnost proizvoda uz očuvanje njegove kvalitete. Među inovativnim netermičkim tehnologijama posebno se izdvajaju visokotlačna obrada (High Pressure Processing, HPP) i hladna plazma (Cold Plasma, CP), koje omogućuju učinkovitu inaktivaciju mikroorganizama uz minimalne promjene senzorskih i nutritivnih svojstava mesa. Cilj ovog preglednog rada bio je prikazati mehanizme djelovanja, područja primjene, prednosti i ograničenja HPP-a i CP-a u očuvanju mesa i mesnih proizvoda te analizirati njihov doprinos održivoj preradi hrane. HPP je regulatorno prihvaćena tehnologija koja osigurava volumetrijsku inaktivaciju mikroorganizama i produljenje trajnosti, dok CP pokazuje značajan potencijal za površinsku dekontaminaciju mesa i ambalaže uz nisku potrošnju energije i vode. Međutim, učinkovitost obje tehnologije ovisi o vrsti proizvoda i procesnim parametrima, a primjena CP-a još uvijek zahtijeva dodatna istraživanja i regulatornu validaciju. Može se zaključiti da HPP predstavlja tehnološki zrelu metodu za primjenu u mesnoj industriji, dok CP ima velik potencijal kao buduća tehnologija u proizvodnji sigurnijih, kvalitetnijih i održivijih mesnih proizvoda.

Ključne riječi: meso; visokotlačna obrada; hladna plazma; netermičke tehnologije; trajnost; mikrobiološka sigurnost; clean-label proizvodi

Uvod

Meso predstavlja jednu od najvažnijih namirnica u ljudskoj prehrani zbog visokog sadržaja visokovrijednih proteina, esencijalnih aminokiselina te brojnih mikronutrijenata poput vitamina B skupine, osobito vitamina B12, i bioraspoloživih minerala kao što su željezo i cink (Leroy i sur., 2023.). Međutim, bogat kemijski sastav i visok sadržaj vode čine meso izrazito kvarljivom namirnicom i pogodnim supstratom za rast različitih mikroorganizama, uključujući patogene bakterije poput *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* i *Campylobacter* spp. (Bhandare i sur., 2007.; Lee i Yoon, 2024.). Kontaminacija mesa navedenim mikroorganizmima može uzrokovati bolesti koje se prenose hranom te značajne gospodarske gubitke u prehrambenom sektoru. Zbog toga su metode očuvanja i konzerviranja mesa ključne za osiguravanje zdravstvene sigurnosti, produljenje trajnosti i očuvanje kvalitete mesa i mesnih proizvoda (Lee i Yoon, 2024.). Tradicionalne metode, poput soljenja, sušenja, salamurenja, fermentacije, pasterizacije i sterilizacije, kao i primjena kemijskih konzervansa, i dalje predstavljaju osnovu industrijske prakse (Bunčić i sur., 2014.). Iako učinkovito smanjuju mikrobiološko opterećе-

[1] **Nives Marušić Radovčić,** izvanredni profesor; Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet
autor za korespondenciju: nmarusic@pbf.hr

nje i produljuju trajnost proizvoda, navedeni postupci često negativno utječu na senzorska i nutritivna svojstva mesa. Termička obrada može uzrokovati promjene teksture, boje i sočnosti te smanjenje sadržaja pojedinih termolabilnih vitamina, dok uporaba nitrata i nitrita izaziva zabrinutost potrošača zbog mogućih rezidualnih količina ovih spojeva u proizvodu i mogućeg nastanka N-nitrozamina tijekom prerade i skladištenja.

Suvremeni trendovi u prehrambenoj industriji usmjereni su prema razvoju naprednih tehnologija koje omogućuju očuvanje sigurnosti i kvalitete proizvoda uz minimalne promjene nutritivnih i senzorskih svojstava mesa (Radi i sur., 2023.) uz istodobno smanjenje utjecaja proizvodnih procesa na okoliš (Gavahian i sur., 2024.; Lisboa i sur., 2024.). Posljednjih desetljeća značajno raste interes za inovativne netermičke tehnologije koje se mogu primjenjivati samostalno ili u okviru koncepta višestrukih prepreka (hurdle technology), odnosno kombinacije više blagih postupaka očuvanja kojima se postiže mikrobiološka sigurnost i produljuje trajnost proizvoda uz minimalno narušavanje njihove kvalitete (Slavov i sur., 2019.). Istodobno, suvremeni potrošači sve više preferiraju minimalno procesirane proizvode s manjim udjelom soli i aditiva, odnosno proizvode koji odgovaraju konceptu clean-label te zadržavaju svojstva svježeg mesa.

Među netermičkim tehnologijama posebno se izdvajaju visokotlačna obrada (*High Pressure Processing*, HPP) i hladna plazma (*Cold Plasma*, CP), koje se smatraju dvjema najperspektivnijim netermičkim tehnologijama očuvanja mesa i mesnih proizvoda (Rosario i sur., 2021.; Lee i Yoon, 2024.). HPP omogućuje učinkovitu volumetrijsku inaktivaciju mikroorganizama primjenom visokog hidrostatskog tlaka uz minimalno povećanje temperature proizvoda, dok CP ostvaruje antimikrobni učinak prvenstveno na površini mesa djelovanjem reaktivnih kisikovih i dušikovih kemijskih vrsta. Obje tehnologije mogu doprinijeti produljenju trajnosti proizvoda, smanjenju potrebe za kemijskim konzervansima te razvoju proizvoda u skladu s konceptom *clean-label*, no njihova učinkovitost, utjecaj na kvalitetu proizvoda i razina industrijske primjene ovise o vrsti proizvoda i uvjetima obrade.

Cilj ovog preglednog rada jest prikazati i analizirati dosadašnje spoznaje o primjeni visokotlačne obrade i hladne plazme u očuvanju mesa i mesnih proizvoda, s naglaskom na njihove mehanizme djelovanja, antimikrobnu učinkovitost, utjecaj na fizikalno-kemijska, senzorska i nutritivna svojstva mesa, regulatorni status, održivost procesa te mogućnosti i ograničenja njihove primjene u suvremenoj mesnoj industriji.

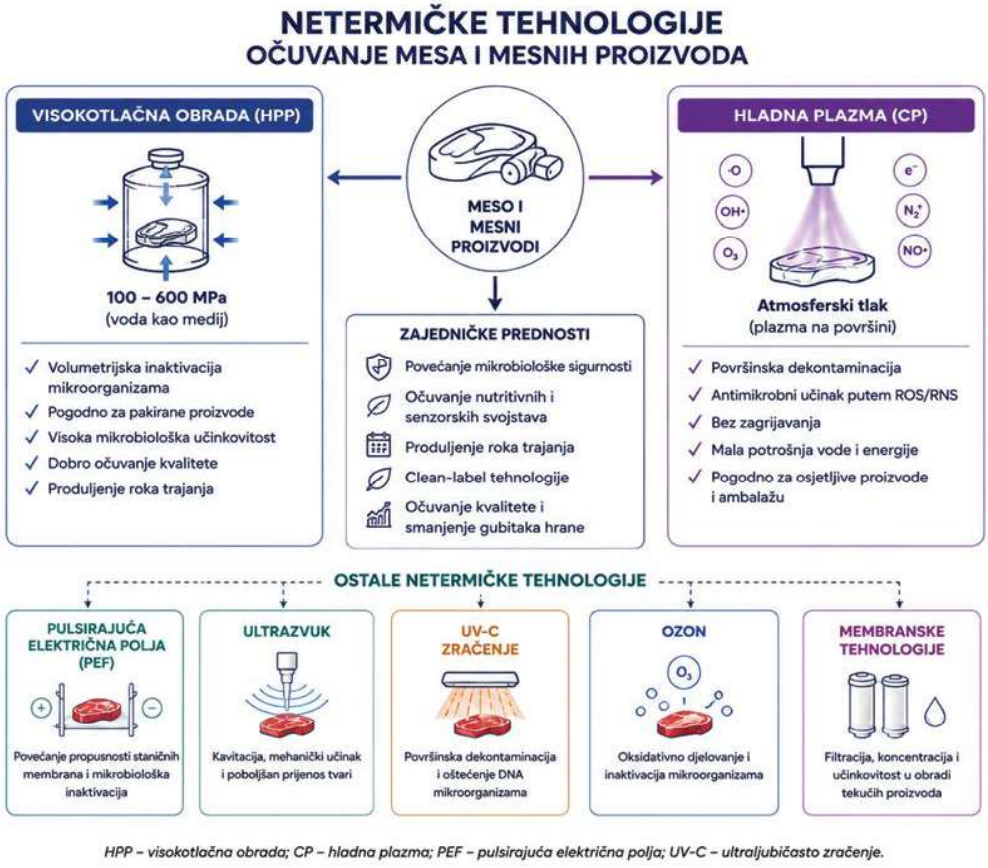
Nove tehnologije očuvanja mesa

Iako tradicionalni postupci, poput pasterizacije, sterilizacije, sušenja i salamurenja, i dalje imaju važnu ulogu u preradi mesa, rastući zahtjevi potrošača za minimalno obrađenim i clean-label proizvodima potaknuli su razvoj novih tehnologija očuvanja hrane. Sve veći interes za primjenu netermičkih tehnologija potvrđuje i njihov tržišni razvoj. Prema podacima Data Bridge Market Researcha, globalno tržište netermičkih tehnologija procijenjeno je na približno 1,43 milijarde američkih dolara u 2021. godini, dok se do 2029. godine očekuje rast na gotovo 5,87 milijardi američkih dolara uz prosječnu godišnju stopu rasta od 19,3 % (Bridge, 2021.). Ovakav trend odražava sve veću potrebu prehrambene industrije za tehnologijama koje omogućuju proizvodnju sigurnije hrane uz očuvanje njezine kvalitete i primjenu održivijih postupaka prerade (Lee i Yoon, 2024.).

Danas se u prehrambenoj industriji istražuje i primjenjuje niz netermičkih tehnologija, uključujući visokotlačnu obradu (*High Pressure Processing*, HPP), hladnu plazmu (*Cold Plasma,* CP), pulsirajuća električna polja (*Pulsed Electric Fields*, PEF), ultrazvuk, UV-C zračenje, ozon, ionizirajuće zračenje i membranske tehnologije. Njihova primjena ovisi o vrsti proizvoda, ciljanim mikroorganizmima i željenom učinku obrade, a zajednički im je cilj povećanje mikrobiološke sigurnosti, produljenje trajnosti te bolje očuvanje senzorskih i nutritivnih svojstava hrane uz smanjenu potrošnju energije i vode (Rosario i sur., 2021.; Ucar i sur., 2021.).

Slika 1. prikazuje najvažnije netermičke tehnologije koje se primjenjuju u očuvanju mesa i mesnih proizvoda. Iako se u prehrambenoj industriji istražuje i primjenjuje veći broj netermičkih postupaka, uključujući pulsirajuća električna polja, ultrazvuk, UV-C zračenje, ozon i membranske tehnologije, najveću pozornost u području prerade mesa privukle su visokotlačna obrada i hladna plazma zbog njihove sposobnosti učinkovite inaktivacije mikroorganizama uz očuvanje fizikalno-kemijskih, nutritivnih i senzorskih svojstava proizvoda (Bolumar i sur., 2021.; Harikrishna i sur., 2023.).

HPP omogućuje volumetrijsku inaktivaciju mikroorganizama primjenom visokoga hidrostat-



**Izradio autor uz pomoć alata OpenAI ChatGPT*

Slika 1. Netermičke tehnologije očuvanja mesa i mesnih proizvoda te njihove glavne značajke
Figure 1 Non-thermal technologies for the preservation of meat and meat products and their main characteristics

skog tlaka, dok CP ostvaruje antimikrobni učinak prvenstveno na površini proizvoda djelovanjem reaktivnih kisikovih i dušikovih kemijskih vrsta. Obje tehnologije imaju značajan potencijal za produljenje trajnosti mesa i mesnih proizvoda, smanjenje uporabe kemijskih konzervansa te razvoj proizvoda u skladu s konceptom *clean-label*. Međutim, njihove se mogućnosti primjene, učinkovitost, utjecaj na kvalitetu proizvoda i stupanj industrijske razvijenosti razlikuju, zbog čega su u nastavku rada detaljnije prikazani njihovi mehanizmi djelovanja, prednosti, ograničenja i mogućnosti primjene u mesnoj industriji.

Visokotlačna obrada u mesnoj industriji

Visokotlačna obrada (*high-pressure processing*, HPP) jedna je od najrazvijenijih netermičkih tehnologija očuvanja hrane koja se temelji na primjeni hidrostatskog tlaka, najčešće u rasponu od 100 do 600 MPa. Takva razina tehnološke razvijenosti rezultat je više od dva desetljeća industrijske primjene i kontinuiranog razvoja HPP sustava (Hugas i sur., 2002.). Tlak se izostatički prenosi kroz cijeli proizvod neovisno o njegovu obliku i veličini, čime se postiže jednolika obrada bez značajnoga porasta temperature. Takav način obrade omogućuje učinkovitu inaktivaciju vegetativnih mikroorganizama uz bolje očuvanje nutritivnih, senzorskih i funkcionalnih svojstava proizvoda u usporedbi s konvencionalnim toplinskim postupcima (Campus, 2010.; Bolumar i sur., 2021.).

Primarni mehanizam antimikrobnoga djelovanja HPP-a uključuje narušavanje integriteta stanične membrane, denaturaciju proteina, inaktivaciju enzima i poremećaj metaboličkih procesa, što dovodi do odumiranja vegetativnih bakterijskih stanica.

Učinkovitost obrade ovisi o primijenjenom tlaku, vremenu obrade, temperaturi, sastavu proizvoda te vrsti i fiziološkom stanju mikroorganizama. Bakterijske spore znatno su otpornije na tlak pa je za njihovu učinkovitu inaktivaciju često potrebno kombinirati HPP s povišenom temperaturom ili drugim metodama konzerviranja (Campus, 2010.; Bolumar i sur., 2021.; Akhtar i sur., 2022.).

Osim mikrobiološke sigurnosti, HPP može utjecati i na fizikalno-kemijska svojstva mesa. Kod svježeg crvenog mesa mogu se pojaviti promjene boje povezane s denaturacijom mioglobina te promjene teksture uslijed modifikacije proteinske strukture, osobito pri tlakovima višim od 400 MPa. S druge strane, kod kuhanih, fermentiranih i vakuumski pakiranih mesnih proizvoda HPP u pravilu omogućuje učinkovitu mikrobiološku stabilizaciju uz dobro očuvanje senzorskih svojstava i produljenje roka trajanja. Zbog navedenih prednosti HPP se danas smatra jednom od tehnološki najzrelijih i komercijalno najzastupljenijih netermičkih metoda u prehrambenoj industriji (Campus, 2010.; Guyon i sur., 2016.; Bolumar i sur., 2021.).

Brojna istraživanja potvrđuju uspješnu primjenu HPP-a u različitim vrstama mesa i mesnih proizvoda (Tablica 1.). Primjerice, Park i sur. (2022.) pokazali su značajno smanjenje broja *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli, Salmonella* spp. i *Listeria monocytogenes* u sirovoj govedini obrađenoj pri 500 MPa tijekom 7 minuta. Cap i sur. (2020.) utvrdili su učinkovitu inaktivaciju *Salmonella* spp. u pilećim filetima, pri čemu su intenzivniji uvjeti obrade uzrokovali izraženije promjene boje i teksture. Argyri i sur. (2018.) pokazali su da HPP može produljiti trajnost pilećih fileta uz učinkovitu kontrolu *Salmonella Enteritidis*, dok su Garriga i sur. (2004.) potvrdili uspješnu primjenu HPP-a u kontroli patogena tijekom skladištenja različitih komercijalnih mesnih proizvoda. Dodatni primjeri primjene HPP-a, uključujući obradu goveđeg carpaccia, kuhanog pilećeg mesa i drugih mesnih proizvoda, prikazani su u Tablici 1.

Unatoč brojnim prednostima, HPP ima i određena ograničenja. Visoki investicijski troškovi opreme, ograničena učinkovitost prema bakterijskim sporama te moguće promjene boje i teksture pojedinih proizvoda predstavljaju glavne izazove

Tablica 1. Primjena visokotlačne obrade (HPP) u mesu i mesnim proizvodima
Table 1 Application of high-pressure processing (HPP) in meat and meat products

Proizvod / Product	Uvjeti obrade / Processing conditions	Mikroorganizam / Target microorganism	Antimikrobni učinak / Antimicrobial effect	Utjecaj na kvalitetu / Effect on quality	Literatura/ Reference
Govedina / beef	500 MPa, 7 min	*S. aureus*, *E. coli*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*	Redukcija 1,7–6,7 log CFU/g / 1.7–6.7 log CFU/g reduction	Bez značajnih promjena / No significant changes	Park i sur. (2022.)
Pileći fileti / Chicken fillets	400 MPa, 5 min; 500 MPa, 1 min	*Salmonella* spp.	>3 log CFU/g redukcije / >3 log CFU/g reduction	Promjene boje i tekstura / Colour and texture changes	Cap i sur. (2020.)
Pileći fileti / Chicken fillets	500 MPa, 10 min	*S. Enteritidis*	Ispod granice detekcije / Below detection limit	Produljena trajnost / Extended shelf life	Argyri i sur. (2018.)
Pileći fileti / Chicken fillets	300–600 MPa	*S. Typhimurium*, *E. coli*, *L. monocytogenes*	Do 6 log CFU/g redukcije / Up to 6 log CFU/g reduction	Promjene boje / Colour changes	Kruk i sur. (2011.)
Goveđi carpaccio / Beef carpaccio	450 MPa, 5–15 min	*S. Enteritidis*	Redukcija 3,7–5,9 log CFU/g / 3.7–5.9 log CFU/g reduction	Minimalne promjene kvalitete / Minimal quality changes	de Alba i sur. (2012.)
Kuhano pileće meso / Cooked chicken meat	400–600 MPa	Prirodna mikroflora / Natural microbiota	Smanjen rast mikroflore / Reduced microbial growth	Produljena trajnost / Extended shelf life	Patterson i sur. (2010.)
Komercijalni mesni proizvodi / Commercial meat products	600 MPa, 6 min	*Salmonella* spp., *L. monocytogenes*	Kontrola patogena tijekom skladištenja / Growth control during storage	Produljena trajnost / Extended shelf life	Garriga i sur. (2004.)

njegove šire primjene. Međutim, mogućnost obrade već zapakiranih proizvoda, učinkovita inaktivacija vegetativnih mikroorganizama i produljenje roka trajanja bez značajnoga narušavanja nutritivne vrijednosti čine HPP jednom od najperspektivnijih tehnologija očuvanja mesa i mesnih proizvoda. Budući razvoj tehnologije usmjeren je na optimiranje procesnih uvjeta, smanjenje troškova obrade te kombiniranje HPP-a s drugim netermičkim metodama radi postizanja veće mikrobiološke sigurnosti i očuvanja kvalitete proizvoda (Campus, 2010.; Lee i Yoon, 2024.; Shabbir i sur., 2024.).

Hladna plazma u mesnoj industriji

Za razliku od visokotlačne obrade, koja ostvaruje volumetrijski antimikrobni učinak kroz cijeli proizvod, hladna plazma (*Cold Plasma*, CP) djeluje prvenstveno na površini proizvoda te se ubraja među najperspektivnije netermičke tehnologije za površinsku dekontaminaciju hrane, osobito mesa i mesnih proizvoda (Akhtar i sur., 2022.). Riječ je o djelomično ioniziranom plinu koji nastaje električnim pražnjenjem različitih plinova, poput zraka, kisika, dušika, argona ili helija, pri atmosferskom tlaku. Tijekom procesa nastaju reaktivne kisikove i dušikove vrste (*Reactive Oxygen Species* – ROS i *Reactive Nitrogen Species* – RNS), slobodni radikali, elektroni, ioni i UV zračenje, koji ostvaruju snažan antimikrobni učinak (Harikrishna i sur., 2023.; Shabbir i sur., 2024.; Ghazali i sur., 2025.; Misra i Roopesh, 2019.). Jedna od glavnih prednosti hladne plazme jest mogućnost obrade pri sobnoj temperaturi uz vrlo malu potrošnju energije i vode, bez primjene kemijskih konzervansa i značajnijeg zagrijavanja proizvoda (Harikrishna i sur., 2023.). Takve karakteristike čine CP jednom od tehnologija s najvećim potencijalom za održivu preradu hrane (Misra i Roopesh, 2019.).

Antimikrobni učinak hladne plazme temelji se na oksidacijskom djelovanju reaktivnih čestica na stanične membrane, proteine, lipide i nukleinske kiseline mikroorganizama. Posljedica je povećanje propusnosti membrane, denaturacija biomolekula, poremećaj metaboličkih procesa i konačno odumiranje stanica. Učinkovitost obrade ovisi o vrsti sustava plazme, korištenom plinu, električnoj snazi, vremenu obrade, udaljenosti između elektroda i proizvoda te svojstvima površine mesa, uključujući vlagu, hrapavost i sastav proizvoda (Harikrishna i sur., 2023.; Ucar i sur., 2021.; Nikolaou i sur., 2025.). Hladna plazma vrlo je učinkovita protiv vegetativnih oblika bakterija, dok je njezina učinkovitost prema bakterijskim sporama znatno manja te uvelike ovisi o procesnim uvjetima (Shabbir i sur., 2024.).

U prehrambenoj industriji najčešće se primjenjuju sustavi hladne atmosferske plazme (*Cold Atmospheric Plasma*, CAP), uključujući dielektrično barijerno pražnjenje (*Dielectric Barrier Discharge*, DBD), korona pražnjenje (*corona discharge*) i plazma mlazove (*plasma jets*) (Ucar i sur., 2021.). Obrada se može provoditi izravno na površini proizvoda ili unutar zatvorene ambalaže (*in-package plasma*), čime se dodatno smanjuje mogućnost naknadne kontaminacije tijekom skladištenja (Roh i sur., 2020.).

Brojna istraživanja potvrđuju da hladna plazma učinkovito smanjuje broj patogenih i kvarnih mikroorganizama na površini mesa i mesnih proizvoda. Kao što je prikazano u Tablici 2., istraživanja su uglavnom usmjerena na inaktivaciju Listeria monocytogenes, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp. i prirodne mikroflore mesa. Ovisno o vrsti proizvoda, sustavu generiranja plazme i procesnim uvjetima, najčešće se postižu redukcije od približno 2 do 4 log CFU/g, dok su primjenom in-package sustava ili kombinacijom hladne plazme s drugim metodama očuvanja zabilježeni i veći antimikrobni učinci (Jayasena i sur., 2015.; Roh i sur., 2020.; Yoo i sur., 2021.), što potvrđuju i najnoviji pregledni radovi (Ghazali i sur., 2025.). Primjerice, Jayasena i sur. (2015.) pokazali su učinkovitu inaktivaciju *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 i *Salmonella Typhimurium* na površini svinjetine i govedine tretirane DBD sustavom, dok su Roh i sur. (2020.) primjenom in-package hladne plazme postigli redukciju *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp. i *Listeria monocytogenes* od približno 3,5–3,9 log CFU uz očuvanje kvalitete proizvoda. S druge strane, Yoo i sur. (2021.) pokazali su da kombinacija hladne plazme i eteričnog ulja klinčića može ostvariti sinergijski antimikrobni učinak veći od 7,5 log CFU. Najvažniji primjeri primjene hladne plazme u mesu i mesnim proizvodima prikazani su u Tablici 2.

Pri optimiziranim uvjetima obrade promjene fizikalno-kemijskih i senzorskih svojstava mesa uglavnom su male. Međutim, produljeno vrijeme obrade ili primjena većih energija mogu potaknuti oksidaciju lipida i proteina, uzrokovati promjene boje te smanjiti senzorsku prihvatljivost proizvoda (Jayasena i sur., 2015.; Abdel-Naeem i sur., 2022.). Stoga je pri optimiranju procesa potrebno pronaći ravnotežu između mikrobiološke učinkovitosti i očuvanja fizikalno-kemijske, nutritivne i senzorske kvalitete proizvoda.

Unatoč značajnom potencijalu, industrijska primjena hladne plazme još je uvijek ograni-

Tablica 2. Primjena hladne plazme (CP) u mesu i mesnim proizvodima
Table 2 Application of cold plasma (CP) in meat and meat products

Proizvod / Product	Uvjeti obrade / Processing conditions	Mikroorganizam / Target microorganism	Antimikrobni učinak / Antimicrobial effect	Utjecaj na kvalitetu / Effect on quality	Literatura/ Reference
Svinjski but i goveđi file / Pork butt and beef loin	DBD, 10 min	*L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*	Redukcija 1,9–2,7 log CFU/g / 1,9–2,7 log CFU/g reduction	Smanjena crvena boja; povećana oksidacija / Reduced redness; increased oxidation	Jayasena i sur. (2015.)
Kuhana pileća prsa / Cooked chicken breast	In-package DBD, 39 kV, 3,5 min	*E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*	Redukcija 3,5–3,9 log CFU/g / 3,5–3,9 log CFU/g reduction	Bez značajnih promjena / No significant changes	Roh i sur. (2020.)
Goveđi jerky / Beef jerky	Encapsulated atmospheric plasma + clove oil	*E. coli* O157:H7, *S. aureus*	>7,5 log CFU/g redukcije / >7,5 log CFU/g reduction	Nije procijenjeno / Not evaluated	Yoo i sur. (2021.)
Pileći file / Chicken fillet	DBD (Ar/O_2)	Prirodna mikroflora / Natural microbiota	Smanjen broj mikroorganizama / Reduced microbial counts	Bolje očuvanje kvalitete / Better quality retention	Abdel-Naeem i sur. (2022.)
Pileća prsa / Chicken breast	*Plasma jet*	Prirodna mikroflora / Natural microbiota	Redukcija 2,3–3,3 log CFU/g / 2,3–3,3 log CFU/g reduction	Bolje očuvanje boje / Better colour retention	Zhao i sur. (2022.)
Mesne okruglice / Meatballs	*In-package* CP	Prirodna mikroflora / Natural microbiota	Redukcija 1,0–1,2 log CFU/g / 1,0–1,2 log CFU/g reduction	Produljena trajnost / Extended shelf life	Li i sur. (2022.)

čena zbog potrebe za standardizacijom procesnih parametara, razvojem kontinuiranih proizvodnih sustava i regulatornim usklađivanjem. Buduća istraživanja usmjerena su na optimiranje procesnih uvjeta, razvoj industrijski primjenjivih sustava te kombiniranje hladne plazme s drugim netermičkim tehnologijama i prirodnim antimikrobnim spojevima radi povećanja mikrobiološke sigurnosti uz očuvanje kvalitete proizvoda. Iako se danas još uvijek ne primjenjuje u istoj mjeri kao HPP, dosadašnja istraživanja potvrđuju da hladna plazma predstavlja jednu od najperspektivnijih tehnologija za površinsku dekontaminaciju mesa i mesnih proizvoda te da će njezina šira industrijska primjena ovisiti o daljnjoj standardizaciji procesa i usklađivanju regulatornog okvira (Lee i Yoon, 2024.; Shabbir i sur., 2024.; Ghazali i sur., 2025.).

Usporedba hladne plazme i visokotlačne obrade u očuvanju mesa

Visokotlačna obrada i hladna plazma ubrajaju se među najperspektivnije netermičke tehnologije za očuvanje mesa i mesnih proizvoda, no razlikuju se prema mehanizmu djelovanja, području primjene i stupnju industrijske razvijenosti. HPP djeluje izostatski kroz cijeli proizvod primjenom visokoga hidrostatskog tlaka, dok CP ostvaruje antimikrobni učinak prvenstveno na površini proizvoda djelovanjem reaktivnih kisikovih i dušikovih kemijskih vrsta. Zbog tih razlika odabir tehnologije ovisi o vrsti proizvoda, ciljanim mikroorganizmima, željenom roku trajanja te zahtjevima vezanim uz kvalitetu i ekonomičnost proizvodnje.

Tablica 3. prikazuje usporedbu HPP-a i CP-a s obzirom na princip djelovanja, područje primjene, antimikrobnu učinkovitost, utjecaj na kvalitetu proizvoda te njihove glavne prednosti i ograničenja. HPP postiže veću učinkovitost u inaktivaciji mikroorganizama unutar cijelog proizvoda te se već rutinski primjenjuje u proizvodnji vakuumski pakiranih i gotovih mesnih proizvoda. Nasuprot tome, CP je posebno pogodna za površinsku dekontaminaciju svježeg mesa, narezanih proizvoda i ambalaže, pri čemu njezina učinkovitost uvelike ovisi o procesnim parametrima i svojstvima površine proizvoda. Iako obje tehnologije omogućuju smanjenje uporabe kemijskih konzervansa i doprinose razvoju clean-label proizvoda, imaju različita ograničenja. HPP zahtijeva visoka početna ulaganja u opremu, ali predstavlja tehnološki zrelu i komercijalno doka-

Tablica 3. Usporedba visokotlačne obrade (HPP) i hladne plazme (CP) u očuvanju mesa i mesnih proizvoda
Table 3 Comparison of high-pressure processing (HPP) and cold plasma (CP) for meat and meat product preservation

Karakteristika / Characteristic	Visokotlačna obrada (HPP) / High-pressure processing	Hladna plazma (CP) / Cold plasma
Princip djelovanja / Principle of action	Hidrostatski tlak / Hydrostatic pressure	*Reaktivne kisikove i dušikove vrste (ROS/RNS), UV zračenje i ioni / Reactive oxygen and nitrogen species (ROS/RNS), UV radiation and ions*
Područje djelovanja / Area of action	Cijeli proizvod / Whole product	*Površina proizvoda / Product surface*
Primjena / Main application	Vakuumski pakirani i gotovi proizvodi / Vacuum-packed and ready-to-eat products	*Svježe meso, narezani proizvodi i ambalaža / Fresh meat, sliced products and packaging*
Antimikrobna učinkovitost / Antimicrobial efficacy	Visoka / High	Visoka na površini / High on the product surface
Učinak na bakterijske spore / Effect on bacterial spores	*Ograničen / Limited*	Ograničen / Limited
Utjecaj na kvalitetu / Effect on quality	Dobro očuvanje kvalitete / Good quality retention	Ovisi o uvjetima obrade / Depends on processing conditions
Obrada zapakiranih proizvoda / Treatment of packaged products	Da / Yes	Da (in-package) / Yes (in-package)
Industrijska primjena / Industrial application	Komercijalno primijenjena / Commercially established	Ograničena komercijalna primjena / Limited commercial application
Glavna prednost / Main advantage	Volumetrijska dekontaminacija / Volumetric decontamination	Površinska dekontaminacija bez zagrijavanja / Surface decontamination without heating
Glavno ograničenje / Main limitation	Visoki investicijski troškovi / High investment costs	Potreba za standardizacijom procesa i regulatornim okvirom / Need for process standardisation and regulatory framework

zanu tehnologiju. CP karakteriziraju niži operativni troškovi i mogućnost integracije u postojeće proizvodne linije, no njezina je industrijska primjena još uvijek ograničena zbog nedostatka standardiziranih procesnih uvjeta i regulatornih smjernica. Stoga se ove tehnologije ne mogu promatrati kao konkurentske, već kao komplementarne metode koje se odabiru ovisno o karakteristikama proizvoda i ciljevima obrade.

Regulatorni okvir za hranu tretiranu hladnom plazmom i visokotlačnom obradom

Primjena netermičkih tehnologija u prehrambenoj industriji zahtijeva usklađenost s važećim zakonodavstvom kojim se osigurava sigurnost hrane, zaštita zdravlja potrošača i validacija proizvodnih procesa. U Europskoj uniji sigurnost hrane uređena je Uredbom (EZ) br. 178/2002, dok su higijenski zahtjevi za proizvodnju hrane definirani Uredbom (EZ) br. 852/2004. Sukladno navedenim propisima, proizvođači su obvezni dokazati da primijenjeni tehnološki postupci osiguravaju zdravstvenu ispravnost proizvoda te ih uključiti u sustave upravljanja sigurnošću hrane temeljene na načelima HACCP-a (Europski parlament i Vijeće, 2002.; Europski parlament i Vijeće, 2004.).

Visokotlačna obrada danas predstavlja tehnološki zrelu i komercijalno prihvaćenu metodu očuvanja hrane koja se primjenjuje u brojnim sektorima prehrambene industrije, uključujući proizvodnju mesa i mesnih proizvoda. Budući da se radi o fizikalnom postupku prerade koji ne uključuje dodavanje novih sastojaka niti uzrokuje značajne promjene sastava hrane, HPP u Europskoj uniji nije predmet posebnog zakonodavstva, već se njegova primjena provodi u okviru postojećih propisa o sigurnosti hrane uz odgovarajuću validaciju procesa (Rosario i sur., 2021.; Bolumar i sur., 2021.). U Sjedinjenim Američkim Državama primjena HPP-a također je prihvaćena kao učinkovita metoda kontrole patogenih mikroorganizama u gotovim mesnim proizvodima, uz obveznu validaciju procesa i dokazivanje mikrobiološke sigurnosti proizvoda (USDA-FSIS, 2014.).

Za razliku od HPP-a, regulatorni okvir za primjenu hladne plazme još uvijek nije u potpunosti usklađen.

Iako brojna istraživanja potvrđuju njezinu antimikrobnu učinkovitost, potrebno je dodatno procijeniti moguće kemijske promjene u proizvodu, nastanak oksidacijskih produkata te dugoročne učinke različitih procesnih parametara na sigurnost hrane (Harikrishna i sur., 2023.; Shabbir i sur., 2024.). Zbog velike raznolikosti sustava za generiranje plazme i procesnih uvjeta još uvijek ne postoje jedinstvene međunarodne smjernice za validaciju procesa, što predstavlja jedan od glavnih razloga sporijeg uvođenja ove tehnologije u industrijsku praksu.

Zbog toga je razvoj međunarodno prihvaćenih smjernica za validaciju procesa jedan od ključnih preduvjeta za širu komercijalnu primjenu hladne plazme u prehrambenoj industriji što je u skladu s najnovijim znanstvenim mišljenjem EFSA-e (Koutsoumanis i sur., 2022.).

Budući izazovi i perspektive

Dosadašnja istraživanja potvrđuju da visokotlačna obrada i hladna plazma imaju značajan potencijal za povećanje mikrobiološke sigurnosti i produljenje trajnosti mesa uz bolje očuvanje njegove kvalitete u usporedbi s konvencionalnim toplinskim postupcima. Međutim, njihova daljnja primjena u mesnoj industriji zahtijeva rješavanje brojnih tehnoloških, ekonomskih i regulatornih izazova (Bolumar i sur., 2021.; Harikrishna i sur., 2023.).

Jedan od najvažnijih izazova predstavlja standardizacija procesnih parametara kako bi se omogućila usporedivost rezultata različitih istraživanja i pouzdana validacija postupaka u industrijskim uvjetima. Posebno je to izraženo kod hladne plazme, gdje na učinkovitost tretmana značajno utječu vrsta plina, sustav generiranja plazme, električna snaga, vrijeme obrade te fizikalno-kemijska svojstva proizvoda (Harikrishna i sur., 2023.; Shabbir i sur., 2024.). Buduća istraživanja trebala bi biti usmjerena na razvoj kontinuiranih proizvodnih sustava, optimizaciju procesnih uvjeta za različite vrste mesa te kombiniranje HPP-a i CP-a s drugim blagim metodama očuvanja hrane u okviru koncepta višestrukih prepreka (*hurdle technology*). Takvim pristupom moguće je dodatno povećati mikrobiološku sigurnost proizvoda uz istodobno očuvanje njihovih nutritivnih, fizikalno-kemijskih i senzorskih svojstava (Rosario i sur., 2021.).

Osim tehnoloških aspekata, potrebno je provesti dodatna istraživanja ekonomske isplativosti, okolišne održivosti i prihvaćenosti ovih tehnologija od strane potrošača kako bi se omogućila njihova šira primjena u suvremenoj mesnoj industriji (Lee i Yoon, 2024.).

Zaključak

Visokotlačna obrada i hladna plazma predstavljaju dvije perspektivne netermičke tehnologije koje omogućuju povećanje mikrobiološke sigurnosti i produljenje trajnosti mesa i mesnih proizvoda boljim očuvanjem njihovih nutritivnih, fizikalno-kemijskih i senzorskih svojstava u odnosu na konvencionalne toplinske postupke. Iako obje tehnologije učinkovito smanjuju broj patogenih mikroorganizama, razlikuju se prema mehanizmu djelovanja, području primjene i stupnju tehnološke razvijenosti. Visokotlačna obrada danas predstavlja tehnološki zrelu i široko prihvaćenu metodu koja omogućuje učinkovitu inaktivaciju mikroorganizama kroz cijeli proizvod te se uspješno primjenjuje u proizvodnji različitih mesnih proizvoda. Nasuprot tome, hladna plazma pokazuje velik potencijal za površinsku dekontaminaciju mesa i ambalaže uz minimalnu potrošnju vode i energije, no njezina šira industrijska primjena još uvijek zahtijeva standardizaciju procesnih parametara, dodatnu regulatornu usklađenost i daljnju validaciju procesa. Na temelju dostupnih istraživanja može se zaključiti da HPP i CP nisu konkurentske, već komplementarne tehnologije čija primjena ovisi o vrsti proizvoda, ciljanim mikroorganizmima i ciljevima obrade. Njihova integracija s drugim metodama očuvanja hrane u okviru koncepta višestrukih prepreka predstavlja perspektivan smjer razvoja sigurnijih, kvalitetnijih i održivijih mesnih proizvoda. Daljnji razvoj tehnologije, standardizacija procesnih uvjeta i usklađivanje regulatornog okvira pridonijet će njihovoj široj primjeni u mesnoj industriji.

Literatura

[1] **Abdel-Naeem, H.H.S., E.M.S.M. Ebaid, K.H.M. Khalel, K. Imre, A. Morar, V. Herman, F.A.M. El-Nawawi (2022):** Decontamination of chicken meat using dielectric barrier discharge cold plasma technology: The effect on microbial quality, physicochemical properties, topographical structure, and sensory attributes. LWT - Food Sci Technol, 167, 113739. doi:10.1016/j.lwt.2022.113739

[2] **Akhtar, J., M.G. Abrha, K. Teklehaimanot, G. Gebrekirstos (2022):** Cold plasma technology: Fundamentals and effect on quality of meat and its products. Food Agric Immunol, 33, 451-478. doi:10.1080/09540105.2022.2095987

[3] **Argyri, A.A., O.S. Papadopoulou, A. Nisiotou, C.C. Tassou, N. Chorianopoulos (2018):** Effect of high pressure processing on the survival of Salmonella Enteritidis and shelf-life of chicken fillets. Food Microbiol, 70, 55-64. doi:10.1016/j.fm.2017.08.019

[4] **Bhandare, S.G., A.T. Sherikar, A.M. Paturkar, V.S. Waskar, R.J. Zende (2007):** A comparison of microbial contamination on sheep/goat carcasses in a modern Indian abattoir and traditional meat shops. Food Control, 18, 854-858. doi:10.1016/j.foodcont.2006.04.012

[5] **Bolumar, T., V. Orlien, A. Sikes, K.H. Bak, C. Guyon, R. Stübler, M. de Lamballerie, P. Hertel, M. Brüggemann, P. Mathys (2021):** High-pressure processing of meat: Molecular impacts and industrial applications. Compr Rev Food Sci Food Saf, 20, 332-368. doi:10.1111/1541-4337.12670

[6] **Bridge, D. (2021):** Global food industry pulsed electric field (PEF) systems market: Industry trends and forecast to 2028. Data Bridge Market Research, Maharashtra, India.

[7] **Bunčić, S., T. McLauchlin, M. Grant, A. Hudson (2014):** Microbial pathogen control in the beef chain: Recent research advances. Meat Sci, 97, 288-297. doi:10.1016/j.meatsci.2013.04.040

[8] **Campus, M. (2010):** High pressure processing of meat, meat products and seafood. Food Eng Rev, 2, 256-273. doi:10.1007/s12393-010-9028-y

[9] **Cap, M., P.F. Paredes, D. Fernández, M. Mozgovoj, S.R. Vaudagna, A. Rodriguez (2020):** Effect of high hydrostatic pressure on Salmonella spp. inactivation and meat quality of frozen chicken breast. LWT - Food Sci Technol, 118, 108873. doi:10.1016/j.lwt.2019.108873

[10] **Europski parlament i Vijeće (2002):** Uredba (EZ) br. 178/2002 Europskog parlamenta i Vijeća od 28. siječnja 2002. o utvrđivanju općih načela i uvjeta zakona o hrani, osnivanju Europske agencije za sigurnost hrane te utvrđivanju postupaka u područjima sigurnosti hrane. Službeni list Europske unije, L 31, 1-24.

[11] **Europski parlament i Vijeće (2004):** Uredba (EZ) br. 852/2004 Europskog parlamenta i Vijeća od 29. travnja 2004. o higijeni hrane. Službeni list Europske unije, L 139, 1-54.

[12] **de Alba, M., D. Bravo, M. Medina (2012):** High pressure treatments on the inactivation of Salmonella Enteritidis and the characteristics of beef carpaccio. Meat Sci, 92, 823-828. doi:10.1016/j.meatsci.2012.07.008

[13] **Gavahian, M., N.N. Misra, K. Jo, K.H. Kim (2024):** Cold plasma as an emerging energy-saving pretreatment to enhance food drying: Recent advances, mechanisms involved, and considerations for industrial applications. Trends Food Sci Technol, 143, 104210. doi-:10.1016/j.tifs.2023.104210

[14] **Ghazali, M.H., F. Saleem, L. Bashir (2025):** Cold plasma and high-pressure processing in sustainable meat preservation: A review. Food Nutr Health, 2, 22. doi:10.1007/s44403-025-00032-1

[15] **Garriga, M., N. Grèbol, M.T. Aymerich, J.M. Monfort, M. Hugas (2004):** Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. Innov Food Sci Emerg Technol, 5, 451-457. doi:10.1016/j.ifset.2004.07.001

[16] **Guyon, C., A. Meynier, M. de Lamballerie (2016):** Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. Trends Food Sci Technol, 50, 131-143. doi:10.1016/j.tifs.2016.01.026

[17] **Harikrishna, S., P.P. Anil, R. Shams, K.K. Dash (2023):** Cold plasma as an emerging nonthermal technology for food processing: A comprehensive review. J Agric Food Res, 14, 100747. doi:10.1016/j.jafr.2023.100747

[18] **Hugas, M., M. Garriga, J.M. 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

[19] **Jayasena, D.D., H.J. Kim, S.H. Yong, K.H. Park, M.A. Choe, S.K. Jo (2015):** Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. Food Microbiol, 46, 51-57. doi:10.1016/j.fm.2014.07.009

[20] **Koutsoumanis, K., P. Allende, A. Alvarez-Ordóñez, D. Bolton, M. Bover-Cid, M. Chemaly, R. Davies, A. De Cesare, L. Herman, F. Hilbert, R. Lindqvist, M. Nauta, L. Peixe, G. Ru, M. Simmons, P. Skandamis, E. Suffredini, B. Herman, C. Messens (2022):** The efficacy and safety of high-pressure processing of food. EFSA J, 20, e07128. doi:10.2903/j.efsa.2022.7128

[21] **Kruk, Z.A., H. Yun, D.L. Rutley, E.J. Lee, Y.J. Kim, C. Jo (2011):** The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. Food Control, 22, 6-12. doi:10.1016/j.foodcont.2010.06.003

[22] **Lee, Y., Y. Yoon (2024):** Principles and applications of non-thermal technologies for meat decontamination. Food Sci Anim Resour, 44, 19-38. doi:10.5851/kosfa.2023.e72

[23] **Leroy, F., M. Cofnas, C. Borremans, S. De Smet (2023):** The role of meat in the human diet: Evolutionary aspects and nutritional value. Anim Front, 13, 11-18. doi:10.1093/af/vfad006

[24] **Li, R., H. Zhu, Y. Chen, G. Zhou, C. Li, K. Ye (2022):** Cold plasmas combined with Ar-based modified atmosphere packaging for meatball products: Influence on microbiological shelf-life and quality attributes. LWT - Food Sci Technol, 157, 113137. doi:10.1016/j.lwt.2022.113137

[25] **Lisboa, H.M., M.G. de Souza, F.M. da Silva, J.A. da Costa, R.S. Barros (2024):** Innovative and sustainable food preservation techniques: Enhancing food quality, safety, and environmental sustainability. Sustainability, 16, 8223. doi:10.3390/su16188223

[26] **Misra, N.N., M.S. Roopesh (2019):** Cold plasma for sustainable food production and processing. In: Green Food Processing Techniques. Academic Press, London, pp. 431-453.

[27] **Nikolaou, A., P. Skandamis, E. Boziaris, D. Tsaltas (2025):** The ratio of reactive oxygen and nitrogen species determines the type of cell death that bacteria undergo. Microbiol Res, 292, 127986. doi:10.1016/j.micres.2024.127986

[28] **Park, S., E. Park, Y. Yoon (2022):** Comparison of nonthermal decontamination methods to improve the safety for raw beef consumption. J Food Prot, 85, 664-670. doi:10.4315/JFP-21-368

[29] **Patterson, M.F., A.M. McKay, M. Connolly, M. Linton (2010):** Effect of high pressure on the microbiological quality of cooked chicken during storage at normal and abuse refrigeration temperatures. Food Microbiol, 27, 266-273. doi:10.1016/j.fm.2009.10.007

[30] **Radi, M., N. Mahmoudzadeh, S. Amiri (2023):** Sustainable meat preservation technologies: Current trends and future prospects. Trends Food Sci Technol, 138, 190-205. doi:10.1016/j.tifs.2023.05.014
[31] **Roh, S.H., H.J. Kim, S.H. Yong, J.W. Park, S.K. Jo (2020):** Inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella, Listeria monocytogenes, and Tulane virus in processed chicken breast via atmospheric in-package cold plasma treatment. LWT - Food Sci Technol, 127, 109429. doi:10.1016/j.lwt.2020.109429
[32] **Rosario, D.K., B.L. Rodrigues, P.C. Bernardes, C.A. Conte-Junior (2021):** Principles and applications of non-thermal technologies and alternative chemical compounds in meat and fish. Crit Rev Food Sci Nutr, 61, 1163-1183. doi:10.1080/10408398.2020.1754755
[33] **Shabbir, A., M.A. Anjum, M.I. Khan, S. Ali, M. Nadeem, A. Hussain (2024):** Applications of cold plasma technique to enhance the safety and quality of different food products. Meas Food, 15, 100183. doi:10.1016/j.meafoo.2024.100183
[34] **Slavov, A.M., P.N. Denev, Z.R. Denkova, G.A. Kostov, R.S. Denkova-Kostova, R.M. Chochkov, I.N. Deseva, D.G. Teneva (2019):** Emerging cold pasteurization technologies to improve shelf life and ensure food quality. In: Food Quality and Shelf Life. C.M. Galanakis (ur.). Academic Press, Cambridge, MA, USA, pp. 55-123.
[35] **Ucar, Y., Z. Ceylan, M. Durmus, O. Tomar, T. Cetinkaya (2021):** Application of cold plasma technology in the food industry and its combination with other emerging technologies. Trends Food Sci Technol, 114, 355-371. doi:10.1016/j.tifs.2021.05.004
[36] **USDA-FSIS (2014):** FSIS Compliance Guideline HACCP Systems Validation. United States Department of Agriculture, Food Safety and Inspection Service, Washington, DC, USA.
[37] **Yoo, J.H., J.E. Kim, H.J. Chung, H.J. Lee, J.H. Kim (2021):** Synergistic bactericidal effect of clove oil and encapsulated atmospheric pressure plasma against Escherichia coli O157:H7 and Staphylococcus aureus and its mechanism of action. Food Microbiol, 93, 103611. doi:10.1016/j.fm.2020.103611
[38] **Zhao, Y., Z. Meng, L. Shao, R. Dai, X. Li, F. Jia (2022):** Employment of cold atmospheric plasma in chilled chicken breasts and the analysis of microbial diversity after shelf-life storage. Food Res Int, 163, 111934. doi:10.1016/j.foodres.2022.111934

Dostavljeno/Received: 28.05.2026. **Prihvaćeno/Accepted: 03.08.2026.**

High-pressure processing and cold plasma as innovative approaches to sustainable meat preservation

Abstract

Meat is highly susceptible to microbial spoilage due to its high moisture content and rich nutrient composition, creating a continuous need for effective preservation methods that ensure product safety while maintaining quality. Among innovative non-thermal technologies, high-pressure processing (HPP) and cold plasma (CP) have attracted considerable attention because they enable efficient microbial inactivation with minimal changes in the sensory and nutritional properties of meat. The aim of this review was to present the mechanisms of action, applications, advantages, and limitations of HPP and CP in the preservation of meat and meat products, as well as to evaluate their contribution to sustainable food processing. HPP is a commercially established and regulatorily accepted technology that provides volumetric microbial inactivation and extends product shelf life, whereas CP shows significant potential for the surface decontamination of meat and packaging while requiring low energy and water consumption. However, the effectiveness of both technologies depends on product characteristics and processing parameters, and the wider industrial application of CP still requires further research and regulatory validation. It can be concluded that HPP represents a technologically mature preservation method for the meat industry, whereas CP has considerable potential as a future technology to produce safer, higher-quality, and more sustainable meat products.

Keywords: meat; High Pressure Processing; Cold Plasma; non-thermal technologies; shelf-life extension; microbial safety; clean-label products

Hochdruckbehandlung und Kaltplasma als innovative Ansätze zur nachhaltigen Fleischkonservierung

Zusammenfassung

Fleisch ist aufgrund seines hohen Feuchtigkeitsgehalts und seiner nährstoffreichen Zusammensetzung äußerst anfällig für mikrobiellen Verderb, weshalb ein ständiger Bedarf an wirksamen Konservierungsmethoden besteht, die die Produktsicherheit gewährleisten und gleichzeitig die Qualität erhalten. Unter den innovativen nicht-thermischen Technologien haben die Hochdruckbehandlung (HPP) und das Kaltplasma (CP) große Aufmerksamkeit auf sich gezogen, da sie eine effiziente Inaktivierung von Mikroorganismen bei minimalen Veränderungen der sensorischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften von Fleisch ermöglichen. Ziel dieser Übersichtsarbeit war es, die Wirkmechanismen, Anwendungsbereiche, Vorteile und Grenzen von HPP und CP bei der Konservierung von Fleisch und Fleischprodukten darzustellen sowie ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Lebensmittelverarbeitung zu bewerten. HPP ist eine kommerziell etablierte und behördlich anerkannte Technologie, die eine volumetrische Inaktivierung von Mikroorganismen bewirkt und die Haltbarkeit der Produkte verlängert, während CP ein erhebliches Potenzial für die Oberflächendekontamination von Fleisch und Verpackungen aufweist und dabei nur einen geringen Energie- und Wasserverbrauch erfordert. Die Wirksamkeit beider Technologien hängt jedoch von den Produkteigenschaften und den Verarbeitungsparametern ab, und die breitere industrielle Anwendung von CP erfordert noch weitere Forschung und behördliche Validierung. Daraus lässt sich schließen, dass die Hochdruckbehandlung (HPP) eine technologisch ausgereifte Konservierungsmethode für die Fleischindustrie darstellt, während die Kaltplasmatechnik (CP) als Zukunftstechnologie ein beträchtliches Potenzial zur Herstellung sichererer, hochwertigerer und nachhaltigerer Fleischprodukte birgt.

Schlüsselwörter: Fleisch; Hochdruckbehandlung; Kaltplasma; nicht-thermische Technologien; Verlängerung der Haltbarkeit; mikrobielle Sicherheit; Clean-Label-Produkte

Procesamiento por alta presión y plasma frío como enfoques innovadores para la conservación sostenible de la carne

Resumen

La carne es altamente susceptible al deterioro microbiano debido a su elevado contenido de humedad y a su composición rica en nutrientes, lo que genera una necesidad constante de métodos de conservación eficaces que garanticen la seguridad del producto y, al mismo tiempo, mantengan su calidad. Entre las tecnologías innovadoras no térmicas, el procesamiento por alta presión (HPP) y el plasma frío (CP) han despertado un interés considerable, ya que permiten una inactivación microbiana eficaz con cambios mínimos en las propiedades sensoriales y nutricionales de la carne. El objetivo de esta revisión fue presentar los mecanismos de acción, las aplicaciones, las ventajas y las limitaciones del HPP y del CP en la conservación de la carne y los productos cárnicos, así como evaluar su contribución al procesado sostenible de alimentos. El HPP es una tecnología comercialmente consolidada y aceptada por las autoridades reguladoras que permite una inactivación microbiana volumétrica y prolonga la vida útil de los productos, mientras que el CP presenta un gran potencial para la descontaminación superficial de la carne y de los materiales de envasado, con un bajo consumo de energía y agua. No obstante, la eficacia de ambas tecnologías depende de las características del producto y de los parámetros de procesado, y la aplicación industrial a mayor escala del CP todavía requiere investigaciones adicionales y una mayor validación desde el punto de vista regulatorio. En conclusión, el HPP representa un método de conservación tecnológicamente maduro para la industria cárnica, mientras que el CP presenta un potencial considerable como tecnología de futuro para la elaboración de productos cárnicos más seguros, de mayor calidad y más sostenibles.

Palabras claves: carne; procesamiento por alta presión; plasma frío; tecnologías no térmicas; prolongación de la vida útil; seguridad microbiológica; productos con etiquetado limpio

Trattamento ad alta pressione e plasma freddo come approcci innovativi alla conservazione sostenibile della carne

Riassunto

La carne, a causa dell'elevato contenuto di acqua e sostanze nutritive, è particolarmente soggetta al deterioramento microbiologico, motivo per cui esiste una costante necessità di metodi di conservazione efficaci che garantiscano la sicurezza del prodotto preservandone al contempo la qualità. Tra le tecnologie innovative non termiche si distinguono in particolare il trattamento ad alta pressione (High Pressure Processing, HPP) e il plasma freddo (Cold Plasma, CP), che consentono un'efficace inattivazione dei microrganismi con modifiche minime delle proprietà sensoriali e nutrizionali della carne. L'obiettivo di questo articolo di rassegna è stato quello di presentare i meccanismi d'azione, gli ambiti di applicazione, i vantaggi e i limiti dell'HPP e del CP nella conservazione della carne e dei prodotti a base di carne, nonché di analizzare il loro contributo alla trasformazione sostenibile degli alimenti. L'HPP è una tecnologia accettata a livello normativo che garantisce l'inattivazione volumetrica dei microrganismi e il prolungamento della shelf life (durata di conservazione), mentre il CP mostra un significativo potenziale per la decontaminazione superficiale della carne e degli imballaggi, con un basso consumo di energia e acqua. Tuttavia, l'efficacia di entrambe le tecnologie dipende dal tipo di prodotto e dai parametri di processo, mentre l'applicazione del CP richiede ancora ulteriori ricerche e una validazione normativa. Si può concludere che l'HPP rappresenta un metodo tecnologicamente maturo per l'applicazione nell'industria della carne, mentre il CP possiede un grande potenziale come tecnologia del futuro per la produzione di prodotti a base di carne più sicuri, di qualità superiore e più sostenibili.

Parole chiave: carne; trattamento ad alta pressione; plasma freddo; tecnologie non termiche; shelf life (durata di conservazione); sicurezza microbiologica; prodotti clean label

TRADICIJA, OKUSI I GLAZBA OBILJEŽILI 24. NINSKU ŠOKOLIJADU

Održana je 24. Ninska šokolijada, jedna od najprepoznatljivijih gastronomskih manifestacija Zadarske županije. Devetnaest proizvođača ninskog šokola dobilo je priznanje za dugogodišnji trud i predanost očuvanju ovog jedinstvenog proizvoda, zbog kojih se ninski šokol i danas ističe kao jedan od najvažnijih gastronomskih simbola grada Nina.

