

Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH) u tradicionalno dimljenim mesnim proizvodima

Leona Puljić¹, Brankica Kartalović², Dragan Kovačević³, Kristina Habschied³, Krešimir Mastanjević³

Sažetak

Dimljeni mesni proizvodi čine jednu od najvažnijih skupina tradicionalnih namirnica. Zahvaljujući jedinstvenim i povoljnim organoleptičkim svojstvima te visokoj kvaliteti, potrošači ih rado biraju. U posljednje vrijeme raste zabrinutost oko zdravstvenih aspekata ovih proizvoda. Istraživanja sugeriraju da tradicionalno dimljeni mesni proizvodi mogu biti povezani s nekim problemima zdravstvene sigurnosti, poput prisutnosti policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH). Policiklički aromatski ugljikovodici predstavljaju veliku skupinu kemijskih spojeva prepoznatu kao mogućeg uzročnika nastanka malignih oboljenja a mogu nastati tijekom toplinske obrade hrane tradicionalnim postupcima kao što su sušenje i dimljenje. Postoje različiti mehanizmi nastanka PAH-a, pri čemu svi spojevi koji sadrže ugljik i vodik mogu poslužiti kao prekursori nastanka PAH-ova. Tijekom reakcija nastanka PAH-a, vodik i ugljik spajaju se u ciklički spoj s izmjeničnim jednostrukim i dvostrukim vezama, s dva ili više kondenziranih aromatskih prstenova, koji daju visok karcinogeni i mutageni potencijal. Stoga je cilj ovog istraživanja bio analizirati čimbenike koji utječu na kvalitetu i zdravstvenu ispravnost tradicionalnih mesnih proizvoda u pogledu sadržaja policikličkih aromatskih ugljikovodika na temelju dostupne literature.

Ključne riječi: tradicionalni mesni proizvodi, tradicionalno dimljenje, benzo[a]piren, PAH4, PAH16

Uvod

Tradicionalna hrana predstavlja važan element kulture, baštine i identiteta ljudi koji dolaze iz različitih regija diljem svijeta (Lucarini i sur., 2013.). Posljednjih godina primjećuje se povećani interes za takvom hranom, ponajviše zbog jedinstvenih sastojaka i korištenja vrlo specifičnih, tradicionalnih metoda proizvodnje. Još jedan čimbenik koji može biti privlačan potrošačima je mjesto podrijetla

proizvoda ili njegovih sastojaka. Obično se kao izvori sirovina koriste karakteristične lokalne pasmine životinja (Hajdukiewicz, 2014.). Sve to čini tradicionalne mesne proizvode, koji se obično smatraju zdravijom i ukusnijom alternativom masovno proizvedenim ekvivalentima (Trichopoulou i sur., 2007.), što dokazuje visoka kvaliteta i, u većini slučajeva, prirodni sastojci (Talon, i sur., 2007.) visoko cijenjenim od stra-

¹ dr. sc. Leona Puljić, Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet, Sveučilišta u Mostaru, Biskupa Čule bb Mostar, Bosan i Hercegovina;

² dr. sc. Brankica Kartalović, Naučni institut za Veterinarstvo Novi sad, Rumenački put 20 Novi sad, Srbija,

³ dr.sc. Dragan Kovačević, redoviti profesor, dr. sc. Kristina Habschied, izvanredni profesor, dr. sc. Krešimir Mastanjević, izvanredni profesor, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek. Sveučilište u Osijeku, Kuhačeva 18, 3 Osijek

*Autor za korespondenciju: kresimir.mastanjevic@ptfos.hr

ne potrošača (Figiel, 2017.; Ruiz i sur., 2002.). Interes za takve proizvode također može biti posljedica želje za podrškom lokalnim proizvođačima, a ne kvalitete samog proizvoda. Stoga se za tradicionalne mesne proizvode kaže da su važni za ruralna gospodarstva (Figiel, 2017.). To su prije svega primarni proizvođači sirovine (npr. tove svinje), a kroz proizvodnju i prodaju vlastitih suhomesnatih proizvoda žele povećati dohodak i konkurentnost. Kao takva, ova djelatnost čini izvrstan model za konsolidaciju lokalnih zajednica i razvoj ruralnih područja kojima, u suprotnom, prijete depopulacija. Metode proizvodnje (vremenski dug i zahtjevan proces prerade) i korištene sirovine čine tradicionalne mesne proizvode skupljim od konvencionalnih proizvoda. Europska unija prepoznaje potrebu za podrškom lokalnim proizvođačima hrane i omogućuje zaštitu njihovih proizvoda i znanja (Trichopoulou i sur., 2007.). Osigurava zaštitu jedinstvenih proizvoda njihovom registracijom kao zaštićene oznake izvornosti (PDO), zaštićene oznake zemljopisnog podrijetla (PGI) i zajamčeno tradicionalnih specijaliteta (TSG). Zanimanje za tradicionalnu hranu u Europi stalno raste i sukladno tome, proširuju se popisi proizvoda PDO, PGI i TSG (Lücke i Vogeley, 2012.). Meso i mesne preradevine daju značajan doprinos tim popisima. Među tradicionalnim mesnim proizvodima najveći udio imaju kobasice i pršuti (eAmbrosia, 2021.; Talon, Lebert i sur., 2007.). Širok raspon pršuta i kobasica - sa svojim karakteristikama koje proizlaze iz različitih recepata, sirovina i uvjeta obrade koji su korišteni - sada se može naći na tržištu (eAmbrosia, 2021.; Holck i sur., 2017.). Štoviše, različite metode prerade i različite recepture proizvoda, koje su povezane s klimatskim uvjetima i specifičnim sirovinama teritorija, koriste se u različitim regijama svijeta. Sukladno tome, svaki od tradicionalnih proizvoda ima drugačiju recepturu i metodu obrade, pa su stoga različite ne samo organoleptičke karakteristike, već i potencijalni sigurnosni rizici mogu varirati. U posljednje vrijeme raste zabrinutost zbog zdravstvenih rizika tradicionalno dimljenih mesnih proizvoda, uzrokovanih prekomjernim dimljenjem tradicionalnim metodama s otvorenim ložištima, i spojeva povezanih s uporabom dima tj. policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH). Za razliku od promjena uzrokovanih mikrobiološkim karakteristikama i oksidacijom lipida, potrošači ne mogu osjetilno uočiti kontaminaciju PAH-om u prehrambenim proizvodima, što otežava njihovu sposobnost odbijanja takvih proizvoda. Stoga je osobito važno provjeriti stvarne sigurnosne

opasnosti tradicionalno dimljenih mesnih proizvoda. Štoviše, rasprava o radikalno različitim mesnim proizvodima omogućuje provjeru jesu li uopće mogući bilo kakvi opći zaključci o sadržaju PAH-ova u mesnim proizvodima dimljenim tradicionalnim postupcima. Treba imati na umu da unatoč rastućem interesu za tradicionalne proizvode, nedostaje pregleda literature o aspektima sigurnosti tradicionalnih mesnih proizvoda. Stoga je cilj ovog rada bio istražiti gore navedena pitanja koja se tiču tradicionalno dimljenih mesnih proizvoda s područja Europe, na temelju dostupne literature.

Dimljenje i PAH-ovi

Od početka tradicionalnog, nekontroliranog spaljivanja biomase, tehnika dimljenja hrane se usavršavala sve dok nije postala proces prehrambene tehnologije. Postoji više načina klasifikacije metoda dimljenja na temelju temperature dima, mjesta stvaranja dima u odnosu na položaj hrane i uređaja koji se koristi za stvaranje dima. U ovom radu su različite metode dimljenja klasificirane u dvije glavne skupine: izravno i neizravno dimljenje. Tijekom izravnog dimljenja, dim se proizvodi u istoj komori u kojoj se obrađuje meso. Metode izravnog dimljenja uglavnom se sastoje od tradicionalnih tehnika (izravne toplinske degradacije drva za proizvodnju dima) (Ahmad, 2003.). Metode izravnog dimljenja mogu se prema temperaturi dima klasificirati na hladno i toplo dimljenje. Prema različitim autorima, potrebna temperatura dima u komori za dimljenje za postizanje uvjeta hladnog dimljenja trebala bi biti ispod 20°C (Mastanjević i sur., 2020.), između 15 -25°C (Šimko, 2009.; Woods, 2003.), odnosno ispod 30°C. (Ahmad, 2003.). Ova niska temperatura dima postiže se ili regulacijom zraka ili propuštanjem dima kroz izmjenjivač topline (Woods, 2003.). Dimljeni suhomesnati proizvodi i fermentirane kobasice obično se proizvode hladnim dimljenjem. U ovoj tehnici, meso se podvrgava dimu koji se sustavom cijevi dovodi iz komore za izgaranje drva u komoru za dimljenje, u slučaju tradicionalnih pušnica, u uvjetima direktnog dimljenja, ložište se nalazi u istoj prostoriji. Za proces dimljenja koriste se različite vrste drva (Karabasil i sur., 2018.). U slučaju srpskih proizvoda (npr. sremski kulen, sremska šunka) (Škaljac et al., 2014.) i španjolski Chorizo de cebolla to je obično hrast ili bukva (Salgado et al., 2005), u slučaju slavonskog kulena - grab ili bukva (Kovačević i sur., 2010.). U proizvodnji portugalskih kobasica uglavnom se koristi hrast pluto ili čemarina (Marcos i sur., 2016.). Tradicional-

ni postupak zanatske proizvodnje mesnih proizvoda (kao u slučaju hrvatske slavonske kobasice i Slavonske šunke ili poljske kobasice Myśliwska) često se odvija u pušnici, gdje se koristi otvorena vatra kako bi se osigurala jedinstvena aroma proizvoda po dimu (Mastanjević i sur., 2019., 2020.; Małecki i Sołowiej, 2019.). Za razliku od tradicionalnih proizvoda, industrijski se dime u kontroliranim uvjetima. To omogućuje brži završetak procesa, unutar 4-5 dana (Salgado i sur., 2005.). Tijekom dimljenja pirolizom lignina nastaju derivati fenola, spojevi koji su najodgovorniji za stvaranje poželjne boje i arome (Kovačević, 2017.) Dimljenje mesa uključuje difuziju hlapljivih tvari, koje potječu od izgaranja drveta (Stumpe-Viksna i sur., 2008.). Zbog koncentracijskog gradijenta, otopljene komponente dima, difundiraju u dubinu. Brzina difuzije kontrolirana je svojstvima mesa i taloženih spojeva, kao i toplinskim uvjetima dimljenja. Najviše dimnih komponenti koncentrirana se u površinskom sloju mesnih proizvoda (koži, omotaču kobasica i ispod površine na oko 6 mm dubokom sloju) posebno u masnom tkivu (Toldra, 2010). Uslijed taloženja dima na površini dimljenog mesnog proizvoda i njegovog prijelaza u dubinu, stvara se specifični, ugodni miris i okus po dimu i zlatnožuta boja mesnih proizvoda (Stumpe-Viksna i sur., 2008.). Poželjni intenzitet senzornih promjena uzrokovanih dimljenjem ovisi o vrsti mesnih proizvoda. Za pojedine mesne proizvode očekuje se tek lagano zadržana nota, dok se za druge, uglavnom regionalne proizvode, mora primijeniti vrlo intenzivno dimljenje kako bi odgovaralo tipičnim preferencijama potrošača. Štoviše, zahvaljujući dehidrirajućim, baktericidnim i antioksidativnim svojstvima dim pridonosi produljenju roka trajanja mesnih proizvoda (Škaljac i sur., 2014.). Također, štiti sirove šunke od kvarenja uzrokovanog rastom neželjenih plijesni na površini proizvoda (Toldrá, 2007.). Dimljenje se kod proizvodnje mesnih proizvoda, kao metoda konzerviranja, koristi kod 50% proizvoda (Kovačević, 2017.). Dimljenje se koristi tamo gdje ne postoje optimalni uvjeti sušenja.

Uzimajući u obzir zdravstveni aspekt, kancerogeni i mutageni spojevi dima najsporniji su PAH-ovi. Njihova koncentracija ovisi o različitim kriterijima, među ostalim o vlažnosti, temperaturi izgaranja, prisutnosti kisika, a nastaju na temperaturama iznad 500°C i ispod 300°C (Ledesma i sur., 2015.). PAH su velika skupina visoko hidrofobnih organskih spojeva koji u svojoj kemijskoj strukturi imaju dva ili više spojena aromatska prstena. Oni

PAH-ovi koji u svojoj kemijskoj strukturi sadrže pet ili više aromatskih prstena svrstani su u skupinu teških PAH-ova, a u skupinu lakih, koji sadrže dva do četiri aromatska prstena. Teški PAH-ovi pokazali su veću stabilnost i toksičnost od lakih. Općenito, PAH-ovi nastaju nepotpunim izgaranjem ili pirolizom organskih tvari, poput drva, ugljena, nafte, plina ili smeća, koje sadrže zagađivače okoliša i kontaminiraju hranu putem tla, vode i zraka (Zelinkova i Wenzl, 2015.). Nadalje, mutagene i kancerogene tvari, poput PAH-ova, mogu nastati tijekom toplinske obrade hrane tradicionalnim postupcima kao što su sušenje i dimljenje, koji se vrlo često primjenjuju (Mastanjević i sur. 2019.). Intenzivne metode dimljenja mesnih proizvoda dovode do viših razina PAH-ova u usporedbi s drugim metodama, povećavajući zdravstveni rizik za potrošače (Duedahl-Olesen i sur., 2015.; Farhadian i sur., 2010.; Lee i sur., 2016.).

Biološki učinci PAH-ova i zakonska regulativa

PAH-ovi predstavljaju veliku skupinu kemijskih spojeva prepoznatu kao mogućeg uzročnika nastanka malignih oboljenja. Utjecaj PAH-ova na ljudsko zdravlje ovisan je o načinu i dužini, toksičnosti i koncentracije PAH-a, te zdravstvenog statusa i starosti ljudi (Rengarajan i sur., 2015.). Najveći je unos PAH-ova u ljudski organizam putem hrane, čak 88 – 98% od ukupne kontaminacije (Farhadian i sur., 2011.). Različiti procesi obrade hrane (dimljenje, sušenje, kuhanje, pečenje, roštiljanje) predstavljaju izvore kontaminacije PAH-ovima. Konzumiranjem PAH-ovima kontaminiranim namirnicama ovi spojevi ulaze u organizam čovjeka. Apsorpciju PAH-ova olakšava njihova povećana topljivost u mastima, a njihova lipofilna priroda omogućuje im da se vežu za staničnu membranu. Ovo vezanje uzrokuje strukturne promjene, ometajući normalne funkcije stanice (Duan i sur., 2016.). Među PAH-ovima, benzo[a]piren (BaP) je najtopiviji u lipidima. Ovaj se spoj može povezati s molekulama za distribuciju lipida, kao što su hilomikroni i drugi lipoproteini, prožimajući tako nekoliko sustava odgovornih za apsorpciju i distribuciju lipida i, posljedično, potičući njegovu bioakumulaciju u tkivima i organima koji aktivno sudjeluju u tim procesima, kao što su jetra i tanka crijeva (Ifegwu i sur., 2015.; Katona i sur., 2018.). Točnije, distribucija PAH ovisi o masnim kiselinama povezanim s triacilgliceridima, slobodnim kolesterolom i fosfolipidima ugrađenim u strukturu hilomikrona sintetiziranih u crijevnim stanicama i transportiranih limfnim žilama. Nakon toga slijedi distribucija u tkiva - kao

što je skeletno mišićno tkivo, masno tkivo i jetra, preko lipoproteina vrlo niske gustoće, lipoproteina niske gustoće i lipoproteina visoke gustoće - putem krvnih kapilara. Važno je da kronična izloženost ljudi PAH-ovima može objasniti povećanje prevalencije nekih bolesti, poput raka pluća kod pušača i crijevnih bolesti kod nepušača (Purcaro i sur., 2013.; Kim i sur., 2013.; Zelinkova i sur., 2015.). Konkretno, hrana koja sadrži visok sadržaj lipida (npr. govedina, perad i riba) izvrstan je sustav za dostavu ovih molekula, omogućujući njihovu pasivnu apsorpciju u gastrointestinalnom traktu. Toksični učinci PAH-a ovise o trajanju i načinu izlaganja. Kratkoročni učinci uključuju iritaciju kože i očiju, mučninu, povraćanje i upalu, dok su dugoročni učinci povezani s rakom kože, pluća, mjehura i probavnog sustava; oštećenje bubrega i jetre; katarakta; kao i genetska mutacija, oštećenje stanica i smrtnost povezana s kardiopulmonalnim bolestima (Garcia i sur., 2014.). Nadalje, PAH-ovi se metaboliziraju kroz nekoliko putova koji uključuju enzime faze I i II, uključujući putove citokrom P450 peroksidaze i aldo-keto reduktaze, generirajući metabolite kao što su diol-epoksidi i radikalni kationi. Ti se metaboliti mogu vezati na proteine i DNA, stvarajući adukte DNA koji dovode do biokemijskih poremećaja i staničnih oštećenja, posljedično uzrokujući kancerogena, mutagena, imunosupresivna i teratogena oštećenja. Ove genetske mutacije povezane su s razvojem fetalnih malformacija i tumora (Bernardo i sur., 2016.; Das i sur., 2017.; Gao i sur., 2018.; Grover 2019.). Osim toga, s obzirom na to da PAH-ovi obično postoje kao složena mješavina različitih struktura, oni mogu pokazivati sinergističke učinke, što može povećati njihovu toksičnost (Purcaro i sur., 2013.). Nedavno su novi dokazi pokazali da crijevna mikrobiota modulira aktivnost ksenobiotika kao što su PAH-ovi. Mikrobiota domaćina može pogoršati toksičnu aktivnost PAH-ova putem putova kao što je enterohepatički ciklus, kao i kroz promjene u ekspresiji gena pomoću jetrenih enzima kao što je P450. Međutim, specifični mehanizmi uključeni u ovu modulaciju posredovanu mikrobiotom ostaju nejasni (Nogacka i sur., 2019.). Metabolizam i biotransformacija PAH-ova su složeni. Metabolizira ih nekoliko enzima različitim putovima. Među njima, putevi diol-epoksida, kationa radikala i orto kinona uključeni su u aktivaciju PAH-ova u karcinogene. Konkretno, u diol-epoksidnom putu, enzim faze I citokrom P1A1/1B1 i enzim epoksid hidrolaza faze II transformiraju BaP u dihidrodiole, tj. (+)benzo[a]piren-7,8 dihidro-

diol-9,10-epoksid. Ovi novonastali "aktivirani" PAH-ovi imaju povećanu polarnost i elektrofilnost, što im daje povećanu reaktivnost. Ako ih makrofagi ne fagocitiraju i izlučuju u fecesu i urinu, aktivirani produkti ovih metaboličkih putova (kationi radikala, diol-epoksidi i o-kinoni) mogu formirati adukte DNA, RNA i glutaciona, izazivajući tako mutacije, promjene ekspresije gena, i karcinogeneza (Ifegwu i sur., 2015.; Haschek i sur., 2010.). PAH-ovi mogu uzrokovati mutacije na kromosomima, utjecati na procese spajanja te potencijalno izazvati lomove kromosoma. Posljedično, genetski materijal pohranjen u tim stanicama postaje nestabilan. Ako se ne dogode mehanizmi popravka DNA, genotoksični agens trajno će utjecati na staničnu DNA tijekom faze inicijacije procesa transkripcije, generirajući mutaciju koja se ne može spriječiti i koja će rezultirati pre-neoplastičnom stanicom (Malarkey i sur., 2018.; Choudhuri i sur., 2018.). Mehanizmi popravka pokrenuti prije stvaranja pre-neoplastične stanice mogu obnoviti oštećenu staničnu DNK. Senzori oštećenja DNK-uključujući mutiranu ataksiju telangiektaziju i ataksiju telangiektaziju povezanu s Rad3-prepoznaju promjene u genomskoj sekvenci i pokreću mehanizme popravka efektor. Osim što pokreću mehanizme popravka, ovi enzimi kinaze zaustavljaju stanični ciklus putem katalizacije međumolekularne fosforilacije supstrata. Oni također aktiviraju tumorski supresorski gen p53, koji može utjecati na druge stanične regulatorne gene koji induciraju popravak DNK uz stimulaciju apoptoze (Harris i sur., 2018.). Neuspjeh jednog ili više sustava supresije ili stalna i pretjerana stimulacija genotoksičnim agensima može rezultirati potpunim razvojem pre-neoplastičnih stanica. Ove su stanice otporne na apoptozu i, uz poticanje klonalne ekspanzije, stvaraju benigne tumore detektabilne stanične mase. Naknadno, te stanice stječu sposobnost autonomnog rasta na neodređeno vrijeme, što može inducirati angiogenezu i utjecati na metastatski kapacitet tumora. Posljedično, može se formirati maligna masa sposobna reprogramirati metaboličke putove za svoje širenje i odbijanje djelovanja imunoloških stanica (Malarkey i sur., 2018.; Choudhuri i sur., 2018.). Organizacije kao što su IARC, WHO, Europska agencija za sigurnost hrane (EFSA - European Food Safety Authority), Agencija za zaštitu okoliša Sjedinjenih Država (US-EPA), Agencija za registar otrovnih tvari i bolesti (ATSDR) i Europska unija prepoznali su rizike za ljudsko zdravlje povezane s izloženošću PAH-ovima (Tablica 1.).

Tablica 1. Podjela policikličkih aromatskih ugljikovodika prema kancerogenosti (IARC, 2010.)
Table 1 Division of PAHs according to carcinogenesis (IARC, 2010.)

Policiklički aromatski ugljikovodik (PAH) / Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)		IARC skupine kancerogenosti / IARC carcinogenicity classification
Benzo(a)piren/Benzo(a)pyrene	BaP	1
Dibenzo(a,h)antracen/Dibenz[a,h]anthracene	DahA	2A
Naftalen/Naphthalene	Nap	2B
Benzo(a)antracen/Benz(a)anthracene	BaA	
Krizen/Chrysene	Chr	
Benzo(b)fluoranten/Benzo[b]fluoranthene	BbF	
Benzo(k)fluoranten/Benzo[k]fluoranthene	BkF	
Indeno(1,2,3-cd)piren/Indeno(1,2,3-cd)pyrene	InP	
Acenaften/Acenaphthene	Ane	3
Fluoren/Fluorene	Fln	
Fenantren/Phenanthrene	Phen	
Antracen/Anthracene	Ant	
Fluoranten/Fluoranthene	Flt	
Piren/Pyrene	Pyr	
Benzo(g,h,i)perilen/Benzo[g,h,i]perylene	BghiP	
Acenaftenil/Acenaphthylene	Ane	4

Te su agencije naglasile važnost praćenja razina PAH-a prema njihovoj pojavi i toksičnosti za ljude (Zelenikova i sur., 2015.; Ledesma i sur., 2016.; Singh i sur., 2016.). EPA 1976. godine označava PAH16 prioritetnim onečišćivačima okoliša. To su: naftalen, acenaften, acenaftenil, fluoren, antracen, fenantren, fluoranten, piren, benzo[a]antracen, krizen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]piren, indeno[1,2,3-cd]piren, dibenzo[ah]antracen i benzo[ghi]perilen. Uzimajući u obzir toksičnost PAH-ova, nekoliko je zemalja izradilo zakone za uspostavljanje dopuštenih granica za PAH-ove u hrani, prehrambenim proizvodima i pićima, kao i za provedbu strategija praćenja za najrelevantnije spojeve. Nadalje, zdravstvene agencije poput WHO-a i Europske komisije pokrenule su napore za smanjenje koncentracije PAH-ova u hrani, posebice kroz strategije za kontrolu procesa koji potiču njihovo stvaranje. Sadašnje europsko zakonodavstvo daje posebne parametre za dimljeno meso i mesne prerađevine. Do 2008. EFSA je koristila BaP kao jedini marker za pojavu PAH-ova u hrani. Međutim, studija ponovne procjene otkrila je da 30% uzoraka hrane s niskim razinama BaP ima značajne razine drugih mogućih karcinogena (Mafra i sur., 2010.; Alexander i sur., 2008.). Stoga je Europska unija izmijenila prethodno zakonodavstvo kroz Uredbu Komisije 835/2011, kojom su uvedene prihvatljive razine za zbroj PAH4 (BaA, Chr, BbF i BaP) uz zadržavanje zasebne maksimalne razine za BaP kako bi se osigurala usporedivost s prethodnim i budućim podacima (EC 2011.). Prema odredbi

Europske komisije (EC) br. 835/2011 najviša dopuštena koncentracija bezo[a]pirena u mesnim proizvodima iznosi 2 µgkg⁻¹, a zbroj koncentracija PAH 4 ne smije prelaziti koncentraciju od 12 µgkg⁻¹. Iznimno za tradicionalne mesne proizvode koji se proizvode i stavljaju u promet u pojedinim zemljama EU dopuštene su najviše koncentracije bezo[a]pirena od 5 µgkg⁻¹, a zbroj PAH4 ne smije prelaziti koncentraciju od 30 µgkg⁻¹. U 2020. Uredbom Komisije 2020/1255 evidirane su najveće dopuštene količine u tradicionalno dimljenom mesu i proizvodima od njega kao i u tradicionalno dimljenoj ribi i proizvodima od nje (EC 2020.). Nakon Uredbe Komisije 1327/2014, države članice Europske unije pratile su razine PAH-ova u tradicionalno dimljenim proizvodima i provodile strategije za poboljšanje prakse dimljenja. Nakon nove procjene provedene 2018., Europska komisija zaključila je da poboljšanje prakse dimljenja nije dovoljno za smanjenje koncentracija PAH-ova na dopuštene razine. Stoga su odobrili neodređeno produženje za lokalnu proizvodnju i potrošnju dimljenih proizvoda iz tih država članica, dopuštajući razine BaP i PAH4 iznad 5,0 odnosno 30,0 µgkg⁻¹ (EC 2020.).

Kontaminacija mesnih proizvoda PAH-ovima

PAH-ovi prisutni u okolišu mogu potjecati iz prirodnih izvora, kao što su šumski požari i vulkanske emisije, te iz izvora povezanih s ljudskim aktivnostima (tj., umjetni ili antropogeni izvori), kao što je izgaranje ugljena, ispušne emisije vozila, ulja za

podmazivanje motora i dim cigareta (Puljić, 2022.). Pirolitički proces koji stvara PAH-ove uključuje tri temeljna čimbenika - visoke temperature, smanjene razine kisika i organske tvari - što rezultira nepotpunim izgaranjem. Ovaj proces općenito daje složenu mješavinu PAH-ova, koji se zauzvrat mogu akumulirati u okolišu, utječući na vodu, zrak i tlo, te tako ući u hranidbeni lanac (Zelinkova i sur., 2015.; Abdel-Shafy i sur., 2016.). Uobičajeno je da su ljudi izloženi PAH-ovima, a apsorpcija se može odvijati na više načina; probavnim traktom, udisajem ili preko kože. Najveći je unos PAH-ova povezan s konzumacijom zagađene hrane (Hamidi i sur., 2016.). Proizvodni procesi, kao što je dimljenje, skloni su kontaminaciji proizvoda PAH-ovima jer uključuju kontakt sirovine s nepotpunim izgaranjem organske tvari. Izvješća govore o postojanju različitih mehanizama nastanka PAH-ova, a spojevi koji u svojoj kemijskoj strukturi sadrže ugljik i vodik mogu biti prekursori nastanka PAH-ova. Literatura navodi tri mehanizma stvaranja PAH-ova u dimljenim mesnim proizvodima. Prvi mehanizam podrazumijeva pirolizu organske tvari, i to poglavito masti i proteina (reakcijom piro-sinteze). Tijekom nepotpunog izgaranja ugljena fragmentacijom malih molekula (piroliza organske tvari - proteina, masti i ugljikohidrata - iznad 200 °C) i rekombinacijom proizvedenih slobodnih radikala u stabilne polinuklearne aromatske spojeve (pirosinteza) nastaju PAH-ovi. Drugi mehanizam podrazumijeva istjecanje staničnog soka na toplinski izvor (izgaranje organske tvari) (Hamidi i sur., 2016.; Molognoni i sur., 2019.). Treći mehanizam podrazumijeva nepotpuno izgaranje organske tvari (drvo) (Hamidi i sur., 2016.). Za vrijeme izgaranja drva, mehanizam stvaranja PAH-ova nije stalan, zbog velike varijabilnosti u kemijskom sastavu, a time i odgovora na temperaturne promjene (Han i sur., 2020.). PAH-ovi se transportiraju zajedno s dimom i talože na površini proizvoda, a zatim mogu migrirati u unutrašnjost (Viegas i sur., 2012.; Hamidi i sur., 2016.; Molognoni i sur., 2019.). Prethodno navedeno upućuje na potrebu praćenja unosa PAH-ova, posebice putem mesnih proizvoda, kao i traženja alternativnih rješenja u procesu dimljenja koje bi, uz očuvanje senzorskih svojstava proizvoda, dovelo do smanjenja koncentracija ovih kancerogenih spojeva. Prosječne koncentracije Policikličkih aromatskih ugljikovodika (BaP i PAH4) u različitim vrstama tradicionalnih suhomesnatih proizvoda, proizvedenih na području Europe, prikazane su u Tablici 2.

Čimbenici koji utječu na koncentracije policikličkih aromatskih ugljikovodika u mesnim proizvodima

Literaturni izvori navode deset varijabli koje se moraju kontrolirati kako bi se smanjila i spriječila kontaminacija mesnih proizvoda PAH-ovima tijekom dimljenja (Kim i sur., 2021.). Ove varijable uključuju vrstu goriva, metodu dimljenja (izravno ili neizravno dimljenje), proces stvaranja dima (temperaturu pirolize i protok zraka), udaljenost i položaj u odnosu na izvor topline, sadržaj masti i kako se mijenja tijekom dimljenja, vrijeme dimljenja, temperature tijekom dimljenja, čistoća i održavanje opreme, dizajn komore za dimljenje (Kim, Cho, i Jang, 2021.; Ledesma i sur., 2016.; Ledesma i sur., 2015.; Singh i sur., 2016.; Wang i sur., 2019.). Dimljenje, u usporedbi s drugim metodama termičke obrade mesa, dovodi do stvaranja najvećih količina PAH-a (Olatunji i sur., 2014.; Püssa, 2013.). Mnogi istraživači dokazali su utjecaj metode dimljenja na sadržaj PAH-a u mesu i mesnim proizvodima. Metoda izravnog dimljenja dovodi do znatno viših razina PAH-a u proizvodu u usporedbi s metodama koje uključuju neizravno izlaganje izvoru dima (Gomes i sur., 2013.; Andree i sur., 2010.). Zachara i suradnici (2017.) su analizirajući sadržaj PAH-a u dimljenim mesnim proizvodima podrijetlom iz poljskih trgovina, došli do zaključaka da tradicionalno dimljene kobasice i svinjska šunka sadrže veće koncentracije PAH4 od industrijski dimljenih kobasica. Mastanjević i suradnici (2019.) došli su do sličnih zaključaka analizirajući koncentracije EPA PAH16 u tradicionalnim Slavonskim kobasicama proizvedenim u tradicionalnim pušnicama. Škaljac i sur. (2018.) u tradicionalno dimljenoj Petrovskoj kobasi su otkrili znatno više koncentracije antracena i fenantrena, u odnosu na industrijski dimljene kobasice. Ovaj su odnos objasnili izravnim kontaktom kobasica i dima tijekom tradicionalnog dimljenja. Dakle, kod tradicionalne metode svi hlapljivi spojevi i molekule PAH-a, koje dolaze s dimom, talože se na površini proizvoda. Također, Roseiro i sur. (2011) potvrdili su isto u svome istraživanju koncentracija policikličkih aromatskih ugljikovodika u tradicionalnoj Portugalskoj kobasici proizvedenoj tradicionalnim i modificiranim metodama dimljenja. Pohlmann i suradnici (2013) uspoređivali su utjecaj izravnog dimljenja i različitih metoda neizravnog dimljenja na sadržaj PAH-a u frankfurtskim kobasicama gdje su došli do sličnih zaključaka kao i prethodni u pogledu većeg sadržaja PAH-a u tradicionalno dimljenim kobasicama. Iz razloga što tradicionalno dimljenje rezultira višim koncentracijama

Tablica 2. Prosječne koncentracije BaP i PAH4 u različitim vrstama tradicionalnih suhomesnatih proizvoda
Table 2 The average concentrations of BaP and PAH4 in different traditionally smoked dry-cured products

Proizvod/Product	Država podrijetla /Country of origin	BaP μgkg^{-1}	PAH4 μgkg^{-1}	Referenca/Reference
Lountza(dimljena pečenica) / (cured pork tenderloin)	Cipar/Cyprus	1,3	8,7	Kafouris i sur., (2020.)
Dimljena kobasica /Smoked sausage		1,0	5,9	
Chiromeri (dimljena šunka) / (smoked pork ham)		2,5	15,2	
Dimljena slanina/Smoked bacon		1,2	9,4	
Tradicionalno dimljene kobasice /Traditionally smoked sausages	Poljska/Poland	2,9	24,3	Zachara i sur., (2017.)
Tradicionalno dimljena svinjska šunka /Traditionally smoked pork ham		1,78	15,8	
Chouriço de carne	Portugal/Portugal	0,38	3,9	Santos i sur., (2011.)
Painho		0,6	4,8	
Paio tradicional		0,4	3,5	
Linguiça		5,2	34,5	Alves i sur., (2017.)
Paio		<0,3	0,95	
Kulen	Srbija/Serbia	<0,3	0,95	Alves i sur., (2017.)
Sremski kulen /Paprika flavoured sausage from Syrmia		<0,3	1,1	
Petrovska kobasa /Petrovac sausage		<0,3	<LOQ	Škaljac i sur., (2018.)
Tradicionalno dimljena svinjska šunka /Traditionally smoked pork ham		0,02 - 0,2	0,2 - 1,9	Đinovic i sur., (2008.)
Corizo cebolla	Španjolska /Spain	0,9	6,8	Lorenzo i sur., (2011.)
Chorizo gallego		0,7	5,0	
Frankfurter kobasica /Frankfurt sausage	Njemačka/Germany	0,7	4,3	Hitzel i sur., (2013.)
Dimljeni svinjski špek /Smoked pork bacon	Latvija/Latvia	0,9	7,8	Rozentale i sur., (2015.)
Dimljena šunka/Smoked ham		0,6	5,5	
Dimljeno svinjsko meso/Smoked pork	Litva/Lithuania	1,5	9,5	Rozentale i sur., (2018.)
Dimljeno svinjsko meso/Smoked pork	Estonija/Estonia	2,8	26,3	
Slavonska kobasica /Slavonian sausage	Hrvatska/Croatia	<LOQ	9,9	Mastanjević i sur., (2019.)
Slavonska šunka /Slavonian ham		<LOQ	4,5 - 99,2	
Slavonska slanina /Slavonian bacon		<LOQ	14,8	Kartalović i sur., (2022.)
Dalmatinski pršut /Dalmatian dry-cured ham		0,05	0,4	Poljanec i sur., (2019.)
Drniški pršut/Drniš dry-cured ham		0,07	0,4	
Krčki pršut/Krk dry-cured ham		0,1	0,7	
Hercegovačka pečenica /Herzegovinian cured loin		Bosna i Hercegovina /Bosnia and Herzegovina	<LOQ	7,7
Hercegovačka kobasica /Herzegovinian sausage	7,8		21,5	Mastanjević i sur., (2020.c)
Hercegovački pršut /Herzegovinian dry-cured ham	<LOQ - 0,65		0,9 - 5,2	Mastanjević i sur., (2020.b)

Prikazani rezultati su srednja vrijednost; PAH4 zbroj benz[a]antracena, krizena, benzo[b]fluorantena i benzo[a]pirena; BaP- benzo[a]piren; LOQ- granica kvantifikacije
 The shown results are the mean value; PAH4 sum of benz[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene and benzo[a]pyrene; BaP-benzo[a]pyrene; LOQ- limit of quantification

cijama PAH-a u proizvodu, Uredba Komisije EU br. 2020/1255, dopušta odstupanje za određene tradicionalne proizvode od dimljenog mesa u pojedinim zemljama članicama EU (EC, 2020.). U procesu dimljenja, ključni čimbenik, koji utječe na koncentraciju PAH-a u mesnim proizvodima, je temperatura dimljenja, na koju utječu vrsta drvnih strugotina za dimljenje i gustoća dima (Pohlmanni sur., 2013.). Brojne studije potvrdile su vezu između koncentracije PAH-a i temperature dimljenja te vrste drva koje se koristi za dimljenje. U svome istraživanju Mastanjević i sur. (2019), ispitujući koncentracije EPA PAH16 u uzorcima tradicionalno dimljenje Slavonske šunke, dolaze do zaključka da šunke dimljene s brijestom pokazuju više koncentracije PAH-a u odnosu na one dimljene s bukvom i grabom. Hitzel i sur. (2013) istraživali su sadržaj PAH-ova u dimljenim kobasicama i temperaturu dimljenja različitih vrsta drva. Studija pokazuje da korištenje topole i hikorije smanjuje sadržaj BaP, PAH4 i PAH16 za 35-55% ovisno o proizvodu. Stumpe-Viksna i sur. (2008) proučavali su učinak deset vrsta drveta na razinu kontaminacije PAH-ovima u dimljenoj svinjetini. Zaključili su da se najniže razine BaP javljaju u uzorcima dimljenim drvetom jabuke (6,04 μgkg^{-1}), a najviše kod drveta jasike (35,07 μgkg^{-1}). Gustoća dima i brzina strujanja zraka utječu na razinu kontaminacije dimljenih proizvoda PAH-ovima (Pohlmann i sur., 2012; Zastrow i sur., 2019). Pohlmann i suradnici (2012) testirajući kobasice „frankfurter“ tipa, došli su do zaključka da povećanje gustoće dima i brzina ventilatora povećavaju sadržaj PAH-a u kobasicama. Temperatura u komori za dimljenje također je ključni čimbenik. Povećanjem temperature, povećava se i sadržaj PAH-a u proizvodu. Štoviše, promjene temperature u komori za dimljenje od 55 °C do 95 °C potiču trostruko povećanje koncentracije PAH-a (Racovita i sur., 2020.). Istraživan je i utjecaj lokacije proizvoda na kontaminaciju PAH-ovima. Mastanjević i suradnici (2019) ustanovili su, kod tradicionalne Slavonske kobasice prilikom tradicionalnog načina dimljenja s otvorenim ložištem, da visina vješanja kobasica u odnosu na vatru (dva i tri metra udaljenosti) značajno utječe na sadržaj PAH4 i EPA PAH16 u konačnom proizvodu. Naime, kobasice u prirodnom ovitku i na udaljenosti dva metra od vatre pokazivale su najveće koncentracije EPA PAH16. Trajanje procesa dimljenja može utjecati na rok trajanja proizvoda, senzorna svojstva i razinu PAH-a (Đinović i sur., 2008.; Essumang i sur., 2013.; Pohlmann i sur., 2013.). Racovita i sur. (2020) primjećuju utjecaj vremena dimljenja

na razine kontaminacije PAH-ovima u dimljenim svinjskim kobasicama. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da trostruko produljenje vremena dimljenja potiče sličan trend sadržaja benzo[a]pirena i dvostruko povećanje PAH4. U studiji Ledesme i sur. (2014) uzorci dimljeni pet dana pokazuju statistički značajno veći sadržaj benzo[a]pirena od uzoraka dimljenih tri dana. João Fraqueza i suradnici (2019) u svome istraživanju zaključuju da se kemijska sigurnost suhomesnatih proizvoda može osigurati kroz optimizaciju režima dimljenja. U navedenoj studiji prikazano je kako smanjeni korak dimljenja, uz zadržavanje senzornih karakteristika proizvoda, omogućuje kontrolu razine PAH-a u suhomesnatim kobasicama.

Literaturni podatci ukazuju da sljedeća svojstva proizvoda mogu utjecati na stvaranje PAH-ova u dimljenim mesnim proizvodima: sadržaj masti, mramornost, sadržaj mioglobina, omjer površine i mase i prisutnost kože ili dlake, prisutnost i vrsta ovitka, korištenje različitih filtera (Mastanjević i sur. 2019.; Babić i sur. 2018.; Essumang i sur., 2013.; Mejbörn i sur., 2019.; Suleman i sur., 2020.). Sadržaj masti u proizvodu ima značajan utjecaj na razine PAH-a nastalih tijekom termičke obrade. Pohlmann i sur., (2013) istraživali su sadržaj PAH-a u kobasicama tipa „frankfurter“ s različitim sadržajem masti, pri čemu se sadržaj PAH-ova povećavao s povećanjem sadržaja masti. Produljenje vremena dimljenja, dovodi do smanjenja sadržaj masti i vode, a kao rezultat toga povećava koncentraciju PAH-a u proizvodu (Essumang i sur., 2013.). Ključni čimbenik, koji utječe na sadržaj PAH-a u proizvodu, je odnos između površine proizvoda i mase (Andree i sur., 2010.; Đinović i sur., 2008.). PAH-ovi se uglavnom talože na površini proizvoda. Stoga, što je veći omjer površine i mase proizvoda, veća je koncentracija PAH-a. Mejbörn i sur. (2019) uspoređivali su sadržaj PAH-a u slanini i svinjskom mesu te kobasicama tipa „frankfurter“. Zbog manjeg udjela površine u masi u usporedbi s kobasicama, niži sadržaj PAH-ova pronađen je u slanini i svinjskom mesu. Prisutnost kože ili omotača na dimljenom proizvodu utječe na razinu kontaminacije PAH-ovima u proizvodu. Đinović i sur. (2008) uspoređivali su slaninu podvrgnutu dimljenju bez i s kožom, gdje je koža djelovala kao barijera za PAH i ograničavala njihovu propusnost unutar proizvoda. Ovitak može imati značajnu zaštitnu ulogu tijekom dimljenja. PAH molekule, koje se talože na površini ovitka, uzrokuju postupno začepljenje pora ovitka, stvarajući barijeru koja sprječava prodira-

nje kontaminacije u proizvod (Ledesma i sur., 2014.; Mastanjević i sur., 2020.). Gomes i sur. (2013) ispitali su utjecaj vrste ovitka na sadržaj PAH-a u tradicionalnoj portugalskoj dimljenoj kobasici te su došli do zaključka da uporaba kolagenskog ovitka rezultira približno trostrukim smanjenjem sadržaja PAH-a u proizvodu. Mastanjević i suradnici (2019) istraživali su utjecaj dimljenja na sadržaj EPA PAH16 u kobasicama u prirodnim svinjskim crijevima i kolagenskim ovitcima i zaključili su da kolagenski ovitci smanjuju ukupnu koncentraciju PAH-ovima.

Mogućnosti smanjenja koncentracije PAH-ova u mesnim proizvodima

Istraživanja pokazuju da izravan kontakt hrane s dimom, koji nastaje tijekom izgaranja drveta, dovodi do većeg sadržaja PAH-a u proizvodu. Dodatno, koncentracija PAH-a u proizvodu se povećava zbog visoke temperature i produljenja vremena procesa dimljenja. Visok udio masti i prisutnost prirodnog omotača posebno utječu na razinu kontaminacije proizvoda PAH-ovima. Međutim, postoje metode za smanjenje rizika od stvaranja PAH-ova u hrani. Ključna je optimizacija tehnološkog procesa kroz relevantne metode, vrstu goriva i termičku obradu uz eventualno najnižu temperaturu i najkraće vrijeme. Tri su osnovne varijable koje imaju najveći utjecaj na sadržaj PAH-a u dimljenim mesnim proizvodima. To su: vrsta ovitka te način i temperatura dimljenja (Ledesma i sur., 2016.). Radu i suradnici (2020) u svom istraživanju utjecaja temperature dimljenja, vremena dimljenja i vrste drvene piljevine na razine akumulacije policikličkih aromatskih ugljikovodika u izravno dimljenim svinjskim kobasicama došli su do zaključka da su tehnike hladnog (15-25 °C) dimljenja poželjnije kako bi se izbjegle visoke razine kontaminacije s PAH4. Viša temperatura dimljenja, rezultira višim koncentracijama PAH-a u krajnjem proizvodu. Vrijeme dimljenja je potrebno svesti na minimum, prihvatljiv za senzorna svojstva. Primjenom metoda neizravnog dimljenja može se smanjiti sadržaj PAH-ova u dimljenim mesnim proizvodima. Naime, tradicionalne metode dovode do značajno veće kontaminacije mesnih proizvoda, što je uzrokovano otežanom kontrolom parametara i tijekom procesa (Đinović i sur., 2008.). Smanjenje temperature stvaranja dima može biti učinkovita metoda smanjenja razine kontaminacije PAH-ovima, ali to zahtijeva dulje vrijeme dimljenja, veće gubitke mase i nosi rizik od pogoršanja senzornih svojstava, stoga se ne preporučuje smanjenje temperature stvaranja

dima ispod 500 °C (Pohlmann i sur., 2012). Primjena prepreka između dima i proizvoda može smanjiti koncentracije PAH-a u mesnim proizvodima (Roseiro i sur., 2011.; Gomes i sur., 2013.). Korištenje filtera može biti jedno je od rješenja. Essumang i sur. (2014) istraživali su mogućnost uporabe ugljičnih filtera, gdje je sadržaj PAH-a smanjen u konačnom proizvodu za cca. 30–60% u odnosu na tip filtera. Parker i sur. (2017) analizirali su mogućnost korištenja zeolitnih filtera za čišćenje dima. Primjena zeolita u komercijalnoj komori omogućuje smanjenje sadržaja benzo[a]pirena za 90% i PAH4 za 85% uz zadržavanje pozitivnih senzornih svojstava (Babić i sur., 2018.).

Zaključak

Policiklički aromatski ugljikovodici pokazuju toksično, genotoksično, mutageno i kancerogeno djelovanje prema živim organizmima uključujući i ljude. Zbog raširene izloženosti ljudi PAH-ovima nužna je kontrola njihovog sadržaja u prehrambenim proizvodima. Čimbenici koji utječu na sadržaj policikličkih aromatskih ugljikovodika u dimljenim mesnim proizvodima uglavnom uključuju metodu dimljenja, vrstu drveta, trajanje i temperaturu procesa. Istraživanja ukazuju da izravan kontakt hrane s dimom, koji nastaje tijekom izgaranja drveta, dovodi do viših koncentracija PAH-a u mesnom proizvodu. Dodatno, koncentracija PAH-a u proizvodu se povećava zbog visoke temperature i produljenja vremena dimljenja. Visok sadržaj masti i prisutnost prirodnog ovitka posebno utječu na razinu kontaminacije proizvoda PAH-ovima. Međutim, postoje metode za smanjenje rizika od stvaranja PAH-ova u dimljenim mesnim proizvodima. Prije svega optimizacija tehnološkog procesa kroz relevantne metode dimljenja, po mogućnosti na najnižoj temperaturi i najkraćem vremenu.

Literatura

- [1] Abdel-Shafy, H.I., M. S. M. Mansour (2016) : A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egypt. J. Pet.*, 25, 107 - 123. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
- [2] Ahmad, J.I. (2003): *Smoked Foods/ Applications of Smoking*. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), 5309–5316. ISBN: 012227055X
- [3] Alexander, J., D. Benford, A. Cockburn, J. Cravedi, E. Dogliotti, A. Di Domenico, M. Luisa Fernández-Cruz, J. Fink Gremmels, P. Fürst, C. Galli (2008): *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food*, 1 Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. Wiley-Blackwell Publishing Ltd.: Hoboken, NJ, USA, Volume 724.
- [4] Alves, S. P., C. M. Alfaia, B. D. Nkrbic, J.R. Nivanoccev, M. J. Fernandes, R. J. B. Bessa, M. J. Fraqueza (2017): Screening chemical hazards of dry fermented sausages from distinct origins: Biogenic amines, polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy elements. *Journal of Food Composition and Analysis* 59, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.020>
- [5] Amirdivani, S., N. Khorshidian, M. Ghobadi Dana, R. Mohammadi, A. M. Mortazavian, S. L. Quitaro de Souza, H. Barbosa Rocha, R. Raices (2019): Polycyclic aromatic hydrocarbons in milk and dairy products. *Int. J. Dairy Technol.*, 72. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12567>
- [6] Andree, S., W. Jira, K. H. Schwind, H. Wagner, F. Schwagele, (2010): Chemical safety of meat and meat products. *Meat Science*, 86(1), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.020>
- [7] Babić, J., B. Kartalović, S. Škaljac, S. Vidaković, D. Ljubojević, J. Petrović (2018): Reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons in common carp meat smoked in traditional conditions. *Food Additives and Contaminants: Part B*, 11(3), 208-213. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1484821>
- [8] Bansal, V., K. H. Kim (2015): Review of PAH contamination in food products and their health hazards. *Environment international*, 84, 26-38. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.016>
- [9] Bernardo, D.L., K. Barros, R. Silva, A. Pavão (2016): Carcinogenicity of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Quim. Nova* 39, 789–794. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160093>
- [10] Choudhuri, S., G. W. Patton, R. F. Chanderbhan, A. Mattia, C. D. Klaassen (2018): From classical toxicology to Tox21: Some critical conceptual and technological advances in the molecular understanding of the toxic response beginning from the last quarter of the 20th century. *Toxicol. Sci.*, 161, 5–22. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfx186>
- [11] Commission Regulation (EU) 2020/1255 of 7 September 2020 Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as Regards Maximum Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Traditionally Smoked Meat and Smoked Meat Products and Traditionally Smoked Fish and Smoked Fishery Products and Establishing a Maximum Level of PAHs in Powders of Food of Plant Origin Used for the Preparation of Beverages. *OJ L* 293. pp. 1–4. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/>
- [12] Commission Regulation (EU) No 835/2011 of 19 August 2011 Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as Regards Maximum Levels for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Foodstuffs. *OJ L* 215. pp. 4–8. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/>
- [13] Das, D.N., P. K. Panda, P. P. Naik, S. Mukhopadhyay, N. Sinha, S. K. Bhutia (2017): Phytotherapeutic approach: A new hope for polycyclic aromatic hydrocarbons induced cellular disorders, autophagic and apoptotic cell death. *Toxicol. Mech. Methods*, 27, 1–17. <https://doi.org/10.1080/15376516.2016.1268228>
- [14] Duan, X., G. Shen, H. Yang, J. Tian, F. Wei, J. Gong, J. Zhang (2016): Dietary intake polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and associated cancer risk in a cohort of Chinese urban adults: Inter- and intra-individual variability. *Chemosphere*, 144, 2469–2475. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.019>
- [15] Duedahl-Olesen, L., M. Aaslyng, L. Meinert, T. Christensen, A. H. Jensen, M. L. Binderup: (2015). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Danish barbecued meat. *Food Control*, 57, 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.04.012>
- [16] Đinović, J (2008): Hemodinamika policikličnih aromatičnih ugljovodonika u dimljenim proizvodima od mesa. Doktorska disertacija. Hemijski fakultet. Univerzitet u Beogradu.
- [17] eAmbrosia – the EU geographical indications register (2021). Retrieved from <https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/food-safety-andquality/certification/quality-labels/geographical-indications-register/>. Pristupljeno: 3.11. 2022.
- [18] Essumang, D. K., D. K. Dodoo, J. K. Adjei (2013): Effect of smoke generation sources and smoke curing duration on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in different suites of fsh. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.04.014>
- [19] Essumang, D. K., D. K. Dodoo, J. K. Adjei, J (2014): Effective reduction of PAH contamination in smoke cured fsh products using charcoal filters in a modified traditional kiln. *Food Control*, 35(1), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.045>
- [20] Farhadian, A., S. Jinap, F. Abas, Z. I. Sakar: (2010). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Control*, 21, 606-610. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.09.002>
- [21] Farhadian, A., S. Jinap, H.N. Hanifah, I. S.Zaidul (2011): Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. *Food Chemistry* 124, 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.116>
- [22] Figiel, S.: (2017). Traditional Food Products in Poland in the Light of the Current Consumer and International Food Product Innovation Trends. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia*, Section H, LI(2), 77-85.
- [23] Fraqueza M. J., C. Martinsa , L.T. Gamaa , M.H. Fernandesa , M.J. Fernandesa, M.H.L. Ribeirob , B.R. Hernandoc , A.S. Barretoa , A.J.I. Alfaiab (2019): High hydrostatic pressure and time effects on hygienic and physical characteristics of natural casings and condiments used in the processing of cured meat sausage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 58, 102242. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102242>
- [24] Gao, P., E. da Silva, L. Hou, N. D. Denslow, P. Xiang, L. Q. Ma (2018): Human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Metabolomics perspective. *Environ. Int.*, 119, 466–477. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.017>
- [25] Garcia, L.P., B. L. Gonçalves, G. Panho, V. M. Scussel (2014): Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em alimentos: Uma revisão.

Pubvet, 8.

- [26] **Gomes, A., C. Santos, J. Almeida, M. Elias, L. C. Roseiro (2013):** Effect of fat content, casing type and smoking procedures on PAHs contents of Portuguese traditional dry fermented sausages. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 369-374. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.015>
- [27] **Grover, P.L. (2019):** *Chemical Carcinogens and DNA*, 1st ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, Volume 2, pp. 1–218.
- [28] **Hajdukiewicz, A. (2014):** European Union agri-food quality schemes for the protection and promotion of geographical indications and traditional specialities: An economic perspective. *Folia Horticulturae*, 26(1), 3-17. DOI: 10.2478/fhort-2014-0001
- [29] **Hamidi, E. N., P. Hajeb, J. Selamat, A. F. A. Razis (2016):** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their bioaccessibility in meat: A tool for assessing human cancer risk. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 17(1), 15-23. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2016.17.1.15>
- [30] **Han, Y., Y. Chen, Y. Feng, W. Song, F. Cao, Y. Zhang (2020):** Different formation mechanisms of PAH during wood and coal combustion under different temperatures. *Atmospheric Environment*, 222, 117084. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117084>
- [31] **Harris, V.K., J. D. Schiffman, A. M. Boddy (2017):** Evolution of cancer defense mechanisms across species. In *Ecology and Evolution of Cancer*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 99–110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804310-3.00007-7>
- [32] **Haschek, W.A., C. G. Rousseaux, M. A. Wallig (2021):** Nomenclature: Terminology for morphologic alterations. In *Fundamentals of Toxicologic Pathology*, 2nd ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2010; pp. 67–80.
- [33] **Hitzel, A., M. Poehlmann, F. Schwaegele, K. Speer, W. Jira (2013):** PAH contents in smoked meat products—Influence of different types of wood and smoking spices on the contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances. *Fleischwirtschaft*, 93, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.011>
- [34] **Holck, A., L. Axelsson, A. McLeod, T. M. Rode, E. Heir (2017):** Health and Safety Considerations of Fermented Sausages. *Journal of Food Quality*, vol. 2017, 9753894, 1- 25. <https://doi.org/10.1155/2017/9753894>
- [35] **IARC (2010):** Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures, Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 92:1-853. PMID: 21141735; PMCID: PMC4781319.
- [36] **Ifegwu, O.C., C. Anyakora (2015):** Polycyclic aromatic hydrocarbons: Part I. Exposure. In *Advances in Clinical Chemistry*, 1st ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, Volume 72, Chapter 6; pp. 277–304. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.08.001>
- [37] **Roventale, I., Z. Dzintars, E. Bartkiene, V. Bartkevics (2018):** Polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products from the Baltic states, *Food Additives & Contaminants: Part B*, 11:2, 138-145. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1440637>
- [38] **Kafouris, D., A. Koukkidou, E. Christou, M. Hadjigeorgiou, S. Yiannopoulos (2020):** Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products and charcoal grilled meat in Cyprus. *Meat Science*, Volume 164, 108088, ISSN 0309-1740. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108088>
- [39] **Karabasil, N., T. Bońković, I. Tomašević, D. Vasilev, M. Dimitrijević, N. Katanić, D. Antić (2018):** Production of traditional meat products in small and micro establishments in Serbia: current status and future perspectives. *Acta Veterinaria-Beograd*, 68 (4), 373-390. DOI: 10.2478/acve-2018-0031
- [40] **Kartalović B, L. Puljić, D. Kovačević, M. Markovčić, J. Vranešević, K. Habschied, K. Mastanjević (2022):** The Content of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Slavonska slanina—Traditionally Smoked and Dry-Cured Bacon. *Processes*, 10(2):268. <https://doi.org/10.3390/pr10020268>
- [41] **Katona, B.W., J. P. Lynch (2018):** Mechanisms of gastrointestinal malignancies. In *Physiology of the Gastrointestinal Tract*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 1615–1642.
- [42] **Kim, H. J., J. Cho, J., A. Jang (2021):** Effect of charcoal type on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 343, 128453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128453>
- [43] **Kim, K. H., S. A. Jahan, E. Kabir, R. J. C. Brown (2013):** A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environ. Int.*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019>
- [44] **Kovačević, D., K. Mastanjević, D. Nubarić, I. Jerković, Z. Marijanović (2010):** Physicochemical, colour and textural properties of Croatian traditional dry sausage (Slavonian Kulen). *Meso*, 12(5), 270-275.
- [45] **Kovačević, D (2017):** Kemija i tehnologija šunki i pršuta. *Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek*.
- [46] **Ledesma, E., M. Rendueles, M., M. Díaz (2015):** Characterization of natural and synthetic casings and mechanism of BaP penetration in smoked meat products. *Food Control*, 51, 195-205. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.025>
- [47] **Ledesma, E., M. Rendueles, M. Díaz (2016):** Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, 60, 64–87. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.016>
- [48] **Ledesma, E., M. Rendueles, M. Diaz (2015):** Spanish smoked meat products: Benzo (a) pyrene (BaP) contamination and moisture. *J. Food Compos. Anal.*, 37, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.09.004>
- [49] **Lee, J.-G., S.-Y. Kim, J. -S. Moon, S.-H. Kim, D. H. Kang, D. H.-J. Yoon. (2016).** Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632-638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.017>
- [50] **Lorenzo, J. M., L. Purriños, R. Bermudez, N. Cobas, M. Figueiredo, M. C. Garcia Fontán: (2011).** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in two Spanish traditional smoked sausage varieties: —Chorizo gallego|| and —Chorizo de cebolla||. *Meat Science*, 89, 105-109. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.017>
- [51] **Lucarini, M., G. Sacconi, L. D’Evoli, S. Tufi, A. Aguzzi, P. Gabrielli, L. Marletta, G. Lombardi-Boccia: (2013).** Micronutrients in Italian ham: A survey of traditional products. *Food Chemistry*, 140, 837-842. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.020>
- [52] **Lücke, F. K., I. Vogeley: (2012).** Traditional ‘air-dried’ fermented sausages from Central Germany. *Food Microbiology*, 29, 242-246. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.06.019>
- [53] **Mafra, I., J. S. Amaral, M. B. Oliveira: (2010):** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in olive oils and other vegetable oils; potential for carcinogenesis. In *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 489-498. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374420-3.00054-1>

- [54] Malarkey, D.E., M. J. Hoenerhoff, R. R. Maronpot (2018): Carcinogenesis In Fundamentals of Toxicologic Pathology, 3rd ed.; Wallig, M.A., Haschek, W.M., Rousseaux, C.G., Bolon, B., Eds.; Academic Press: San Diego, CA, USA, pp. 83–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809841-7.00006-X>
- [55] Małecki, J., & Sołowiej, B. G. (2019). Traditional and regional meat products in Poland. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 333, 012006, 1-4. DOI 10.1088/1755-1315/333/1/012006
- [56] Marcos, C., C. Viegas, A. M. de Almeida, M. M. Guerra (2016): Portuguese traditional sausages: different types, nutritional composition, and novel trends. Journal of Ethnic Foods, 3, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2016.01.004>
- [57] Mastanjević, K., B. Kartalović, J. Lukinac M. Jukić, D. Kovačević, J. Petrović, K. Habschied (2020a): Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Traditional Dry Cured Smoked Ham Slavonska šunka. Applied Sciences, 10(1), 92. <https://doi.org/10.3390/app10010092>
- [58] Mastanjević, K., B. Kartalović, J. Petrović, N. Novakov, L. Puljić, D. Kovačević, M. Jukić, J. Lukinac, J., K. Mastanjević (2019): Polycyclic aromatic hydrocarbons in the traditional smoked sausage Slavonska kobasica. Journal of Food Composition and Analysis, 83, 103282, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103282>
- [59] Mastanjević, K., B. Kartalović, L. Puljić, D. Kovačević, K. Habschied (2020c): Influence of Different Smoking Procedures on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formation in Traditional Dry Sausage Hercegovačka kobasica. Processes, 8(8), 918. <https://doi.org/10.3390/pr8080918>
- [60] Mastanjević, K., L. Puljić, B. Kartalović, J. Grbavac, M. Jukić Grbavac, H. Nadaždi, K. Habschied (2020b) Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Heregovački pršut—Traditionally Smoked Prosciutto. Int. J. Environ. Res. Public Health, 17(14), 5097. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145097>
- [61] Mejborn, H., M. Hansen, A. Biltoft-Jensen, T. Christensen, K. H. Ygil, P. T. Olesen (2019): Suggestion for a subdivision of processed meat products on the Danish market based on their content of carcinogenic compounds. Meat Science, 147, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.025>
- [62] Molognoni, L., H. Dagher, G. E. Motta, T. C. Merlo, J. D. D. Lindner (2019): Interactions of preservatives in meat processing: Formation of carcinogenic compounds, analytical methods, and inhibitory agents. Food Research International, 125, 108608. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108608>
- [63] Nogacka, A.M., M. Gómez-Martin, A. Suárez, O. González-Bernardo, C. G. Reyes-Gavilán, C.G. S. González (2019): Xenobiotics formed during food processing: Their relation with the intestinal microbiota and colorectal cancer. Int. J. Mol. Sci., 20(8), 2051. <https://doi.org/10.3390/ijms20082051>
- [64] Olatunji, O. S., O. S. Fatoki, B. O. Opeolu, B. J. Ximba (2014): Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons [PAHs] in processed meat products using gas chromatography–Flame ionization detector. Food Chemistry, 156, 296-300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.120>
- [65] Parker, J. K., S. Lignou, K. Shankland, P. Kurwie, H. D. Griffiths, D. A. Baines (2017): Development of a zeolite filter for removing polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from smoke and smoked ingredients while retaining the smoky flavor. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(10), 2449-2458. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05399>
- [66] Pohlmann, M., A. Hitzel, F. Schwagele, K. Speer, W. Jira (2012): Contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in Frankfurter-type sausages depending on smoking conditions using glow smoke. Meat Science, 90 (1), 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.024>
- [67] Pohlmann, M., A. Hitzel, F. Schwagele, K. Speer, W. Jira (2013): Influence of different smoke generation methods on the contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in Frankfurter-type sausages. Food Control, 34(2), 347-355. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.05.005>
- [68] Poljanec, I., N. Marušić Radovčić, D. Karolyi, S. Petričević, T. Bogdanović, E. Listeš, H. Medić (2019): Policiklički aromatski ugljikovodici u četiri vrste hrvatskih pršuta. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu, 21. (5.), 467-467. <https://doi.org/10.31727/m.21.5.4>
- [69] Puljić, L., K. Mastanjević, B. Kartalović, D. Kovačević, J. Vranešević, K. Mastanjević (2019) The Influence of Different Smoking Procedures on the Content of 16 PAHs in Traditional Dry Cured Smoked Meat “Hercegovačka Pečenica”. Foods, 8 (12), 690. <https://doi.org/10.3390/foods8120690>
- [70] Puljić, L. (2022): Utjecaj različitih postupaka dimljenja na koncentracije policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH) u tradicionalnim mesnim proizvodima s područja Hercegovine. Disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:602472>.
- [71] Purcaro, G.; S. Moret, L. S. Conte (2013): Overview on polycyclic aromatic hydrocarbons: Occurrence, legislation and innovative determination in foods. Talanta, Volume 105, 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.10.041>
- [72] Püssa, T.(2013) : Toxicological issues associated with production and processing of meat. Meat Science, 95(4), 844-853. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.032>
- [73] Racovita, R. C., C. Secuianu, M. D. Ciuca, F. Israel-Roming (2020): Effects of smoking temperature, smoking time, and type of wood sawdust on polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation levels in directly smoked pork sausages. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(35), 9530-9536. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04116>
- [74] Rengarajan, T., P. Rajendran, N. Nandakumar, B. Lokeshkumar, P. Rajendran, I. Nishigaki (2015): Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 5(3), 182-189. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(15\)30003-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30003-4)
- [75] Roseiro, L.C., A. Gomes, C. Santos (2011): Influence of processing in the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Portuguese traditional meat product. Food Chem. Toxicol., 49, 1340–1345. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.03.017>
- [76] Ruiz, J., C. García, E. Muriel, A. I. Andrés, J. Ventanas (2002): Influence of sensory characteristics on the acceptability of dry-cured ham. Meat Science, 61, 347-354. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00204-2](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00204-2)
- [77] Salgado, A., M. C. Garcia Fontán, I. Franco, M. López, J. Carballo (2005). Biochemical changes during the ripening of Chorizo de cebolla, a Spanish traditional sausage. Effect of the system of manufacture (homemade or industrial). Food Chemistry, 92, 413-424. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.032>

- [78] Santos, C., A. Gomes, L. C. Roseiro (2011): Polycyclic aromatic hydrocarbons incidence in Portuguese traditional smoked meat products. *Food Chem. Toxicol.*, 49, 2343–2347. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.06.036>
- [79] Singh, L.; J. G. Varshney, T. Agarwal (2016): Polycyclic aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food. *Food Chem.*, 199, 768–781. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.074>
- [80] Stumpe-Viksna, I., V. Bartkevičs, A. Kukāre, A. Morozovs (2008): Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chemistry*, 110(3), 794–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.004>
- [81] Suleman, R., Z. Wang, R. M. Aadil, T. Hui, D. L. Hopkins, D. Zhang (2020): Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects. *Meat Science*, 108172. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108172>
- [82] Šimko, P. (2009). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoked Meats. *Safety of Meat 1218 and Processed Meat. Food Microbiology and Food Safety*, Springer New 1219 York, pp. 343–363.
- [83] Šimko, P. (2002): Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. *J. Chromatogr. B* 770, 3–18. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(01\)00438-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(01)00438-8)
- [84] Šimko, P. (2005): Factors affecting elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat foods and liquid smoke flavorings. *Mol. Nutr. Food Res.* 49, 637–647. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400091>
- [85] Škaljac, S.; M. Jokanovic, V. Tomovic, M. Ivic, T. Tasic, P. Ikonc, B. Sojic, N. Dzinic, L. Petrovic (2018): Influence of smoking in traditional and industrial conditions on colour and content of polycyclic aromatic hydrocarbons in dry fermented sausage "Petrovska klobasa". *LWT Food Sci. Technol.*, 87, 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.038>
- [86] Škaljac, S.; L. Petrovic, M. Jokanovic, T. Tasic, M. Ivic, V. Tomovic, P. Ikonc, B. Sojic, N. Dzinic, B. Skrbic (2018): Influence of collagen and natural casings on the polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional dry fermented sausage (Petrovska klobasa) from Serbia. *Int. J. Food Prop.*, 21, 667–673. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1453837>
- [87] Talon, R., I. Lebert, A. Lebert, S. Leroy, M. Garriga, T. Aymerich, E. H. Drosinos, E. Zanardi, A. Ianieri, M. J. Fraqueza, L. Patara-ta, A. Laukova (2007): Traditional dry fermented sausages produced in small-scale processing units in Mediterranean countries and Slovakia. *Meat Science*, 77(4), 570–579. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.006>
- [88] Toldrá, F. (2010): Handbook of meat processing. Blackwell Publishing, 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014-8300, USA, ISBN 978-0-8138-2182-5.
- [89] Toldrá, F. (2007): Handbook of Fermented Meat and Poultry. Blackwell Publishing Professional, Iowa, ISBN 13: 978-0-8138-1477-3.
- [90] Trichopoulou, A., S. Soukara, E. Vasilopoulou (2007): Traditional foods: a science and society perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 18(8), 420–427. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.03.007>
- [91] Viegas, O., P. Novo, E. Pinto, O. Pinho, I. Ferreira (2012): Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. *Food and Chemical Toxicology*, 50(6), 2128–2134. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.03.051>
- [92] Wang, C., Y. Xie, H. Wang, Y. Bai, C. Dai, C. Li (2019): The influence of natural antioxidants on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in charcoal-grilled chicken wings. *Food Control*, 98, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.012>
- [93] Woods, L. (2003). Smoked Foods/Principles. *Encyclopedia of 1298 Food Sciences and 1299 Nutrition (Second Edition)*, 5296–5301.
- [94] Zachara, A., D. Gakowska, L. Juszcak (2017): Contamination of smoked meat and fish products from Polish market with polycyclic aromatic hydrocarbons. *FoodControl*, 80, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.024>
- [95] Zastrow, L., K. H. Schwind, F. Schwägele, K. Speer (2019): Influence of smoking and barbecuing on the contents of anthraquinone (ATQ) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in frankfurter-type sausages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(50), 13998–14004. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03316>
- [96] Zelinkova, Z., T. Wenzl (2015a): The occurrence of 16 EPA PAHs in food—a review. *Polycyclic aromatic compounds*, 35(2-4), 248–284. <https://doi.org/10.1080/10406638.2014.918550>
- [97] Zelinkova, Z., T. Wenzl (2015b): EU marker polycyclic aromatic hydrocarbons in food supplements: Analytical approach and occurrence. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.*, 32, 1914–1926. <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1087059>

Dostavljeno/Received: 15.11.2022.

Prihvaćeno/Accepted: 28.11.2022.

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in traditionally smoked meat products

Abstract

Smoked meat products form one of the most important groups of traditional foods. Thanks to their unique and favourable organoleptic properties and high quality, consumers readily choose them. Recently, there has been a growing concern regarding the health aspects of these products. Research suggests that traditionally smoked meat products may be associated with some health safety concerns, such as the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Polycyclic aromatic hydrocarbons represent a large group of chemical compounds recognised as a possible cause of malignant diseases, and they can be formed during the heat treatment of food by traditional methods such as drying and smoking. There are different mechanisms for the formation of PAHs, whereby all compounds containing carbon and hydrogen can serve as precursors for the formation of PAHs. During the PAH formation reactions, hydrogen and carbon are combined into a cyclic compound with altering single and double bonds, with two or more condensed aromatic rings, which give a high carcinogenic and mutagenic potential. Therefore, the aim of this research was to analyse the factors that influence the quality and health related safety issues of traditional meat products with regard to the content of polycyclic aromatic hydrocarbons, based on the available literature.

Key words: traditional meat products, traditional smoking, benzo[a]pyrene, PAH4, PAH16

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in traditionell geräucherten Fleischprodukten

Zusammenfassung

Geräucherte Fleischerzeugnisse sind eine der wichtigsten Gruppen von traditionellen Lebensmitteln. Dank ihrer einzigartigen und günstigen organoleptischen Eigenschaften und ihrer hohen Qualität werden sie von den Verbrauchern gerne gewählt. In letzter Zeit wächst die Besorgnis über die gesundheitlichen Aspekte dieser Produkte. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass traditionell geräucherte Fleischerzeugnisse mit einigen gesundheitlichen Bedenken in Verbindung gebracht werden können, z. B. mit dem Vorhandensein von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe stellen eine große Gruppe chemischer Verbindungen dar, die als mögliche Ursache bösartiger Erkrankungen anerkannt sind und sich bei der Wärmebehandlung von Lebensmitteln durch traditionelle Verfahren wie Trocknen und Räuchern bilden können. Es gibt verschiedene Mechanismen für die Bildung von PAK, wobei alle Verbindungen, die Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, als Vorläufer für die Bildung von PAK dienen können. Während der PAK-Bildungsreaktionen werden Wasserstoff und Kohlenstoff zu einer zyklischen Verbindung mit wechselnden Einfach- und Doppelbindungen und zwei oder mehr kondensierten aromatischen Ringen kombiniert, die ein hohes karzinogenes und mutagenes Potenzial aufweisen.

Ziel dieser Untersuchung war es daher, auf der Grundlage der verfügbaren Literatur die Faktoren zu analysieren, die die Qualität und die gesundheitliche Unbedenklichkeit traditioneller Fleischerzeugnisse im Hinblick auf den Gehalt an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen beeinflussen.

Schlüsselwörter: traditionelle Fleischerzeugnisse, traditionelles Räuchern, Benzo[a]pyren, PAH4, PAH16

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en productos cárnicos ahumados tradicionalmente

Resumen

Los productos cárnicos ahumados forman uno de los grupos más importantes de alimentos tradicionales. Gracias a sus propiedades organolépticas únicas y favorables y su alta calidad, los consumidores los eligen fácilmente. Recientemente, ha habido una preocupación creciente con respecto a los aspectos sanitarios de estos productos. La investigación sugiere que los productos cárnicos ahumados tradicionalmente pueden estar asociados con algunos problemas de seguridad sanitaria, como la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos representan un gran grupo de compuestos químicos reconocidos como posibles causantes de enfermedades malignas y pueden formarse durante el tratamiento térmico de los alimentos utilizando métodos tradicionales como el secado y el ahumado. Existen diferentes mecanismos de formación de HAP, por lo que todos los compuestos que contienen carbono e hidrógeno pueden servir como precursores de formación de HAP. Durante las reacciones de formación de HAP, el hidrógeno y el carbono se unen en un compuesto cíclico con enlaces simples y dobles alternados, con dos o más anillos aromáticos condensados, que le otorgan un alto potencial carcinógeno y mutagénico. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue analizar los factores que influyen en la calidad y la seguridad sanitaria de los productos cárnicos tradicionales en cuanto al contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos conforme a la literatura disponible.

Palabras claves: productos cárnicos tradicionales, ahumado tradicional, benzo[a]pireno, PAH4, PAH16

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nei prodotti a base di carne affumicata tradizionalmente

Riassunto

I prodotti a base di carne affumicata costituiscono uno dei gruppi più importanti di cibi tradizionali. Grazie alle loro proprietà organolettiche uniche e apprezzatissime e alla loro alta qualità, sono molto amati dai consumatori. Nonostante ciò, da qualche tempo preoccupano non poco alcuni aspetti sanitari di questi prodotti. Varie ricerche suggeriscono, infatti, che i prodotti a base di carne affumicata tradizionalmente possono essere associati ad alcuni problemi di sicurezza sanitaria, come la presenza di idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Gli idrocarburi policiclici aromatici rappresentano un ampio gruppo di composti chimici che possono formarsi durante il trattamento termico degli alimenti con metodi tradizionali come l'essiccazione e l'affumicatura, riconosciuti come possibile causa di patologie maligne. Esistono diversi meccanismi di formazione degli IPA, per cui tutti i composti contenenti carbonio e idrogeno possono fungere da precursori della formazione degli IPA. Durante le reazioni di formazione degli IPA, idrogeno e carbonio si uniscono in un composto ciclico con legami singoli e doppi alternati, con due o più anelli aromatici condensati, che conferiscono un elevato potenziale cancerogeno e mutageno. Pertanto, lo scopo di questa ricerca è stato quello di analizzare i fattori che influenzano la qualità e la salubrità dei tradizionali prodotti a base di carne per quanto riguarda il contenuto di idrocarburi policiclici aromatici sulla base della letteratura disponibile.

Parole chiave: salumi tradizionali, affumicatura tradizionale, benzo[a]pirene, PAH4, PAH16