

# Sušenje i zrenje - temeljni tehnološki procesi u proizvodnji trajnih suhomesnatih proizvoda

Krvavica, M.<sup>1</sup>, B. Mioč<sup>2</sup>, E. Friganović<sup>1</sup>, A. Kegalj<sup>1</sup>, I. Ljubičić<sup>1</sup>

pregledni rad

## Sažetak

Sušenje je vjerojatno jedan od najstarijih načina konzerviranja mesa. Rezultat postupka sušenje je prvenstveno gubitak vode (dehidracija i evaporacija) koji se očituje kao gubitak mase proizvoda (kalo). Smanjenjem količine vode u proizvodu smanjuje se aktivnost mikroorganizama, a time i produljuje trajnost proizvoda. Temeljna promjena na kojoj se zasniva zaštita od kvarenja je snižavanje aktivnosti vode u proizvodu ( $a_w$ ), koja je određena zajedničkim djelovanjem sadržaja vode, topljivih tvari i tvari koje imaju sposobnost bubrenja. Povećanjem udjela topljivih tvari u mesu, smanjuje se potrebna razina sušenja. Stoga se za postizanje željene razine  $a_w$  proizvoda, sušenje uvijek kombinira s drugim postupcima konzerviranja (soljenje, dimljenje). Nadalje, i pH vrijednost proizvoda utječe na ciljanu  $a_w$  (utjecaj na sposobnost bjelančevina mesa da vežu vodu) na način da niže vrijednosti pH omogućuju više vrijednosti  $a_w$ . Brzina sušenja proizvoda od mesa ovisi uglavnom o tri čimbenika: površine sušenja, razlike između  $a_w$  i relativne vlažnosti zraka (pokretačka snaga sušenja) te svojstava površinskog sloja proizvoda. Održavanjem razlike između  $a_w$  i relativne vlažnosti zraka, što se postiže reguliranjem brzine strujanja zraka i temperature zraka, održava se i pokretačka snaga sušenja. Postupnom migracijom vode iz dubljih dijelova mesa prema površini, istovremenom difuzijom soli i drugih otopljenih sastojaka salamure unutar proizvoda i smanjenjem  $a_w$ , uz bakteriostatski učinak soli, stvaraju se nepovoljni uvjeti za razvoj mikroorganizama, što je vrlo važno za trajnu održivost proizvoda. Brojne kemijske reakcije u procesu sušenja i zrenja trajnih suhomesnatih proizvoda (enzimska hidroliza, oksidacija i dr.) u kojima nastaje veliki broj različitih kemijskih spojeva (nehlapivih i hlapivih), odgovorne su za stvaranje poželjnih organoleptičkih svojstava proizvoda, prije svega okusa i arome.

**Ključne riječi:** sušenje, zrenje, aktivnost vode, trajni suhomesnati proizvodi

## Uvod

Sušenje je uz toplinsku obradu, vjerojatno jedan od najstarijih načina konzerviranja mesa. Za razliku od hlađenja i zamrzavanja, koje se nekada primjenjivalo jedino sezonski ili u područjima polarne klime, sušenje, samo ili u kombinaciji s dimljenjem može se primjenjivati u svim dijelovima svijeta. Ovaj postupak kojim se meso čuvalo za kasniju uporabu, bio je od vitalnog značaja za čovjeka u vrijeme kada lov i ribolov nisu uvijek bili uspješni ili kada se meso velikih životinja nije moglo odmah u cijelosti potrošiti (Zukál i Incze, 2010).

S razvojem i napretkom društva općenito, unapređivao se i postupak sušenja mesa. Za razliku od današnjih modernih industrijskih komora

za sušenje mesa, počeci organizirane proizvodnje sušenog mesa vezani su za prostorije za sušenje s velikim vratima i prozorima u kojima je strujanje zraka (kao i temperatura i vlažnost zraka) regulirano njihovim otvaranjem i zatvaranjem, ovisno o vanjskoj temperaturi i vlažnosti zraka. Dehidracija proizvoda je provjeravana opipom, te na osnovu boje, oblika i elastičnosti proizvoda, što je zahtijevalo veliko iskustvo, unatoč ne uvijek sigurnom uspjehu. Moderne komore za sušenje proizvoda od mesa imaju potpuno kontroliranu i automatiziranu mikroklimu, a kvaliteta proizvoda se provjerava različitim instrumentalnim i subjektivnim metodama.

Rezultat postupka sušenja mesnih proizvoda je prvenstveno gubitak

vode (dehidracija i evaporacija). Smanjenjem količine vode u proizvodu smanjuje se aktivnost mikroorganizama, a time i produljuje trajnost proizvoda. Nadalje, masa i volumen proizvoda se smanjuju, što olakšava manipulaciju. Tekstura proizvoda postaje tvrđa, a aroma izraženija, osobito u proizvodima s duljim trajanjem zrenja (Ruiz-Ramirez i sur., 2005a).

## Povezanost procesa sušenja i aktivnosti vode ( $a_w$ ) u proizvodu

Zaštita od kvarenja kao posljedica postupka sušenja zasniva se na smanjenju količine vode u proizvodu, odnosno smanjenju aktivnosti vode ( $a_w$ ). Aktivnost vode čini u osnovi odnos, izražen brojčano, između tlaka pare iznad istraživanog medija ( $p$ )

<sup>1</sup> v.pred.dr.sc. Marina Krvavica; v.pred. Emilija Friganović, dipl.inž.; pred. Andrijana Kegalj, dipl. inž.; pred. Iva Ljubičić, dr. med. vet., univ.mag.med. vet., Veleučilište "Marko Marulić", Petra Krešimira IV 30, 22300 Knin, mkrvavica@veleknin.hr

<sup>2</sup> prof.dr.sc. Boro Mioč, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Svetošimunska 25, Zagreb

Tablica 1. Granične vrijednosti  $a_w$  za rast nekih vrsta mikroorganizama (Zukál i Incze, 2010)

Bakterije	Kvasci	Plijesni	$a_w$
<i>Escherichia coli</i>			0,99
<i>Streptococcus fecalis</i>			0,98
<i>Vibrio metschnikovii</i>			0,97
<i>Pseudomonas fluorescens</i>			0,97
<i>Clostridium botulinum</i>			0,97
<i>Campylobacter ssp.</i>			0,97
<i>Shigella</i>			0,97
<i>Yersinia enterocolitica</i>			0,97
<i>Cl. perfringens</i>			0,96
<i>Bacillus cereus</i>			0,96
<i>Bacillus subtilis</i>			0,95
<i>Samonella Newport</i>			0,95
<i>Enterobacter aerogenes</i>			0,94
<i>Microbacterium</i>			0,94
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>			0,94
<i>Lactobacillus vridescens</i>	<i>Schizosaccharomyces</i>	<i>Rhisopus</i>	0,93
		<i>Mucor</i>	0,93
	<i>Rodotorula</i>		0,92
<i>Micobacterium roseus</i>	<i>Pichia</i>		0,91
<i>Anaer. Staphylococcus</i>			0,91
<i>Lactobacillus</i>	<i>Saccharomyces</i>		0,90
<i>Pediococcus</i>	<i>Hansenula</i>		0,90
	<i>Candida</i>	<i>Asp. Niger</i>	0,88
		<i>Debaryomices</i>	0,88
		<i>Torulopsis</i>	0,87
		<i>Cladosporium</i>	0,87
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Torulasporea</i>	<i>Paecilomyces</i>	0,86
<i>Listeria monocitogenes</i>			0,83
		<i>Penicillium</i>	0,80
		<i>Asp. Ochraceus</i>	0,80
Halofilne bakterije			0,75
		<i>Asp. Glaucus</i>	0,72
		<i>Chrysosporiumfastidum</i>	0,70
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>		<i>Monascusbisorpus</i>	0,60

i tlaka pare iznad čiste vode ( $p_0$ ) pri istoj temperaturi ( $a_w = p/p_0$ ). Tlak vodene pare u tankom sloju oko proizvoda (tzv. laminarni sloj) konstantan je i isti ili niži od tlaka pare iznad čiste vode. Mikroorganizmi ne mogu rasti u mediju čiji je  $a_w$  ispod njihovog (tablica 1.) specifičnog  $a_w$  (Zukál and Incze, 2010).

Inhibicija rasta prisutnih mikroorganizama može se postići snižavanjem  $a_w$  proizvoda do razine granične vrijednosti za pojedinu mikrobnu vrstu. Tijekom sušenja, navedeno smanjenje  $a_w$  se postiže dehidracijom,

odnosno snižavanjem koncentracije vode u proizvodu. Uz to je neophodno spoznati vezu između sadržaja (relativne vlažnosti) i aktivnosti vode ( $a_w$ ). Navedeni odnos je u osnovi kompliciran, jer je različit za pojedine medije. Postoje dvije vrste tvari koje su u stanju smanjiti aktivnost vode u nekom mediju. To su tvari topljive u vodi i tvari koje u vodi bubre (u mesu su to strukturne bjelančevine). Za proizvode od mesa važna je prva, a za jela od mesa druga skupina. Radi boljeg razumijevanja treba naglasiti da tkiva koja ulaze u sastav mesa, osim mišićnog, nemaju utjecaja na

$a_w$  mesa (npr. masno tkivo). To znači da  $a_w$  ne ovisi o sadržaju vode u tom mediju, nego o odnosu vode prema sastojcima koji na nju djeluju. Tako sirovo masno tkivo ima  $a_w$  oko 1, bez obzira na nizak sadržaj vode (Zukál i Incze, 2010).

U procesu prerade mesa, cilj je smanjiti  $a_w$  do željene razine, koja ovisi o temperaturi na kojoj će se proizvod čuvati (temperatura skladištenja). Trajne suhomesnate proizvode ne mora se čuvati u uvjetima snižene temperature, odnosno može ih se skladištiti i na sobnoj temperaturi zahvaljujući niskoj  $a_w$ . I pH vrijednost proizvoda utječe na ciljanu  $a_w$ , pri čemu niže vrijednosti pH omogućuju više vrijednosti  $a_w$ , odnosno raspon  $a_w$  koji osigurava higijensku sigurnost proizvoda je funkcija pH i obrnuto je proporcionalan rasponu pH.

Tradicionalni suhomesnati proizvodi obično imaju pH oko 6,0 što zbog osiguranja higijenske ispravnosti zahtijeva sniženje  $a_w$  navedenih proizvoda ispod 0,9, dok je za fermentirane proizvode koji imaju pH oko 5,0 dovoljno sniziti  $a_w$  ispod 0,95 (Incze, 2004).

Aktivnost vode nekog medija određena je zajedničkim djelovanjem triju čimbenika: sadržaja vode, sadržaja topljivih tvari i sadržaja tvari koje imaju sposobnost bubrenja, dok drugi sastojci u ispitivanom mediju nemaju utjecaja na  $a_w$ . Manju količinu vode bjelančevine mesa vežu neovisno o  $a_w$ , dok se ostatak vode istovremeno sve više veže paralelno s rastom  $a_w$ . Istovremeno, količina vezane vode ovisi o stanju čestica koje imaju sposobnost bubrenja (denaturacija). Svježe meso (bez vidljive masti) sadrži približno 80% vode, 19% bjelančevina (koje imaju sposobnost bubrenja) i 1% topljivih tvari (Zukál i Incze, 2010). Iz dosadašnjih istraživanja može se povući paralela između sadržaja vode (%) i aktivnosti vode u proizvodu ( $a_w$ ), pri čemu se može

zaključiti da se sadržaj vode u sirovom mesu mora smanjiti na najmanje 40% da bi se postigla  $a_w$  od 0,90 (Lewicki, 2004; Ruiz-Ramirez i sur., 2005). To znači da bi gubitak mase u preradi mesa trebao biti oko 60%, što iziskuje velike troškove, prije svega energije. Osim toga, takav proizvod je pretvrde teksture te ga je potrebno natapati u vodi da bi postao jestiv. Zbog toga se postupak sušenja proizvoda od mesa obvezno kombinira s još nekim postupkom konzerviranja ili više njih (najčešće soljenje ili salamurenje i dimljenje), koji zajedničkim djelovanjem snižavaju  $a_w$  proizvoda do željene razine. Povećanjem udjela topljivih tvari u mesu, smanjuje se potrebna razina sušenja, odnosno istom razinom sušenja postiže se niži  $a_w$ . Uporaba kuhinjske soli (ali i šećera) u preradi mesa ima prije svega učinak na organoleptička svojstva proizvoda, ali je od velike važnosti i njezin konzervirajući učinak koji se očituje upravo u smanjenju  $a_w$  proizvoda. Zbog niže mase čestica soli u odnosu na čestice šećera, isti učinak na smanjenje  $a_w$  mesa postiže se dodatkom znatno manje količine soli negoli šećera, pa se učinak šećera u tom smislu ne smatra značajnim, s obzirom na male količine koje se koriste u proizvodnji nekih proizvoda od mesa. Važna uloga šećera u ovom smislu je u proizvodnji voćnih prerađevina i konditorskih proizvoda. Ioni  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  vežu otprilike dvije molekule vode u otopini, te na taj način NaCl smanjuje  $a_w$  (Zukál i Incze, 2010). Zasićena otopina NaCl sadrži 26,5% NaCl ( $a_w=0,75$ ), dok je sadržaj NaCl u mesnim proizvodima znatno manji. Komad sirovog mesa bez vidljive masnoće, mora sadržavati najmanje 6,6% NaCl da bi se dostigla  $a_w$  od 0,95. Takav proizvod zbog prevelike slanosti nije dobar za konzumaciju, ali se dodatkom masnog tkiva slanost može ublažiti, što se uz druge metode i koristi u proizvodnji proizvoda od mesa (Gou i sur., 2004). Drugi postupak redukcije slanosti krajnjeg proizvoda je dodatak manje količine

soli u startu, te sušenje do postizanja ciljane  $a_w$ , pri čemu će slanost krajnjeg proizvoda biti manja zahvaljujući većem udjelu bjelančevina i masti u odnosu na početni proizvod. Ovaj postupak je temelj u proizvodnji trajnih i polutrajnih suhomesnatih proizvoda (Zukál i Incze, 2010). Nadalje, dodatni pozitivan učinak tretmana soljenja je učinak soli na bubrenje mesa, čime sol posredno utječe na teksturu proizvoda koji se lakše narezuje i postaje mekši i topljiviji pri žvakanju, što su vrlo važna organoleptička svojstva sušenih proizvoda od mesa (Ruiz-Ramirez i sur., 2005a).

Prilikom planiranja potrebne razine sušenja, odnosno smanjenja  $a_w$  proizvoda, potrebno je imati u vidu svojstva sirovine i konačnog proizvoda (sadržaj vode, bjelančevina, soli i drugih topljivih i netopljivih tvari, organoleptička svojstva) te  $a_w$  konačnog proizvoda koju treba postići da bi se postigla željena svojstva (Zukál i Incze, 2010). Aktivnost vode u mesu koja je neophodna za postizanje sigurnosti glede zdravstvene ispravnosti, kako je već navedeno, ovisi o pH. Što je pH vrijednost proizvoda viša,  $a_w$  mora biti niži (Ruiz-Ramirez i sur., 2005a). Gubitak mase (kalo) i početna količina dodane soli mogu se izračunati na temelju navedenih željenih svojstava konačnog proizvoda. Sljedeći zadatak je odrediti brzinu sušenja, za što je potrebno dobro razumjeti sam proces sušenja. Shematski prikaz fizikalnih i kemijskih promjena u proizvodima od mesa tijekom postupka prerade, a time i sušenja prikazan je na slici 1. Tijekom sušenja mijenja se sastav površinskog sloja proizvoda kao posljedica evaporacije površinske vodene pare. Voda iz sljedećeg sloja difuzijom prelazi u površinski sloj, a proces se nastavlja sve do najdubljih središnjih dijelova. U isto vrijeme različite tvari (sastojci mesa ili dodani sastojci) prelaze iz jednog sloja proizvoda u drugi. Debljina te eventualno i oblik pojedinih slojeva proizvoda se mijenjaju, kao i

mehanička i organoleptička svojstva koja se poboljšavaju (Zukál i Incze, 2010). Uvjet evaporacije površinske vodene pare je veći  $a_w$  površinskog sloja u odnosu na relativnu vlažnost zraka oko proizvoda. U suprotnom, dolazi do vezanja vode za površinski sloj koji na taj način postaje vlažan. Brzina sušenja proizvoda od mesa ovisi uglavnom o tri čimbenika: površine sušenja, razlike između  $a_w$  i relativne vlažnosti zraka (pokretačka snaga sušenja) te svojstava površinskog sloja proizvoda (npr. vrsta ovitka kod kobasica, prisutnost plijesni, razina otpornosti površinskog sloja na sušenje). Površina sušenja predstavlja u stvari geometrijsku površinu proizvoda pri čemu treba uzeti u obzir odnos dijela koji je propustan za vodu (meso) i ukupne površine proizvoda. Tako je površina sušenja pršuta s kožom znatno manja od njegove stvarne površine, jer se dehidracija ostvaruje samo preko "otvorene" površine buta, s obzirom da je dio površine s kožom izoliran slojem potkožnog masnog tkiva i kože (Zukál i Incze, 2010). Ovaj "efekt barijere" se ujedno koristi u proizvodnji nekih tipova pršuta, pri čemu se "otvorena" površina buta u određenoj fazi proizvodnje premazuje smjesom sala i drugih sastojaka, što usporava dehidraciju i doprinosi stvaranju posebne arome u produženom procesu zrenja (Andrés i sur., 2007).

Površina proizvoda se tijekom sušenja stalno smanjuje, osobito propustljiviji dijelovi, što usporava sušenje. Vodena para koja evaporira s površine povećava vlažnost zraka u okolini proizvoda, a kako evaporacija snižava temperaturu površinskog sloja proizvoda i okolnog zraka relativna vlažnost se još više povećava. Da bi se održala pokretačka snaga sušenja, potrebno je sniziti relativnu vlažnost i temperaturu okolnog zraka. Ovo se postiže ubrzanjem cirkulacije zraka čime se smanjuje površinska otpornost proizvoda na sušenje, koja osim toga ovisi i o poroznosti

omotača, prisutnosti plijesni i debljini masnog tkiva (ili premaza) na površini. S odmicanjem procesa sušenja, ova otpornost stalno raste, smanjujući brzinu sušenja (Zukál i Incze, 2010).

Gubitak vode u površinskom sloju proizvoda uzrokuje povećanje koncentracije soli u njemu, koja zatim difundira u dublje slojeve čime se njena koncentracija u površinskom sloju smanjuje. Pokretačka snaga difuzije je različita za sadržaj soli u usporedbi sa sadržajem vode. Izgleda da je difuzija soli brža jer je koncentracija soli u površinskom sloju u većoj ravnoteži nego koncentracija vode. Tako je sadržaj soli u usporedbi s masom vode niži u vanjskim slojevima proizvoda (Gou i sur., 2004). U početnoj fazi sušenja smanjuje se sadržaj vode u površinskim slojevima, dok dublji slojevi gube vodu u kasnijim fazama sušenja. Proces uravnoteženja sadržaja vode postaje sve sporiji s odmicanjem sušenja, što također usporava tijekom sušenja. Na kraju postupka sušenja sadržaj vode u pojedinim slojevima proizvoda gotovo da se i ne mijenja.

Postupni gubitak vode tijekom sušenja rezultat je istovremenog prijenosa topline strujanjem zraka prema proizvodu i evaporacije vode u suprotnom pravcu. Postupnom migracijom vode iz dubljih dijelova mesa prema površini, istovremenom difuzijom soli i drugih otopljenih sastojaka salamure unutar proizvoda i smanjenjem  $a_w$  mesa, uz bakteriostatski učinak soli, stvaraju se nepovoljni uvjeti za razvoj mikroorganizama, što je vrlo važno za trajnu održivost proizvoda. Gubitak vode iz unutarnjih i vanjskih dijelova kreće se različitim tempom. Unutarnji slojevi mišića sporije gube vodu, ali se tempo sve više izjednačuje pred kraj preradbenog procesa. Osim toga, sadržaj vode i  $a_w$  proizvoda, ovise o mnogim drugim čimbenicima (tip, veličina i oblik proizvoda, kakvoća mesa, sadržaj soli, mikroklimatski uvjeti itd.). Či-

njenica je da je difuzija i evaporacija vode vrlo složen i spor proces, a najintenzivniji je u fazi sušenja i zrenja proizvoda. Kada je postignut prosječan gradijent koncentracije, difuzija vode se odvija prema tzv. Fickovom zakonu (tijek difundirajuće tvari proporcionalan je koncentracijskom gradijentu), sukladno sljedećoj formuli (Toldrá, 2002):

$$(X - X_0) = D (C - C_0)$$

gdje su:

X - udaljenost (m);

C - sadržaj vlage (kg/m<sup>3</sup>);

D - koeficijent difuzije (m<sup>2</sup>/s)

Koeficijent difuzije (D) ne može se uzeti kao konstantna veličina zbog velike varijabilnosti uzrokovane različitim uvjetima, svojstvima tkiva suhomesnatog proizvoda (sastav mišića, smjer vlakana u odnosu na kretanje vode), tehnološkim postupcima (soljenje, sušenje) itd. U većini slučajeva, treba izvršiti procjenu koeficijenta difuzije ( $D_e$ ). Gou i Comaposada (1997) i Gou i sur. (2002) su ispitivali utjecaj pH mesa i smjera mišićnih vlakana na difuziju vode u pršutu. Vrijednost  $D_e$  kod 5°C i 10% soli, za mišićna vlakna koja su poprečna u odnosu na smjer kretanja vode iznosi  $3,07 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s, a za vlakna paralelnog smjera  $6,11 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s (Gou i Comaposada, 1997). Vrijednost  $D_e$  za mišićna vlakna koja su vertikalna u odnosu na smjer kretanja vode niža je za 31% nego za mišićna vlakna paralelnog smjera (Gou i sur., 2002). Veći broj čimbenika utječe na difuziju vode prema površini proizvoda, kao što su pH (nizak pH pogoduje gubitku vode) te prisutnost intramuskularne masti koja onemogućava difuziju vode stvarajući fizičku barijeru. Veća masa proizvoda (ali i manja površina) također produžuje vrijeme potrebno da se postigne željeni postotak vode u proizvodu.

Senzorna svojstva finalnog proizvoda koja se odnose na teksturu, kao što su mekoća pri žvakanju, lakoća narezivanja, odgovarajuća tvrdoća

i elastičnost vrlo su važna s gledišta kvalitete trajnih suhomesnatih proizvoda, a izravno su povezana s procesom sušenja i dehidracijom. Tijekom sušenja gubi se početna plastičnost sirovine, a navedena svojstva teksture se poboljšavaju. Površinski sloj proizvoda je zbog većeg sadržaja suhe tvari, tvrdi u odnosu na unutarnje slojeve (Ruiz-Ramirez i sur., 2005a).

Prenizak sadržaj vode u presušanim proizvodima uzrokuje denaturaciju bjelančevina koje zbog toga gube sposobnost bubrenje, što izravno utječe na gotovo sva svojstva teksture proizvoda. Gubitak volumena proizvoda tijekom sušenja uzrokuje povećanje čvrstoće vanjskih slojeva, koji zbog toga najprije gubi tzv. plastičnost, a zatim i elastičnost. Prebrzo sušenje uzrokuje denaturaciju bjelančevina u površinskom sloju koji nepovratno postaje tvrd, odnosno površinski se stvara tvrda kora, koja onemogućava daljnje skupljanje toga sloja koje bi se trebalo događati u nastavku sušenja. Zbog toga se površinski sloj odvaja od unutarnjeg, uzrokujući na taj način stvaranje udubljenja, šupljina i pukotina kroz koje zrak dopire u unutarnje slojeve proizvoda (Zukál i Incze, 2010). Prisutnost kisika u dubljim slojevima, osim što omogućava rast aerobnih mikroorganizama, doprinosi pojavi ranketljivosti (lipidna oksidacija), kvarenju i stvaranju lošeg mirisa. Zbog toga se mesne proizvode mora sušiti sporo, kako bi se izbjeglo stvaranje kore. U mesnim proizvodima u komadu uvijek uz mišićno tkivo ima i dijelova masnog tkiva u kojemu su pojave navedenih grešaka znatno rjeđe. Nadalje, kao rezultat enzimske razgradnje bjelančevina, meso postaje mekše s odmicanjem procesa sušenja i zrenja (Toldrá, 2006), a dodatno optimalnu teksturu proizvoda moguće je postići uz primjenu blagog toplinskog tretmana (ispod 50°C) na kraju procesa sušenja (Morales i sur., 2008).

### Fizikalno-kemijske



## promjene u tkivima proizvoda nastale tijekom sušenja i zrenja

Većina fizikalnih promjena koje se događaju u suhomesnatim proizvodima u postupku prerade (soljenje, sušenje, zrenje) opisane su u prethodnom tekstu, a shematski prikaz zajedno s kemijskim promjenama koje se događaju u isto vrijeme kada i fizikalne, štoviše, međusobno su povezane na način da jedna drugu uvjetuju, prikazan je na slici 1. Tehnologija proizvodnje trajnih suhomesnatih proizvoda, bez obzira o kojem tipu proizvoda se radi, zasniva se u osnovi na postupcima soljenja, sušenja i zrenja proizvoda. Do sada su provedena brojna istraživanja o promjenama koje se odvijaju tijekom prerade u tkivima suhomesnatih proizvoda, osobito različitim tipovima pršuta. Poznato je da se poželjna senzorna svojstva pršuta stvaraju u dugotrajnom postupku zrenja kao posljedica složenih kemijskih procesa, prije svega razgradnje bjelančevina i masti u tkivima buta, a to su reakcije proteolize i lipolize (Toldrá, 2002). Brojne kemijske reakcije u koje su uključeni enzimi, uglavnom endogeni (tablica 2.), lipidna oksidacija, Maillardove reakcije, Streckerova degradacija i brojne druge u kojima nastaje veliki broj različitih kemijskih spojeva (nehlapljivih i hlapljivih), odgovorne su za stvaranje poželjnih organoleptičkih svojstava, prije svega okusa i arome (Toldrá, 2002). Međutim, temelj kvalitete trajnih suhomesnatih proizvoda sadržan je u sirovini i tehnologiji koja se primjenjuje tijekom prerade, a poznavanje i razumijevanje složenog sustava kemijskih reakcija u tkivima tih proizvoda doprinose uspostavi bolje kontrole preradbenog procesa i kvalitete konačnog proizvoda.

Proteolizu čini niz složenih biokemijskih reakcija koje obuhvaćaju prije svega hidrolizu miofibrilarnih i sarkoplazmatskih bjelančevina tijekom zrenja suhomesnatih proizvoda (Slika 2.). Proteolitička aktivnost glav-

Tablica 2. Najvažniji endogeni proteolitički i lipolitički enzimi s kratkim opisom supstrata i produkata (Toldrà, 2007)

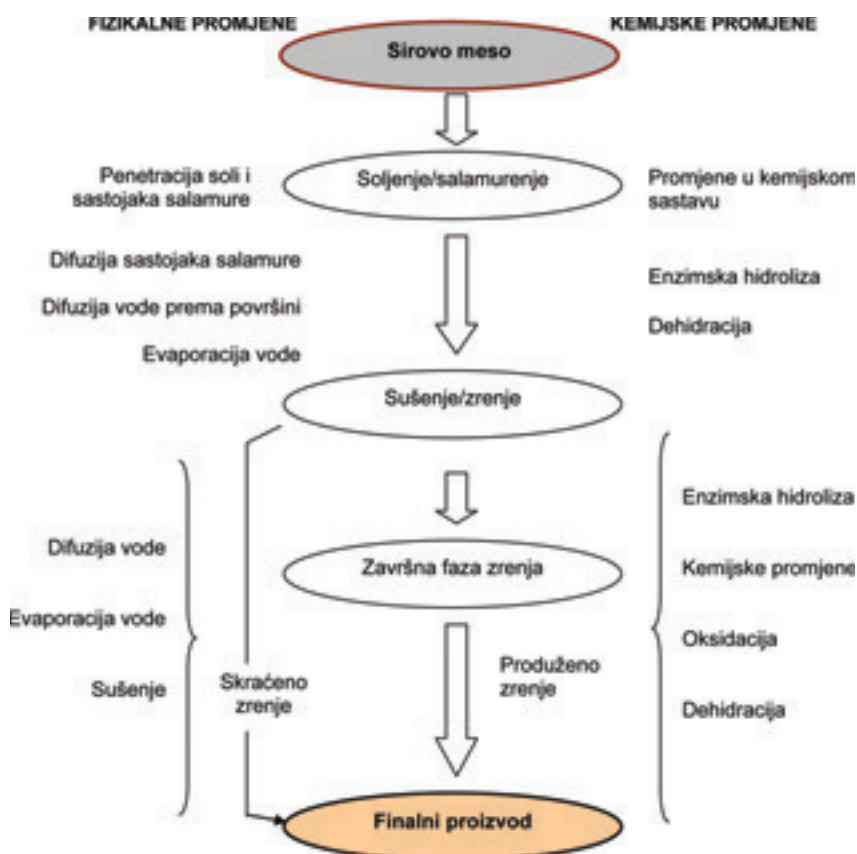
Enzim	Mjesto djelovanja (supstrat)	Najvažniji produkti
Katepsini	Miofibrilarne bjelančevine	Proteinski fragmenti
Kalpaini	Miofibrilarne bjelančevine	Proteinski fragmenti
20S proteosom	Miofibrilarne bjelančevine	Proteinski fragmenti
Tripeptidilpeptidaze	Polipeptidi	Tripeptidi
Dipeptidilpeptidaze	Polipeptidi	Dipeptidi
Dipeptidaze	Dipeptidi	Slobodne aminokiseline
Aminopeptidaze	Peptidi (amino ostaci)	Slobodne aminokiseline
Karboksipeptidaze	Peptidi (karboksi ostaci)	Slobodne aminokiseline
Lizosomalne kisele lipaze	Triacilgliceroli	Slobodne masne kiseline
Kisele fosfolipaze	Fosfolipidi	Slobodne masne kiseline
Esteraze	Triacilgliceroli	Slobodne masne kiseline kratkog lanca
Hormon sensitivnelipaze	Triacilgliceroli	Slobodne masne kiseline
Monoacilglicerollipase	Monoacilgliceroli	Slobodne masne kiseline

na je značajka endogenih enzimskih sustava u tkivima suhomesnatih proizvoda. Oni uz limitirajuće čimbenike (pH,  $a_w$ , koncentracija soli itd.), stvaraju nepovoljne uvjete za rast mikroorganizama te je i aktivnost mikrobnih enzima unutar tih proizvoda gotovo beznačajna (Molina i Toldrá, 1992), uz izuzetak kobasica iz skupine trajnih fermentiranih proizvoda.

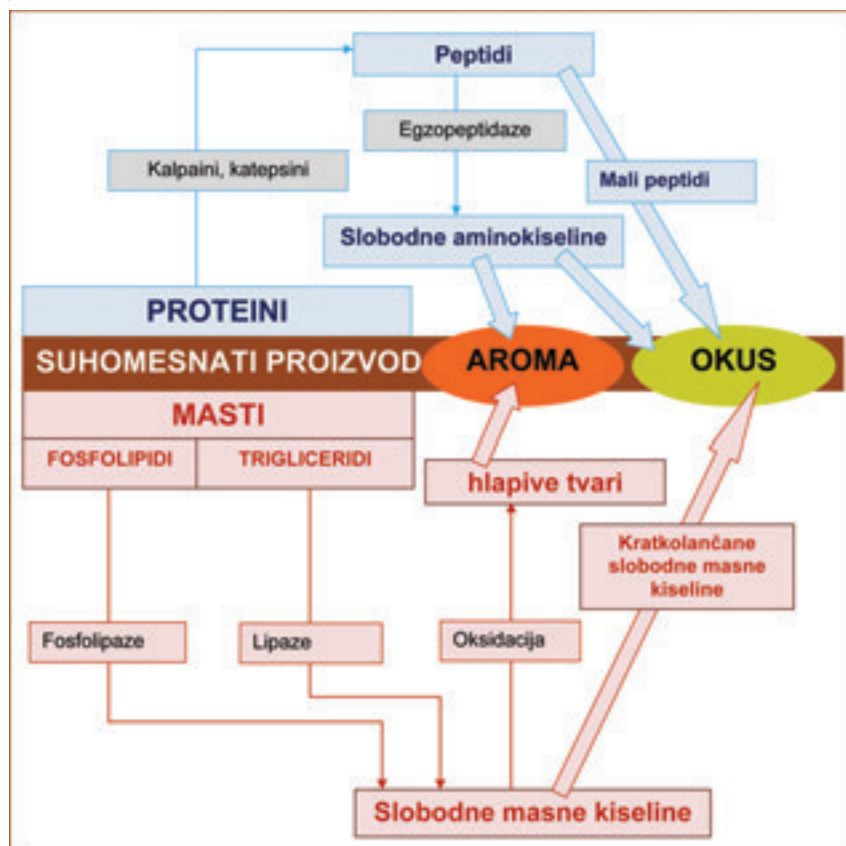
Značaj proteolize u smislu kvalitete proizvoda, očituje se na više načina. Proteoliza izravno sudjeluje u formiranju teksture proizvoda temeljem razgradnje miofibrilarnih bjelančevina koji grade mišićnu strukturu. Stvaranjem peptida i slobodnih aminokiselina utječe na okus, a slobodne aminokiseline sudjeluju kao supstrat i u budućim reakcijama koje doprinose formiranju konačne arome i okusa. Ovo je osobito svojstveno proizvodima koji zriju duže (npr. pršut). Mali peptidi zbog različitih kombinacija aminokiselina od kojih se sastoje (uglavnom di- i tripeptidi), imaju značajan utjecaj na organoleptička svojstva, naročito okus i aromu, premda je za neke od njih (npr. karnozin, anserin) utvrđeno da imaju antioksidativni učinak (Lynch i Kerry, 2000), ali i neka druga (opijati, prebiotici, antihipertenzivi, imunomodulatori, antibiotici itd.) biološki aktivna svojstva (Keizo, 2006). Većina dosadašnjih

istraživanja usmjerena su na mišićne enzimske sustave, kako bi se objasnile promjene nastale tijekom prerade, te uspostavila što bolja kontrola preradbenog procesa i time optimizirala kakvoća proizvoda (Nolet i Toldrá, 2006).

Tijek proteolize može jako varirati u ovisnosti o tipu proizvoda, količini endogenih proteolitičkih enzima i specifičnih preradbenih uvjeta (Sarraga i sur., 1993; Toldrá i Flores, 1998; Toldrá, 2002, Krvavica i Đugum, 2007). Razgradnja započinje djelovanjem endogenih enzima kalpaina i katepsina na najvažnije miofibrilarne bjelančevine, stvarajući proteinske ostatke i polipeptide srednje veličine, što je prije svega rezultat hidrolize, odnosno razgradnje strukture Z-membrane i bjelančevina troponina T, dezmina, nebulina i titina, te sarkoplazmatskih bjelančevina (Toldrá, 2002). Razgradnja polipeptida se nastavlja do malih peptida, a rezultat je djelovanja di- i tripeptidilpeptidaza. Konačno, slobodne aminokiseline nastaju aktivnošću dipeptidaza, amino-peptidaza i karboksipeptidaza. Aktivnost enzima mikrobnog podrijetla također je prisutna, premda u trajnih suhomesnatih proizvoda u komadu nije izrazito značajna u uvjetima dobre higijenske prakse (kod fermenti-



Slika 1. Fizikalne i kemijske promjene mesa u postupcima soljenja, sušenja i zrenja (Izvor: Krvavica, 2012, citat: Toldrá, 2002)



Slika 2. Proteoliza i lipoliza - generatori komponenata okusa i arome trajnih suhomesnatih proizvoda

ranih kobasica mikrobne kulture imaju presudnu ulogu).

Razlike u okusu i aromi pojedinih tipova trajnih suhomesnatih proizvoda u komadu (najviše istraživanja je provedeno na različitim tipovima pršutima) vezane su za količinu, sastav i način razgradnje lipida tijekom postupka prerade. Djelovanje lipaza i fosfolipaza mišićnog i masnog tkiva na triaciglicerole (trigliceride) i fosfolipide, dovodi do nagomilavanja slobodnih masnih kiselina čijom autoksidacijom (ili enzimskom oksidacijom) nastaju hlapljive komponente specifičnih aroma i okusa koje se povezuju s aromom i okusom određenih tipova suhomesnatih proizvoda (Timón i sur., 2001). Slobodne masne kiseline konačnog proizvoda također ovise o tipu suhomesnatog proizvoda, pri čemu je važna sirovina (vrsta i kategorija mesa, sustav uzgoja, hranidba itd.) i tehnologija prerade (kod mesa u komadima: soljenje, način i duljina sušenja i zrenja i dr.).

Slikom 2. prikazana je pojednostavljena shema enzimске razgradnje lipida mišićnog i masnog tkiva do slobodnih masnih kiselina (uz prikaz nekoliko najvažnijih međuprodukata) i mišićnih bjelančevina do peptida i slobodnih aminokiselina, te utjecaj nastalih produkata na okus i aromu trajnih suhomesnatih proizvoda.

### Zaključak

Tehnologija trajnih suhomesnatih proizvoda zasniva se u osnovi na postupcima soljenja, sušenja i zrenja. Najznačajnije promjene u tkivima proizvoda događaju se tijekom postupka sušenja i zrenja, koje se temelje prije svega na dehidraciji proizvoda i sniženju  $a_w$  (najizraženije u fazi sušenja) te brojnim biokemijskim procesima (najintenzivniji u fazi zrenja) koji generiraju različite kemijske spojeve odgovorne za specifičnu aromu i okus proizvoda. Fizikalne i kemijske promjene u tkivima proizvoda tijekom prerade međusobno su

povezane, na način da jedna drugu uvjetuju. Stoga je u proizvodnji trajnih suhomesnatih proizvoda ključno primijeniti odgovarajuće tehnološke postupke koji će, s obzirom na kvalitetu sirovine, osigurati uvjete za proizvodnju proizvoda najbolje kvalitete.

## Literatura

**Andrés, A., J. M. Barat, J. Grau, P. Fito** (2007): Principles of drying and smoking. In: Handbook of Fermented Meat and Poultry. Toldrá, F. Ames, Iowa, Blackwell Publishing.

**Gou, P., J. Comaposada** (1997): Water transfer inside the dry-cured ham during the drying process. *Eurocarne* 58, 33-39.

**Gou, P., J. Comaposada J. Arnau** (2002): Meat pH and meat fibre direction effects on moisture diffusivity in salted ham muscles dried at 5°C. *Meat Sci.* 61, 25-33.

**Gou, P., J. Comaposada J. Arnau** (2004): Moisture diffusivity in the lean tissue of dry-cured ham at different process times. *Meat Science* 67, 203-209.

**Incze, K.** (2004): Dry and semi-dry sausages. In: Encyclopedia of Meat Sciences. Jensen W. K., Devine C., Dikeman M. London. Elsevier Academic Press.

**Keizo, A. (2006): Functional Properties of Bioactive Peptides Derived from Meat Proteins.** In: Advanced Technologies for Meat Processing. Nollet, L., Toldrá, F. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 246-264.

**Krvavica, M., J. Đugum** (2007): Razgradnja lipida mišićnog i masnog tkiva tijekom zrenja pršuta. Autorski pregled. *Meso* 5, 267 – 273.

**Krvavica, M.** (2012): Kvalitativne promjene različitih kategorija ovčjeg mesa u procesu salamurenja i sušenja. Doktorski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

**Lewicki, P. P.** (2004): Drying. In: Encyclopedia of Meat Sciences. Jensen W. K., Devine C., Dikeman M. London. Elsevier Academic Press.

**Lynch, P. B., J. P. Kerry** (2000): Utilizing diet to incorporate bioactive compounds and improve the nutritional quality of muscle foods. In: Antioxidants in muscle foods. Decker, E., Faustman C., Lopez-Bote C. J. 455-480. New York, Wiley.

**Molina, I., F. Toldrá** (1992): Detection of proteolytic activity in microorganisms isolated from dry cured ham. *Journal of Food Science* 57, 1308-1310.

**Morales, R., J. Arnau, X. Serra, L. Guerrero, P. Gou** (2008): Texture changes in dry-cured ham pieces by mild thermal treatments at the end of the drying process. *Meat Science* 80, 231-238.

**Nollet, L., F. Toldrá** (2006): Advanced Technologies for Meat Processing. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.

**Ruiz-Ramirez, J., X. Serra, J. Arnau, P. Gou** (2005): Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non crusted dry-cured loin. *Meat Science* 70, 579-587.

**Ruiz-Ramirez, J., X. Serra, J. Arnau, P. Gou** (2005a): Relationship between water content,

NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science* 70, 579-587.

**Sárraga, C., M. Gil, J. A. García-Regueiro** (1993): Comparison of calpain and cathepsin (B, L and D) activities during dry-cured ham processing from heavy and light large white pigs. *Journal of Food Science and Agricultural* 62, 71-75.

**Timón, M. L., J. Ventanas, A. I. Carrapiso, A. Jurado, C. García** (2001): Subcutaneous and intermuscular fat characterisation of dry-cured Iberian hams. *Meat Science* 58, 85-91.

**Toldrá, F.** (2002): Dry-cured meat products. Food and Nutrition press, inc. Trumbull, Connecticut, USA.

**Toldrá, F.** (2006). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trends in Food Science and Technology* 17, 164-168.

**Toldrá, F.** (2007): Handbook of Fermented Meat and Poultry. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA.

**Toldrá, F., M. Flores** (1998): The role of muscle proteases and lipases in flavour development during the processing of dry-cured ham. *Critical Reviews in Food Science* 38, 331-352.

**Zukál, E., K. Incze** (2010): Drying. In: Handbook of Meat Processing. Toldrá, F. Blackwell Publishing, 2121 State Avenue, Iowa, USA.

Dostavljeno: 9.2.2012.

Prihvaćeno: 17.3.2012.



## Priručnik Biološke opasnosti u hrani

Priručnik Biološke opasnosti u hrani opisuje potencijalne uzročnike bolesti koji se mogu prenijeti hranom, kroz tri poglavlja: bakterije, virusi i paraziti. Autori su prof. dr. sc. Albert Marinculić, dr. sc. Boris Habrun, doc. dr. sc. Ljubo Barbić i dr. sc. Relja Beck.

Ispunjenu narudžbenicu pošaljite faksom na 031/214-901.

Cijena priručnika iznosi 80 kuna + poštarina, plaćanje pouzecem.



BROJ NARUČENIH PRIMJERAKA	
IME I PREZIME	
TVRTKA	
OIB TVRTKE ILI OIB GRAĐANA	MJESTO
ULICA I BROJ	TELEFON
FAX	E-MAIL
DATUM	
POTPIS	ŽIG TVRTKE