https://doi.org/10.15255/KUI.2026.010
KUI-42/2026
Izvorni znanstveni rad
Prispjelo 28. veljače 2026.
Prihvaćeno 14. travnja 2026.

Određivanje sastava masnih kiselina i oksidacijske stabilnosti animalnih masti različitih grupa

M. Begić,[a*] *K. Fočo*,[a] *L. Biber*,[a] *A. Hadžimurtezić*,[a] *B. Rabrenović*[b] i *S. Čorbo*[a]

[a] Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu, Zmaja od Bosne 8, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

[b] Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Nemanjina 6, 11080 Beograd – Zemun, Srbija

Ovo djelo je dano na korištenje pod Creative Commons Attribution 4.0 International License

Sažetak

Animalne masti predstavljaju značajan izvor energije i esencijalnih masnih kiselina u ljudskoj prehrani, ali su istodobno podložne oksidacijskim promjenama koje utječu na nutritivnu i senzorsku kvalitetu proizvoda. Sastav masnih kiselina i oksidacijska stabilnost ispitivana je na kozjoj, svinjskoj i pilećoj masti, dobivenim suhim postupkom topljenja masnog tkiva. Kontrolni uzorci masti (bez dodatka antioksidansa) analizirani su prema sljedećim parametrima kvalitete: sastav masnih kiselina i nutritivni indeksi (PUFA/SFA, AI, TI, HH). Rezultati su pokazali da je kozja mast imala najveći udio zasićenih masnih kiselina (59,57 %), dok je pileća mast bila najbogatija nezasićenim masnim kiselinama (73,01 %), što je izravno utjecalo i na nutritivne indekse. Najpovoljnije vrijednosti imala je pileća mast (PUFA/SFA = 1,24; AI = 0,32; TI = 0,73; HH = 3,14). S ciljem poboljšanja oksidacijske stabilnosti masti ispitivan je utjecaj prirodnih antioksidansa (eterična ulja mente, čajevca i bergamota u koncentraciji 0,20 %) i sintetskih antioksidansa (BHA, BHT i PG u koncentraciji 0,01 %). Oksidacijska stabilnost praćena je Schaal-Oven testom tijekom razdoblja od 96 h. Rezultati su pokazali da prirodni i sintetski antioksidansi djeluju selektivno na smanjenje oksidacijskog kvarenja ispitivanih masti. Sintetski antioksidansi pokazali su veću učinkovitost u odnosu na prirodne gdje je PG bio najučinkovitiji kod kozje i pileće masti, kod svinjske masti najbolji je rezultat dao BHA, dok je BHT kod te masti djelovao prooksidativno. Među prirodnim antioksidansima eterično ulje bergamota pokazalo je najbolju zaštitnu ulogu kod pileće i svinjske masti, dok je kod kozje masti najbolje djelovalo eterično ulje mente. Rezultati ovog rada mogu poslužiti kao osnova za daljnja istraživanja s ciljem unaprjeđenja stabilnosti i trajnosti animalnih masti, kao i za optimizaciju njihove primjene u prehrambenoj industriji.

Ključne riječi

Animalne masti, oksidacijska stabilnost, antioksidansi, Schaal-Oven test

1. Uvod

Animalne masti još uvijek zauzimaju važno mjesto u suvremenoj prehrambenoj industriji i dijetetskim preporukama kao i u svakodnevnoj ljudskoj prehrani. Njihova široka primjena proizlazi iz bogatog nutritivnog sastava, prije svega visoke energetske vrijednosti, sadržaja esencijalnih masnih kiselina, liposolubilnih vitamina (A, D, E i K), ali i karakterističnih senzorskih osobina koje doprinose okusu, mirisu i teksturi prehrambenih proizvoda.[1] Zbog relativno visokog sadržaja zasićenih masnih kiselina i kolesterola, animalne masti često su predmet rasprava u javnom zdravstvu i nutricionističkoj znanosti te se nerijetko smatraju manje poželjnim u odnosu na biljna ulja koja sadrže veći sadržaj nezasićenih, naročito esencijalnih ω-3 i ω-6 masnih kiselina. Pored nutricionističkih kontroverzi, jedan od ključnih izazova u upotrebi životinjskih masti jest njihova sklonost kemijskom kvarenju tijekom skladištenja i prerade, posebno oksidaciji lipida.[2] Oksidacijski procesi negativno utječu na kvalitetu masti dovodeći do stvaranja peroksida, aldehida i drugih sekundarnih produkata, što rezultira nepoželjnim promjenama boje, mirisa i okusa, kao i smanjenjem nutritivne vrijednosti i sigurnosti proizvoda. Najosjetljivije na oksidaciju su polinezasićene masne kiseline, koje se nalaze u visokom udjelu u pilećoj i svinjskoj masti, dok masti bogate zasićenim masnim kiselinama, poput kozje, pokazuju veću otpornost.[3] Upravo navedena suprotnost u kemijskom sastavu između različitih vrsta masti čini istraživanje njihove stabilnosti posebno važnim, da bi se pronašao optimalan balans između zdravstvene prihvatljivosti i tehnološke funkcionalnosti. Radi usporavanja oksidacijskih procesa u prehrambenoj industriji rutinski se upotrebljavaju antioksidansi – spojevi koji prekidaju reakcije slobodnih radikala, štiteći time masti od kvarenja. Najčešće upotrijebljavani sintetski antioksidansi, poput butilhidroksianizola (BHA), butilhidroksitoluena (BHT) i propil galata (PG), pokazali su visoku učinkovitost, ali se zbog potencijalnih toksičnih efekata i negativne percepcije kod potrošača sve više istražuju alternativna rješenja u obliku prirodnih antioksidansa. Među njima se posebno ističu eterična ulja biljaka, bogata fenolnim jedinjenjima, koja posjeduju izraženo antioksidativno, ali i antimikrobno djelovanje. Ipak, njihova učinkovitost može varirati ovisno o vrsti masti, koncentracije, kemijskog sastava i uvjeta primjene. Eterično ulje bergamota dobiva se iz kore ploda.[4] Kemijski sastav eteričnog ulja bergamota dobro je istražen i poznat. Sastoji se od isparljive frakcije (93 – 96 %) i neisparljive frakcije (4 – 7 %). Isparljivu frakciju čine monoterpenski i seskviterpenski ugljikovodici te njihovi oksigenirani derivati, uključujući limonen (25 – 53 %), linalool (2 – 20 %) i linalil-acetat (15 – 40 %). Neisparljiva frakcija sadrži pigmente, vosko-

* Autor za dopisivanje: prof. dr. sc. Munevera Begić
E-pošta: m.begic@ppf.unsa.ba

ve, kumarine i psoralene, uključujući 5-MOP (bergapten), koji je poznat po svojoj fototoksičnosti.[5] Eterična ulja i ekstrakti mente pokazuju značajan antioksidativni potencijal, uključujući i protuupalnu aktivnost. Glavni sastojak ulja je mentol, koji čini 30 – 70 %, ovisno o podrijetlu i uvjetima rasta. Ostali važni sastojci uključuju menton, mentil-acetat, mentofuran, pulegon i limonen, koji doprinose specifičnom mirisu i terapeutskim svojstvima ulja.[6] Eterično ulje čajevca upotrebljava se zbog snažnih antimikrobnih, antioksidativnih i protuupalnih svojstava. Najvažniji sastojak je terpinen-4-ol, koji djeluje protiv bakterija otpornih na antibiotike i gljivica, ubrzava zacjeljivanje rana te pokazuje antikarcinogeni potencijal.[7] U okviru ovog rada ispitivana je kvaliteta i oksidacijska stabilnost animalnih masti različitih grupa i to kozje, pileće i svinjske masti, koje se znatno razlikuju po svojem masnokiselinskom sastavu.

2. Eksperimentalni dio

2.1. Materijali

Za potrebe eksperimenta upotrijebljeno je po 1 kg kozjeg loja i pilećeg masnog tkiva i 500 g otopljene svinjske masti. Prikupljeni uzorci su od domaćih uzgajivača s različitih lokacija u Bosni i Hercegovini i dostavljeni za analizu u svježem, čvrstom i kompaktnom stanju. U sklopu istraživanja upotrijebljeni su sintetski antioksidansi: propil galat, butilhidroksianizol i butilhidroksitoluen u koncentraciji 0,01 %. Od prirodnih antioksidansa upotrijebljena su eterična ulja čajevca, mente i bergamota u koncentraciji 0,20 % kupljena na području Kantona Sarajevo. U ovom istraživanju primijenjena je koncentracija eteričnih ulja od 0,20 %, koja je odabrana na temelju dostupnih literaturnih podataka prema kojima se eterična ulja u prehrambenim sustavima najčešće upotrebljavaju u rasponu od 0,02 do 0,50 %, ovisno o vrsti ulja i namjeni. Unutar navedenog raspona koncentracije od oko 0,20 % često pokazuju znatan antioksidativni učinak, uz minimalan rizik od negativnog utjecaja na kvalitetu proizvoda. Također, eterična ulja karakterizira intenzivan miris i okus, što može utjecati na organoleptička svojstva proizvoda. Stoga su izbjegnute više koncentracije da bi se očuvala senzorska prihvatljivost ispitivanih masti. Odabrana koncentracija od 0,20 % kompromis je između učinkovitosti i senzorske prihvatljivosti. Do momenta analize uzorci su čuvani na tamnom i hladnom mjestu u originalnoj ambalaži.

2.2.1. Postupak topljenja masti iz masnog tkiva

Masno tkivo pripremljeno je za topljenje usitnjavanjem pomoću noža na komade veličine 3 do 5 cm. Proces topljenja proveden je suhim postupkom, u laboratorijskim uvjetima. Animalne masti topljene su u vodenoj kupelji pri temperaturi blizu vrelišta vode (≈ 90 – 100 °C) do potpunog taljenja. Uzorci su prethodno stavljeni u staklene čaše, koje su uronjene u posudu s vodom, uz povremeno miješanje radi osiguravanja ravnomjernog zagrijavanja. Nakon taljenja iz tekuće masti uklonjeni su čvrsti ostaci, koji predstavljaju netopljive dijelove tkiva, postupkom cijeđenja kroz čisto pamučno platno. Djelomično ohlađena, ali još uvijek u tekućem stanju, mast je ravnomjerno raspoređena u staklene laboratorijske čaše obujma 250 ml. Masti su imale mazivu i čvrstu konzistenciju. Nakon potpunog hlađenja na sobnoj temperaturi uzorci masti su do trenutka analize čuvani u hladnjaku na temperaturi od +4 °C do +5 °C.

2.2. Metode

Na svim ispitivanim uzorcima otopljenog masnog tkiva/masti analiziran je sastav masnih kiselina određen GC/MS tehnikom, primjenom instrumenta Agilent Technologies 6890 sa split injektorom i detektorom plamene ionizacije. Priprema metilnih estera masnih kiselina provedena je prema standardnoj metodi *ISO 5508:1990*.[8] U tikvicu s brušenim čepom volumena 50 ml odvaže se 0,35 g masti te se doda 6 ml 0,5 N metanolne otopine NaOH. Na tikvicu se postavi povratno hladilo te se smjesa zagrijava (saponificira) 2 – 5 min. Nakon toga, kroz hladilo se doda 7 ml metanolne otopine BF_3 (bortrifluorida). Metiliranje traje 2 min. Nakon metiliranja kroz hladilo se doda 4 ml heptana ili heksana (tikvica se hladi u čaši s vodom) te se smjesa zagrijava 1 min, nakon čega se ohladi pod mlazom hladne vode. U tikvicu se zatim dodaje zasićena otopina NaCl tako da se razina sadržaja, odnosno heptanski (heksanski) sloj, podigne u vrat tikvice. Oko 1 ml heptanske (heksanske) faze otpipetira se u epruvetu u koju je prethodno dodan bezvodni Na_2SO_4, zatim se centrifugira ili ostavi da odstoji. U plinski kromatograf injektira se 1 µl heptanske (heksanske) faze. Metilni esteri razdvojeni su i detektirani prema standardnoj metodi *ISO 12966-1*.[9] Upotrijebljen je plinski kromatograf (Agilent Technologies 6890, SAD) s razdjelnim injektorom i plamenoionizacijskim detektorom (FID) te kapilarnom kolonom Supelco SP-2560 (duljina 100 m × unutarnji promjer 0,25 mm × debljina filma 0,20 µm; Supelco, Bellefonte, SAD). Kao mobilna faza upotrijebljen je helij, uz protok od 5 ml min^{-1}. Temperature injektora i detektora bile su 250 i 260 °C. Ubrizgani volumen iznosio je 1 µl, a omjer razdvajanja injektora bio je 20 : 1. Temperatura kolone programirana je od početnih 50 °C (zadržavanje 5 min) do 240 °C (zadržavanje 20 min), uz linearan porast temperature od 4 °C min^{-1}. Kromatografski pikovi u uzorku identificirani su usporedbom relativnih vremena zadržavanja sa standardnom smjesom metilnih estera masnih kiselina (Supelco, Bellefonte, SAD). Na temelju sastava masnih kiselina izračunati su nutritivni indeksi masti (aterogeni indeks (AI), trombogeni indeks (TI), kao i hipokolesterolski/hiperkolesterolski indeks (HH).[10] Za procjenu stabilnosti masti prema oksidaciji primijenjen je Schaal-Oven test, pri temperaturi od 98 ± 2 °C.[11] Radi se o dinamičkom testu tijekom kojeg se ulja i masti podvrgavaju oksidaciji pri 98 °C u kontaktu sa zrakom, ali bez djelovanja svjetlosti. U animalne masti različitih skupina (pileća, kozja i svinjska) dodani su prirodni antioksidansi u koncentraciji od 0,20 % te sintetski antioksidansi u koncentraciji od 0,01 %. Nakon dodatka antioksidansa, sadržaj je homogeniziran miješanjem staklenim štapićem. Pripremljeni uzorci zagrijavani su pri temperaturi od 70 °C tijekom 30 min uz kontinuirano miješanje da bi se osigurala homogena raspodjela antioksidansa u masti. Nakon zagrijavanja uzorci su ohlađeni na sobnu temperaturu. Laboratorijske čaše s uzorcima prekrivene su satnim staklima te prenesene u termostat prethodno podešen na temperaturu od 98 °C. Na svaka 24 h uzimani su uzorci, a peroksidni broj odredio

se primjenom Wheeler metode prema *ISO 3960*[12], koja predstavlja mjeru primarnih produkata oksidacije masti, izraženu u mmol O_2 kg^{-1}. Metoda se temelji na reakciji peroksida s kalijevim jodidom, pri čemu nastaje jod koji se titrira otopinom natrijeva tiosulfata uz škrob kao indikator. Za određivanje je odvagan 1 g uzorka masti u Erlenmeyer tikvicu, uz dodatak smjese ledene octene kiseline i kloroforma (3 : 2). Nakon otapanja masti dodana je zasićena otopina kalijeva jodida, a smjesa je nakon reakcije titrirana standardnom otopinom $Na_2S_2O_3$ (0,01 mol l^{-1}).

2.3. Statistička analiza

Statistička obrada podataka provedena je primjenom programa Past 3.15.[13] Da bi se utvrdila statistički značajna razlika u vrijednostima peroksidnog broja pod utjecajem vrste dodanih prirodnih i sintetskih antioksidansa i vremenskog intervala, primijenjena je dvofaktorijalna analiza varijance te u slučaju utvrđivanja statistički signifikantnih razlika primijenjen je Tukey post-hoc test (razina značajnosti $\alpha = 0,05$).

3. Rezultati i rasprava

Rezultati za pojedinačne zasićene i nezasićene masne kiseline, ukupne vrijednosti masnih kiselina, odnosa između njihovih grupa, kao i nutritivnih indeksa za kozju, pileću i svinjsku mast (bez dodatka antioksidansa) prikazani su u tablici 1. Navedeni rezultati u tablici 1 pokazuju da su zasićene kiseline više zastupljene u kozjoj masti (59,57 %), a najmanje kod pileće masti (26,97 %). Ukupne nezasićene masne kiseline najzastupljenije su u pilećoj masti (73,01 %) a najmanje u kozjoj (40,41 %). Od MUFA kiselina najzastupljenija je bila oleinska kiselina i to kod svinjske masti (54,22 %), a najniža u kozjoj masti (34,89 %). Od PUFA kiselina najzastupljenija je linolna u pilećoj (28,65 %), a najmanje u kozjoj (1,72 %).

Na sastav masnih kiselina kozje masti utječu brojni faktori poput prehrane, pasmine, starosti životinja i uvjeta prerade.[14,15,16,17] Kod kozje masti iz grupe SFA kiselina najzastupljenija je palmitinska kiselina (29,32 %), što je više u odnosu na vrijednosti koje se navode za potkožnu mast *Jusupović i sur.*[14] i *Yılmaz i Karakaya*[15] (24,91 %). *Yılmaz i Karakaya*[15] i *Rhee i sur*.[16] za potkožnu mast koza s ispaše navode vrijednosti 23,06 % i 20,51 %, a *Niedziółka i sur.*[17] za mast jarića 22,05 %. Sadržaj stearinske kiseline za potkožnu mast iznosio je 20,63 %, što je niže u usporedbi s vrijednostima koje su naveli *Jusupović i sur.*[14] (26,91 %) *i Yılmaz i Karakaya*[15] (22,95 %). Vrijednosti su veće u odnosu na navode koje su zabilježili *Rhee i sur.*[16] za koze s ispaše (16,27 %) i *Niedziółka i sur.*[17] za jariće (12,48 %). Sadržaj miristinske kiseline za potkožnu mast bio je veći (5,89 %) u odnosu na rezultate *Jusupović i sur.*[14] (3,16 %), *Yılmaz i Karakaya*[15] (3,06 %) za koze s ispaše (1,78 %), dok *Rhee i sur.*[16] i *Niedziółka i sur.*[17] navode vrijednost za jariće 1,80 %. Iz grupe MUFA kiselina najzastupljenija je bila je oleinska kiselina (34,89 %). Veće vrijednosti navode *Jusupović i sur.*[14], *Yılmaz i Karakaya,*[15] *Rhee i sur*.[16], *Niedziółka i sur.*[17] i to: 38,16 %, 36,16 %, 42,43 % i 54,10 %. Iz grupe PUFA kiselina, sadržaj linolne kiseline bio je 1,72 %, što je niža vrijednost u usporedbi s rezultatima *Jusupović i sur.*[14] (1,77 %), *Yılmaz i Karakay*[15] (1,96 %), *Rhee i sur*.[16] (7,74 %) i *Niedziółka i sur.*[17] (3,46 %). Ukupni sadržaj zasićenih masnih kiselina bio je veći i iznosio je 59,57 % u odnosu na navode *Jusupović i sur*.[14] (56,57 %), *Yılmaz i Karakaya*[15] (50,55 %), *Rhee i sur*.[16] (42,19 %) i *Niedziółka i sur.*[17] (37,21 %). Ukupni udio MUFA kiselina bio je 38,69 %, što je u skladu s navodima *Jusupović i sur.*[14] (38,16 %) i *Yılmaz i*

Tablica 1 – Sastav pojedinačnih i ukupnih masnih kiselina, odnosi između grupa te nutritivni indeksi ispitivanih uzoraka kozje, pileće i svinjske masti (bez dodatka antioksidansa)

Table 1 – Composition of individual and total fatty acids, ratios between groups, and nutritional indices of the tested goat, chicken, and pork fat samples (without the addition of antioxidants)

Masna kiselina / % Fatty acid / %	Kozja mast Goat fat	Pileća mast Chicken fat	Svinjska mast Pork fat
C8:0	0,20	<0,02	<0,02
C11:0	0,02	<0,02	<0,02
C12:0	0,33	<0,02	<0,02
C13:0	0,03	<0,02	<0,02
C14:0	5,89	0,48	1,25
C15:0	0,95	0,08	0,06
C16:0	29,32	21,20	20,14
C17:0	2,16	0,06	0,40
C18:0	20,63	4,97	6,92
C20:0	0,04	0,18	0,61
C14:1	0,09	0,02	<0,02
C16:1	3,12	4,91	3,23
C17:1	0,59	<0,02	0,18
C18:1 n-9	34,89	39,43	54,22
C18:2 n-6	1,72	28,65	12,97
C18:3 n-3	<0,02	<0,02	<0,02
C20:4 n-6	<0,02	<0,02	<0,02
SFA	59,57	26,97	29,38
UFA	40,41	73,01	70,60
MUFA	38,69	44,36	57,63
PUFA	1,72	28,65	12,97
PUFA/SFA	0,03	1,06	0,44
MUFA/SFA	0,65	1,64	1,96
AI	1,32	0,32	0,36
TI	2,76	0,73	0,80
HH	1,04	3,14	3,14

SFA (zasićene masne kiseline), UFA (nezasićene masne kiseline), MUFA (mononezasićene masne kiseline), PUFA (polinezasićene masne kiseline), AI (aterogeni indeks), TI (trombogeni indeks) i HH (hipokolesterolski/hiperkolesterolski indeks).

SFA (saturated fatty acids), UFA (unsaturated fatty acids), MUFA (monounsaturated fatty acids), PUFA (polyunsaturated fatty acids), AI (atherogenic index), TI (thrombogenic index), HH (hypocholesterol/hypercholesterol index).

Karakay[15] (41,60 %), ali je niže u odnosu na rezultate *Rhee i sur.*[16] (45,29 %) i *Niedziółka i sur.*[17] (57,91 %). Ukupna vrijednost PUFA kiselina bila je 1,72 %, što je niže u usporedbi s rezultatima *Jusupović i sur.*[14] (1,89 %), *Yılmaz i Karakaya*[15] (2,30 %), *Rhee i sur.*[16] (12,54 %) i *Niedziółka i sur.*[17] (4,89 %). Te razlike ukazuju na to da su uzorci imali izraženiji profil zasićenih masnih kiselina, što može imati značajan utjecaj na nutritivna i funkcionalna svojstva kozje masti. Razlike u profilu masnih kiselina među istraživanjima mogu se pripisati raznolikim faktorima poput pasmine, starosti, anatomskog porijekla masti (potkožna, intramuskularna), načina prehrane i metode obrade uzoraka.

Način prehrane, lokalitet uzgoja kao i starosna dob znatno utječu na sastav masnih kiselina pileće i svinjske masti.[18–21] Od SFA kiselina u *pilećoj masti* najzastupljenija je palmitinska kiselina (21,20 %). Veće vrijednosti su bile u odnosu na rezultate koje navode *Moslavac i sur.*[18] (26,97 %), *Šahović i sur.*[19] (22,23 %), *Nizar i sur.*[20] (25,39 %) i *Belichovska i sur.*[21] za pileću mast (25,20 %). Sadržaj stearinske kiseline bio je 4,97 %, što je veća vrijednost u usporedbi s navodima *Šahović i sur.*[19] (4,33 %) i *Nizar i sur.*[20] (4,18 %), ali nešto niže u odnosu na rezultate *Moslavac i sur.*[18] (5,53 %). Prema rezultatima *Belichovska i sur.*[21] sadržaj stearinske kiseline iznosi 6,76 %, miristinske 0,48 %, slično rezultatima *Moslavac i sur.*[18] (0,50 %) i *Šahović i sur.*[19] (0,48 %). Iz skupine MUFA kiselina najzastupljenija je oleinska kiselina s 39,43 %, što je nešto niža vrijednost u odnosu na rezultate *Moslavac i sur.*[18] (43,15 %) i *Šahović i sur.*[19] (42,18 %). Nešto veće vrijednosti navode *Nizar i sur.*[20] (43,94 %), a niže *Belichovska i sur.*[21] (23,88 %). Od PUFA kiselina najzastupljenija je linolna kiselina (28,65 %). Ukupan udio SFA kiselina iznosio je 26,97 %, što je niže u odnosu na rezultate *Moslavac i sur.*[18] (33,67 %), *Šahović i sur.*[19] (27,48 %), *Nizar i sur.*[20] (32,48 %) i *Belichovska i sur.*[21] (34,29 %). Ukupni udio MUFA kiselina iznosio je 44,36 % i bio je niži u odnosu na rezultate *Moslavac i sur.*[18] (50,72 %), dok je veći u usporedbi s rezultatima *Nizar i sur.*[20] (43,94 %) i *Šahović i sur.*[19] (42,18 %). *Belichovska i sur.*[21] navode veće vrijednosti za ukupan sadržaj MUFA i PUFA kiselina (32,73 % i 28,65 %) u odnosu na rezultate *Moslavac i sur.*[18] (15,63 %), *Šahović i sur.*[19] (23,65 %) i *Nizar i sur.*[20] (23,58 %). Na osnovi navedenih rezultata može se zaključiti da pileća mast analizirana u ovom istraživanju karakterizira viši udio nezasićenih masnih kiselina, posebno MUFA kiselina te relativno niži sadržaj zasićenih masnih kiselina, što ukazuje na njezin povoljan nutritivni sastav. Visok udio linolne kiseline dodatno doprinosi pozitivnoj nutritivnoj procjeni te masti, posebno uzimajući u obzir njezinu funkcionalnu ulogu u prevenciji kroničnih bolesti.

Iz grupe MUFA kiselina kod *svinjske masti* oleinska kiselina bila je najzastupljenija (54,22 %). Niže vrijednosti u usporedbi s našim rezultatima navode *Belichovska i sur.*[21] (34,19 %), *Nizar i sur.*[20] (42,62 %), *Warnants i sur.*[22] (41,20 %) i *Laslo i Pop*[23] (33,51 %). Vrijednost sadržaja palmitinske kiseline prema našim rezultatima bila je manja (20,14 %) u odnosu na rezultate *Belichovska i sur.*[21] (26,55 %), *Nizar i sur.*[20] (24,64 %) i *Laslo i Pop*[23] (24,64 %). Približno jednake vrijednosti navode *Warnants i sur.*[22] (23,80 %). Stearinska kiselina prema našim rezultatima bila je znatno niža u odnosu na sadržaj palmitinske kiseline i iznosila je 6,92 %, što je također niže u usporedbi s rezultatima *Belichovska i sur.*[21] (14,84 %), *Nizar i sur.*[20] (11,53 %) i *Laslo i Pop*[23] (19,60 %). Sadržaj linolne kiseline iznosio je 12,97 % i bio je približno jednak rezultatima *Belichovska i sur.*[21] (13,34 %), *Warnants i sur.*[22] (10,20 %), *Nizar i sur.*[20] (17,29 %) i *Omanović i sur.*[24] (8,0 %). Sadržaj miristinske kiseline iznosio je 1,25 %, što je nešto niže u odnosu na vrijednosti koje navode *Belichovska i sur.*[21] (1,55 %), *Nizar i sur.*[20] (2,28 %) i *Laslo i Pop*[23] (1,44 %). Ukupan sadržaj SFA kiselina bio je 29,38 %, što je znatno niža vrijednost u odnosu na rezultate *Belichovska i sur.*[21] (44,07 %), *Warnants i sur.*[22] (41,10 %), *Nizar i sur.*[20] (39,02 %), *Laslo i Pop*[23] (62,67 %) i *Omanović i sur.*[24] (42,00 %). Sadržaj MUFA kiselina iznosio je 57,63 %, što je veća vrijednost u usporedbi s rezultatima *Belichovska i sur.*[21] (40,32 %), *Warnants i sur.*[22] (43,90 %), *Laslo i Pop*[23] (36,35 %) i *Omanović i sur.*[24] (47,00 %). Prema našim rezultatima PUFA kiseline bile su približno jednake (12,97 %) navodima *Belichovska i sur.*[21] (15,62 %), *Warnants i sur.*[22] (10,20 %) i *Omanović i sur.*[24] (10,0 %).

Prema preporukama *UK Department of Health*[25], *Wood i sur.*[26] i *Wood i sur.*[27] vrijednosti odnosa skupina masnih kiselina PUFA/SFA trebale bi biti veće od 0,40 da bi se namirnica deklarirala kao proizvod visoke nutritivne vrijednosti. Prema rezultatima iz tablice 1 može se zaključiti da se ispitivani uzorci, pileća i svinjska mast mogu deklarirati kao proizvodi visoke nutritivne vrijednosti, dok se uzorak kozje masti ne može deklarirati kao proizvod visoke nutritivne vrijednosti, s obzirom na vrijednosti odnosa među skupinama PUFA/SFA. Aterogeni indeks (AI) primjenjuje se za procjenu aterogenosti namirnice uzimajući u obzir odnos sume SFA koje se smatraju pro-aterogenim: laurinska, miristinska i palmitinska uz iznimku stearinske kiseline, s jedne strane, i sume UFA kiselina za koje se smatra da imaju anti-aterogeno djelovanje.[28] Konzumacijom namirnica s nižim AI (u našem slučaju pilećom masti) može se smanjiti razina ukupnog i LDL-kolesterola.[29] Vrijednost AI kod pileće masti kreće se od najniže kod pileće do najviše kod svinjske masti (0,32 – 0,36). Kod kozje masti utvrđen je najviši AI (1,32), što se može opravdati niskim sadržajem oleinske kiseline. Trombogeni indeks predstavlja pokazatelj potencijala masnih kiselina da doprinesu stvaranju krvnih ugrušaka, čime se neizravno procjenjuje njihov utjecaj na zdravlje kardiovaskularnog sustava. Taj indeks izražava odnos između zasićenih masnih kiselina koje se smatraju protrombogenima (posebno C12:0, C14:0 i C16:0) i nezasićenih masnih kiselina, uključujući mononezasićene i polinezasićene iz skupina n-3 i n-6, koje imaju zaštitnu ulogu. Niže vrijednosti TI indeksa općenito ukazuju na povoljniji nutritivni profil, jer sugeriraju smanjeni rizik od tromboze i povezanih kardiovaskularnih bolesti.[28] Vrijednost TI za sve ispitivane uzorke masti kretale se u rasponu kod pileće od 0,73 do najviše 2,76 kod kozje masti. Vrijednost TI kod pileće masti bila je najniža (0,73), dok je najviša bila kod kozje masti (2,76). Hipokolesterolemični/hiperkolesterolemični indeks (HH) predstavlja pokazatelj utjecaja masnih kiselina na metabolizam kolesterola. Njegova se vrijednost izračunava na temelju odnosa između korisnih, nezasićenih masnih kiselina i zasićenih masnih kiselina koje se povezuju s povišenjem kolesterola, pri čemu se poseban značaj pridaje udjelu miristinske i palmitinske kiseline. Hipokolesterolski/hiperkolesterolski indeks (HH) za ispitivane uzorke masti, kretao se u granicama od 1,04 do 3,14. Najniži je bio kod kozje masti (1,14) a najveći kod pileće i

svinjske masti (3,14). Iz svega navedenog može se zaključiti da su pileća i svinjska mast najboljeg masnokiselinskog sastava i imaju najbolji odnos masnih kiselina unutar kompariranih grupa. Na temelju svih navedenih pokazatelja pileća mast se izdvojila kao nutritivno najpovoljnija, jer je imala najvišu vrijednost odnosa PUFA/SFA, najniže vrijednosti AI i TI te najviši HH indeks. Svinjska mast zauzima drugo mjesto s nešto lošijim vrijednostima u odnosu na pileću, ali još uvijek unutar granica koje ukazuju na povoljan masnokiselinski sastav. Kozja mast imala je najnepovoljniji profil s najnižim vrijednostima odnosa PUFA/SFA, najvišim AI i TI vrijednostima te najnižim HH indeksom. S aspekta nutritivne vrijednosti pileća mast pokazala se kao nutritivno najpoželjnija u usporedbi s svinjskom i kozjom masti.

3.1. Oksidacijska stabilnost animalnih masti praćena testom održivosti na 98 °C

U tablici 2 predstavljeni su rezultati ispitivanja oksidacijske stabilnosti kozje masti s dodacima antioksidansa i bez njih tijekom 96 h. Dvofaktorskom analizom varijance utvrđeno je da vrijeme uzorkovanja, vrsta antioksidansa i njihova međusobna interakcija imaju statistički značajan utjecaj na vrijednosti peroksidnog broja kod svih ispitivanih uzoraka kozje masti s dodatkom različitih antioksidansa ($p < 0,05$). Na temelju rezultata iz tablice 2 može se vidjeti da je došlo do promjene oksidacijske stabilnosti kozje masti bez dodataka antioksidansa (kontrolni uzorak) nakon 96 h provedbe testa održivosti pri temperaturi 98 °C.

Vrijednost peroksidnog broja znatno se povećavala, pa je nakon 96 h provedbe testa održivosti vrijednost peroksidnog broja iznosila 116,42 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon tretmana od 24 h, u usporedbi s kontrolnim uzorkom, dodatkom ispitivanih sintetskih antioksidansa dobiveni su pozitivni rezultati, pri čemu je kozja mast veoma dobro zaštićena od oksidacijskog kvarenja. Dodatkom sintetskog antioksidansa BHT-a (0,01 %) postignuta je najveća učinkovitost zaštite kozje masti od oksidacijskog kvarenja, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 0,24 mmol O_2 kg^{-1} nakon 24 h tretmana. Također, primjenom BHA-a i PG-a postignuta je učinkovita zaštita ulja. U usporedbi s kontrolnim uzorkom, dodatkom ispitivanih prirodnih antioksidansa dobiveni su pozitivni rezultati. Dodatkom eteričnog ulja čajevca (0,20 %) postignuta je najučinkovitija zaštita kozje masti od oksidacijskog kvarenja, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 11,09 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon tretmana od 48 h, u usporedbi s kontrolnim uzorkom, dodatkom ispitivanih sintetskih antioksidansa dobiveni su pozitivni rezultati. Dodatkom sintetskog antioksidansa BHA-a (0,01 %) postignuta je najveća učinkovitost zaštite kozje masti od oksidacijskog kvarenja, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 1,75 mmol O_2 kg^{-1}. U usporedbi s kontrolnim uzorkom, dodatkom ispitivanih prirodnih antioksidansa dobiveni su pozitivni rezultati. Dodatkom eteričnog ulja bergamota (0,20 %) postignuta je najveća učinkovitost zaštite masti od oksidacijskog kvarenja, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 19,27 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon tretmana od 72 h iz tablice 2 može se primijetiti da su sintetski antioksidansi dali bolje rezultate 72 h nakon provedbe testa održivosti te se od tih antioksidansa najbolje pokazao BHA. Što se tiče prirodnih antioksidansa, najbolje se pokazalo eterično ulje mente. Nakon 96 h provedbe testa održivosti na temelju tablice 2 može se zaključiti da su 96 h nakon provedbe testa održivosti svi sintetski antioksidansi (0,01 %) i eterična ulja mente i čajevca (0,20 %) dali pozitivne rezultate u pogledu zaštite kozje masti od oksidacijskog kvarenja te da je sintetski antioksidans BHA imao znatno veću učinkovitost zaštite. U pogledu slabijeg djelovanja prirodnih antioksidanasa na oksidacijsku stabilnost dobiveni rezultati mogu

Tablica 2 – Prosječne vrijednosti peroksidnog broja kozje masti ± SD u različitim vremenskim intervalima bez i s dodatkom sintetskih i prirodnih antioksidansa

Table 2 – Average peroxide values of goat fat ± SD at different time intervals, with and without the addition of synthetic and natural antioxidants

Uzorak/ Sample	Udio/% Content/%	Peroksidni broj/mmol O_2 kg^{-1} Peroxide value/mmol O_2 kg^{-1}				
		0 h	24 h	48 h	72 h	96 h
Kontrolni uzorak Control sample	–	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$16,87^{Db}\pm0,06$	$41,63^{Fc}\pm0,64$	$113,93^{Dd}\pm0,8$	$116,42^{De}\pm0,82$
BHT/BHT	0,01	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$4,75^{Bb}\pm0,35$	$6,19^{Bb}\pm0,35$	$7,50^{Bb}\pm0,00$
BHA/BHA	0,01	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$0,55^{Aa}\pm0,08$	$1,75^{Aa}\pm0,35$	$2,16^{Aab}\pm0,28$	$4,75^{Ac}\pm0,35$
PG/PG	0,01	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$0,44^{Aa}\pm0,06$	$2,50^{Ab}\pm0,00$	$2,94^{Ab}\pm0,00$	$3,50^{Ab}\pm0,00$
Menta/Mint	0,20	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$14,75^{Cb}\pm0,35$	$38,56^{Fc}\pm0,08$	$89,76^{Cd}\pm0,62$	$107,25^{Ce}\pm0,35$
Bergamot/Bergamot	0,20	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$13,18^{Cb}\pm0,52$	$19,27^{Cc}\pm0,48$	$123,88^{Ed}\pm0,87$	$126,75^{Ed}\pm0,35$
Čajevac/Tea tree	0,20	$0,24^{Aa}\pm0,01$	$11,09^{Bb}\pm0,58$	$34,22^{Dc}\pm0,56$	$90,64^{Ed}\pm0,63$	$114,75^{De}\pm0,35$

A-F Različita velika slova u kolonama pokazuju statistički značajne razlike u vrijednostima peroksidnog broja u pogledu antioksidansa dodanih kozjoj masti.

a-e Različita mala slova u redovima pokazuju statistički značajne razlike u vrijednostima peroksidnog broja u pogledu vremenskog intervala (0 – 96 h).

A-H Different capital letters in the columns indicate statistically significant differences in peroxide values with respect to antioxidants added to goat fat.

a-e Different lowercase letters in the rows indicate statistically significant differences in peroxide values over the time interval (0–96 h).

Tablica 3 – Prosječne vrijednosti peroksidnog broja pileće masti ± SD u različitim vremenskim intervalima bez i s dodatkom sintetskih i prirodnih antioksidansa

Table 3 – Average peroxide values of chicken fat ± SD at different time intervals with and without the addition of synthetic and natural antioxidants

Uzorak/ Sample	Udio / % Content / %	Peroksidni broj / mmol O_2 kg^{-1} Peroxide value / mmol O_2 kg^{-1}				
		0 h	24 h	48 h	72 h	96 h
Kontrolni uzorak Control sample	-	$1,97^{Aa}\pm0,01$	$20,95^{Fb}\pm0,28$	$69,16^{Fc}\pm0,49$	$96,84^{Dd}\pm0,34$	$121,40^{De}\pm0,85$
BHT/BHT	0,01	$1,97^{Aa}\pm0,01$	$9,65^{Bb}\pm0,21$	$23,71^{Cc}\pm0,49$	$64,11^{Bd}\pm0,35$	$114,25^{Be}\pm0,35$
BHA/BHA	0,01	$1,97^{Aa}\pm0,01$	$11,82^{Cb}\pm0,08$	$21,75^{Bc}\pm0,35$	$75,69^{Cd}\pm0,33$	$118,88^{Ce}\pm0,18$
PG/PG	0,01	$1,97^{Aa}\pm0,01$	$4,37^{Ab}\pm0,12$	$7,38^{Ac}\pm0,34$	$13,73^{Ad}\pm0,19$	$20,63^{Ae}\pm0,18$
Menta/Mint	0,20	$1,97^{Aa}\pm0,01$	$23,56^{Gb}\pm0,00$	$75,37^{Gc}\pm0,53$	$102,93^{Fd}\pm0,71$	$118,91^{Ce}\pm0,84$
Bergamot/Bergamot	0,20	$1,97^{Aa}\pm0,01$	$18,73^{Eb}\pm0,34$	$56,16^{Dc}\pm0,39$	$98,16^{Ed}\pm0,64$	$115,75^{Be}\pm0,35$
Čajevac/Tea tree	0,20	$1,97^{Aa}\pm0,01$	$14,39^{Db}\pm0,44$	$66,91^{Ec}\pm0,12$	$102,96^{Fd}\pm0,72$	$136,88^{Ee}\pm0,18$

A-F Različita velika slova u kolonama pokazuju statistički značajne razlike u vrijednostima peroksidnog broja u pogledu antioksidansa dodanih pilećoj masti.
a-e Različita mala slova u redovima pokazuju statistički značajne razlike u vrijednostima peroksidnog broja u pogledu vremenskog intervala (0 – 96 h).
A-H Different capital letters in columns indicate statistically significant differences in peroxide value regarding antioxidants added to chicken fat.
a-e Different lowercase letters in rows indicate statistically significant differences in peroxide value in relation to the sampling time interval (0–96 h).

se objasniti uvjetima metode, budući da je test održivosti proveden pri 98 °C u sustavu animalne masti, što predstavlja značajan termički i oksidacijski stres. Eterična ulja, kao smjese hlapljivih i termolabilnih spojeva, pri povišenim temperaturama mogu isparavati te prolaziti kroz oksidacijske i strukturne promjene, čime se smanjuje njihova antioksidativna učinkovitost, a u određenim uvjetima mogu nastati i spojevi s prooksidacijskim djelovanjem. Istodobno, oksidacija lipida u animalnim mastima pri povišenim temperaturama znatno se ubrzava, što dodatno otežava djelovanje prirodnih antioksidansa. Slični rezultati opisani su u literaturi, gdje eterična ulja pokazuju smanjenu stabilnost i učinkovitost u lipidnim sustavima pri povišenim temperaturama u usporedbi sa sintetskim antioksidansima. U istraživanju *Jusupović i sur.*[14] ispitivan je utjecaj različitih prirodnih i sintetskih antioksidansa na oksidacijsku stabilnost kozje masti. Rezultati su pokazali da većina dodataka usporava oksidaciju, pri čemu je ekstrakt kadulje imao najbolji učinak među prirodnim antioksidansima (Pbr 5,19 mmol O_2 kg^{-1}). Dobar rezultat postigao je i ekstrakt đumbira (9,18 mmol O_2 kg^{-1}), dok je ekstrakt ružmarina pokazao slabiju aktivnost (12,69 mmol O_2 kg^{-1}). Od sintetskih antioksidansa, propil galat (0,49 mmol O_2 kg^{-1}) pokazao je veću učinkovitost od BHA (0,99 mmol O_2 kg^{-1}) i BHT (0,99 mmol O_2 kg^{-1}), a oba su znatno smanjila oksidaciju u usporedbi s kontrolnim uzorkom. Također, i u ovom radu je utvrđeno da većina antioksidansa usporava oksidaciju kozje masti te su se najbolje pokazali sintetski antioksidansi.

U tablici 3 prikazane su vrijednosti peroksidnog broja za ispitivani uzorak pileće masti bez dodatka i s dodatkom sintetskih antioksidansa (BHA, BHT i PG) u koncentraciji 0,01 % i prirodnih antioksidansa (eterična ulja mente, bergamota i čajevca) u koncentraciji 0,20 % nakon 24, 48, 72 i 96 h temperiranja pri 98 °C. Dvofaktorska analiza varijance pokazala je da su vrijeme uzorkovanja i vrsta dodanih antioksidansa, kao i njihova međusobna interakcija, statistički značajno utjecali na vrijednosti peroksidnog broja kod uzoraka pileće masti ($p < 0,05$).

Rezultati u tablici 3 pokazuju da se vrijednost peroksidnog broja kod pileće masti povećala nakon tretmana od 24 h i iznosila je 20,95 mmol O_2 kg^{-1} do 121,40 mmol O_2 kg^{-1} do 96 h provedbe testa. Nakon tretmana od 24 h dodatkom sintetskog antioksidansa PG-a postignuta je najveća učinkovitost zaštite pileće masti, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 4,37 mmol O_2 kg^{-1}. Također, primjenom BHA-a i BHT-a postignuta je učinkovita zaštita masti, pri čemu su vrijednosti peroksidnog broja iznosile 11,82 mmol O_2 kg^{-1}, odnosno 9,65 mmol O_2 kg^{-1}. U usporedbi s kontrolnim uzorkom dodatkom ispitivanih prirodnih antioksidansa dobiveni su uglavnom pozitivni rezultati, uz iznimku uzorka s dodatkom eteričnog ulja mente (0,20 %). Dodatkom eteričnog ulja čajevca postignut je najveći učinak zaštite pileće masti od oksidacijskog kvarenja, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 14,39 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon tretmana od 48 h usporedbom rezultata u tablici 3 može se vidjeti da su sintetski antioksidans PG (0,01 %) i eterično ulje bergamota (0,20 %) dali najbolje rezultate 48 h nakon provedbe testa održivosti te da je u ovom slučaju veću učinkovitost zaštite imao sintetski antioksidans. Nakon tretmana od 72 h dodatkom sintetskog antioksidansa PG-a postignuta je najveća učinkovitost zaštite pileće masti, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 13,73 mmol O_2 kg^{-1}. U usporedbi s kontrolnim uzorkom dodatkom ispitivanih prirodnih antioksidansa dobiveni su negativni rezultati, pri čemu pileća mast nije zaštićena od oksidacijskog kvarenja, odnosno svi prirodni antioksidansi djelovali su kao prooksidansi, nakon 72 h provedbe testa održivosti. Dodatak eteričnog ulja bergamota (0,20 %) najmanje je ubrzalo oksidacijske procese u masti, a najveća vrijednost peroksidnog broja bila je s dodatkom eteričnog ulja čajevca i to 102,96 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon

96 h provedbe testa sintetski antioksidansi dali su bolje rezultate, među kojima se najviše izdvaja PG (0,01 %). Što se tiče prirodnih antioksidansa, najbolje je djelovalo eterično ulje bergamota (0,20 %). Uočen prooksidacijski učinak eteričnih ulja nakon 72 h može se objasniti termičkom degradacijom njihovih hlapljivih i osjetljivih komponenti te nastankom oksidacijskih produkata koji mogu djelovati prooksidacijski. Međutim, nakon 96 h dolazi do relativnog smanjenja peroksidnog broja u odnosu na kontrolu, što se može pripisati djelovanju preostalih stabilnijih komponenti eteričnih ulja, ali i intenzivnijem napredovanju oksidacije u kontrolnom uzorku. Takav vremenski ovisan učinak ukazuje na složenu ulogu eteričnih ulja u lipidnim sustavima pri povišenim temperaturama, gdje mogu pokazivati i prooksidacijska i antioksidacijska svojstva ovisno o uvjetima i trajanju tretmana. Istraživanje *Moslavac i sur.*[30] pokazalo je da prirodni i sintetski antioksidansi znatno utječu na oksidacijsku stabilnost pileće masti. Sintetski antioksidans TBHQ pokazao je najbolju učinkovitost (Pbr 1,00 mmol O_2 kg^{-1}), dok je među prirodnim najučinkovitiji bio ekstrakt ružmarina (Pbr 1,05 mmol O_2 kg^{-1}), a kombinacije poput zelenog čaja i kofeinske kiseline imale su sinergistički učinak. Nasuprot tome, α-tokoferol i mješavina tokoferola pokazali su slab učinak, čak i lošiji od kontrolnog uzorka. Slični rezultati zabilježeni su i u ovom radu, s obzirom na to da su se bolje pokazali sintetski antioksidansi od prirodnih.

U tablici 4 prikazane su vrijednosti peroksidnog broja za ispitivani uzorak svinjske masti bez dodatka i s dodatkom sintetskih antioksidansa (BHA, BHT i PG) u koncentraciji 0,01 % i prirodnih antioksidansa (mente, bergamota i čajevca) u koncentraciji 0,20 %, nakon 24, 48, 72 i 96 h temperiranja pri 98 °C. Dvofaktorska analiza varijance pokazala je da vrijeme uzorkovanja i vrsta dodanih antioksidansa, kao i njihova međusobna interakcija, statistički značajno utječu na vrijednosti peroksidnog broja kod uzoraka svinjske masti ($p < 0,05$).

Na temelju rezultata iz tablice 4 može se vidjeti da je došlo do promjene oksidacijske stabilnosti svinjske masti bez dodataka antioksidansa (kontrolni uzorak) nakon 96 h provedbe testa održivosti pri temperaturi 98 °C. Vrijednost peroksidnog broja se postupno povećavala, pa je nakon tretmana od 24 h iznosila 25,24 mmol O_2 kg^{-1}, nakon 48 h je iznosila 78,25 mmol O_2 kg^{-1}, nakon 72 h iznosila je 82,13 mmol O_2 kg^{-1} i nakon 96 h provedbe testa održivosti vrijednosti peroksidnog broja iznosila je 89,75 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon tretmana od 24 h dodatkom sintetskog antioksidansa PG-a (0,01 %) postignuta je najveća učinkovitost zaštite svinjske masti, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 0,99 mmol O_2 kg^{-1}. Također, primjenom BHA-a i BHT-a postignuta je učinkovita zaštita masti, pri čemu su vrijednosti peroksidnog broja iznosile 4,76 mmol O_2 kg^{-1}, odnosno 2,99 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon tretmana od 24 h, u usproedbi s kontrolnim uzorkom, dodatkom ispitivanih prirodnih antioksidansa dobiveni su pozitivni rezultati, pri čemu je svinjska mast dobro zaštićena od oksidacijskog kvarenja, nakon 24 h provedbe testa održivosti. Dodatkom eteričnog ulja mente (0,20 %), postignuti su najbolji rezultati, te je vrijednost peroksidnog broja iznosila 16,83 mmol O_2 kg^{-1}, slične vrijednosti imao je uzorak masti s dodatkom eteričnog ulja bergamota (0,20 %) i to 16,92 mmol O_2 kg^{-1}. Također, eterično ulje čajevca je imalo antioksidativno djelovanje, te je vrijednost peroksidnog broja iznosila 19,31 mmol O_2 kg^{-1}. Nakon tretmana od 48 h dodatkom sintetskog antioksidansa PG-a (0,01 %) postignuta je najveća učinkovitost zaštite svinjske masti, pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 5,75 mmol O_2 kg^{-1}, a od prirodnih antioksidansa najbolje djelovanje imalo je eterično ulje čajevca (45,57 mmol O_2 kg^{-1}). Nakon tretmana od 72 h utvrđena je veoma dobra zaštita od oksidacijskog kvarenja dodatkom sintetskog antioksidansa BHA-a (0,01 %), pri čemu je vrijednost peroksidnog broja iznosila 15,50 mmol O_2 kg^{-1}. Također, primjenom BHT-a i PG-a

Tablica 4 – Prosječne vrijednosti peroksidnog broja svinjske masti ± SD u različitim vremenskim intervalima bez i s dodatkom sintetskih i prirodnih antioksidansa

Table 4 – Average peroxide values of pork fat ± SD at different time intervals with and without the addition of synthetic and natural antioxidants

Uzorak/ Sample	Udio/% Content/%	Peroksidni broj/mmol O_2 kg^{-1} Peroxide value/mmol O_2 kg^{-1}				
		0 h	24 h	48 h	72 h	96 h
Kontrolni uzorak Control sample	–	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$25,24^{Fb}\pm0,34$	$78,25^{Gc}\pm0,35$	$82,13^{Fd}\pm0,35$	$89,75^{De}\pm0,35$
BHT/BHT	0,01	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$2,99^{Bb}\pm0,02$	$35,15^{Cc}\pm0,70$	$77,00^{Ed}\pm0,00$	$104,75^{Fe}\pm0,35$
BHA/BHA	0,01	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$4,76^{Cb}\pm0,06$	$9,05^{Bc}\pm0,00$	$15,50^{Ad}\pm0,00$	$20,00^{Ae}\pm0,00$
PG/PG	0,01	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$5,75^{Ab}\pm0,35$	$44,25^{Bc}\pm0,35$	$64,75^{Bd}\pm0,35$
Menta/Mint	0,20	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$16,83^{Db}\pm0,24$	$51,00^{Fc}\pm0,01$	$68,75^{Dd}\pm0,35$	$99,75^{Fe}\pm0,35$
Bergamot/Bergamot	0,20	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$16,92^{Db}\pm0,12$	$47,76^{Ec}\pm0,37$	$76,25^{Ed}\pm0,35$	$79,63^{Ce}\pm0,18$
Čajevac/Tea tree	0,20	$0,99^{Aa}\pm0,01$	$19,31^{Eb}\pm0,27$	$45,57^{Dc}\pm0,03$	$63,25^{Cd}\pm0,35$	$110,95^{Ge}\pm0,78$

A-F Različita velika slova u kolonama pokazuju statistički značajne razlike u vrijednostima peroksidnog broja u pogledu antioksidansa dodanih svinjskoj masti.
a-e Različita mala slova u redovima pokazuju statistički značajne razlike u vrijednostima peroksidnog broja u pogledu vremenskog intervala (0 – 96 h).
A-H Different capital letters in columns indicate statistically significant differences in peroxide value regarding antioxidants added to pork fat.
a-e Different lowercase letters in rows indicate statistically significant differences in peroxide value regarding the sampling time interval (0–96 h).

postignuta je učinkovita zaštita masti, pri čemu su vrijednosti peroksidnog broja iznosile 77,00 mmol O_2 kg^{-1}, odnosno 44,25 mmol O_2 kg^{-1}. Od prirodnih antioksidansa, dodatkom eteričnog ulja čajevca (0,20 %), postignuti su najbolji rezultati, te je vrijednost peroksidnog broja iznosila 63,25 mmol O_2 kg^{-1}, nešto više vrijednosti peroksidnog broja je imao uzorak masti s dodatkom eteričnog ulja mente (0,20 %) i to 68,75 mmol O_2 kg^{-1}. Prirodni i sintetski antioksidansi djelovali su pozitivno, odnosno usporili su oksidacijsko kvarenje svinjske masti. Među sintetskim antioksidansima najbolje se pokazao BHA (0,01 %), dok je među prirodnim antioksidansima bilo eterično ulje čajevca (0,20 %). Nakon tretmana od 96 h, u usporedbi s kontrolnim uzorkom, sintetski antioksidans BHT, koji je u ovom slučaju djelovao prooksidativno, odnosno znatno je ubrzao kvarenje svinjske masti, dok je s dodatkom BHA-a (0,01 %) postignuta najveća učinkovitost zaštite svinjske masti (20,00 mmol O_2 kg^{-1}). U usporedbi s kontrolnim uzorkom iznimku predstavlja uzorak svinjske masti s dodatkom eteričnog ulja bergamota koji je djelovao antioksidativno, odnosno usporio je oksidacijsko kvarenje masti (79,63 mmol O_2 kg^{-1}). Sintetski antioksidansi imali su bolje antioksidativno djelovanje u odnosu na prirodne, odnosno usporili su oksidacijsko kvarenje svinjske masti. Među sintetskim antioksidansima najbolje se pokazao BHA (0,01 %), dok je među prirodnim antioksidansima pozitivno djelovalo samo eterično ulje bergamota (0,20 %). U istraživanju *Moslavac i sur.*[18] ispitivan je utjecaj različitih prirodnih i sintetskih antioksidansa na oksidacijsku stabilnost svinjske masti. Rezultati su pokazali da većina dodataka usporava oksidaciju, pri čemu je ekstrakt ružmarina Oxy'Less CS imao najbolji učinak među prirodnim antioksidansima (Pbr 2,17 mmol O_2 kg^{-1}). Dobar rezultat postigla je i mješavina tokoferola (7,35 mmol O_2 kg^{-1}), alfa tokoferol pokazao je slabiju aktivnost (9,66 mmol O_2 kg^{-1}), a ekstrakt maslinove komine čak prooksidacijsko djelovanje (17,86 mmol O_2 kg^{-1}). Od sintetskih antioksidansa propil galat (2,68 mmol O_2 kg^{-1}) pokazao je veću učinkovitost od BHA (4,45 mmol O_2 kg^{-1}), a oba su znatno smanjila oksidaciju u usporedbi s kontrolnim uzorkom. Također, i u ovom radu je utvrđeno da većina antioksidansa usporava oksidaciju svinjske masti te su se najbolje pokazali sintetski antioksidansi, odnosno BHA i PG.

4. Zaključak

Analizom sastava masnih kiselina animalnih masti različitih grupa utvrđeno je da pileća mast ima bolji masnokiselinski sastav i odnos masnih kiselina unutar kompariranih grupa u odnosu na svinjsku i kozju mast. U usporedbi sa svinjskom i kozjom masti pileća mast izdvojila se kao nutritivno najpovoljnija, jer je imala najvišu vrijednost odnosa PUFA/SFA, najniže vrijednosti AI i TI te najviši HH indeks. Na temelju dobivenih rezultata može se konstatirati da upotrijebljeni prirodni (eterična ulja) i sintetski antioksidansi povoljno djeluju u pogledu zaštite, odnosno poboljšanja održivosti animalnih masti unatoč izloženosti visokoj temperaturi (98 °C) u vremenskom intervalu od 96 h. Analize rađene na uzorcima s dodatkom prirodnih i sintetskih antioksidansa pokazale su da je moguće učinkovito zaštiti animalne masti od oksidacijskog kvarenja. Veću učinkovitost zaštite pokazali su sintetski antioksidansi. Ipak, imajući u vidu moguće negativne učinke sintetskih aditiva na zdravlje, preporučuje se daljnje istraživanje prirodnih antioksidansa s ciljem povećanja trajnosti i očuvanja nutritivnih svojstava animalnih masti. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da eterična ulja u ispitivanoj koncentraciji (0,20 %) ne osiguravaju zadovoljavajuću oksidacijsku stabilnost animalnih masti pri povišenoj temperaturi (98 °C), osobito u usporedbi sa sintetskim antioksidansima. Uočen vremenski ovisan učinak, pri kojem eterična ulja u određenim fazama pokazuju i prooksidacijska svojstva, ukazuje na njihovu ograničenu stabilnost i složeno djelovanje u uvjetima termičkog stresa. Iako bi povećanje koncentracije eteričnih ulja moglo doprinijeti boljoj antioksidativnoj učinkovitosti, takav pristup je ograničen mogućim negativnim utjecajem na senzorska svojstva proizvoda (izražen miris i okus), kao i potencijalnim sigurnosnim aspektima njihove primjene u prehrani. Stoga se primjena viših koncentracija treba pažljivo razmotriti. Buduća istraživanja trebala bi biti usmjerena na ispitivanje optimalnih koncentracija eteričnih ulja u kombinaciji s drugim prirodnim ili sintetskim antioksidansima, kao i na proučavanje njihove učinkovitosti pri nižim temperaturama i u različitim lipidnim sustavima. Također, preporučuje se detaljnija analiza promjena kemijskog sastava eteričnih ulja tijekom termičke obrade da bi se bolje razumjeli mehanizmi njihova antioksidacijskog i prooksidacijskog djelovanja. Također, buduća istraživanja trebaju biti usmjerena na detaljniju analizu interakcije sastava masnih kiselina i antioksidativnih spojeva, kao i na utjecaj različitih proizvodnih i skladišnih uvjeta na kvalitetu i stabilnost masti, da bi se osigurala njihova sigurnost i funkcionalnost u prehrambenoj industriji i ljudskoj ishrani.

Literatura
References

1. *S. Čorbo*, Tehnologija ulja i masti, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu, BiH, 2008.
2. *T. Moslavac, S. Jokić, D. Šubarić, J. Babić, A. Jozinović, Š. Grgić, A. Mrgan*, Utjecaj dodatka antioksidanasa na oksidacijsku stabilnost goveđeg loja, MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu **21** (1) (2019) 52–61.
3. *T. Moslavac, S. Jokić, I. Flanjak,* Stabilizacija guščje masti s antioksidansima i sinergistima, MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu **24** (5) (2022) 436–446.
4. *D. Cautela, A. Pastore, G. Ferrari, B. Laratta, N. D'Onofrio, M. L. Balestrieri, A. Casaburi, P. Ferranti, D. Castaldo*, Global warming threatens the world production of bergamot essential oil, Industrial Crops and Products **172** (2021) 113986, doi: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113986.
5. *M. Navarra, C. Mannucci, M. Delbò, G. Calapai*, *Citrus bergamia* essential oil: from basic research to clinical application, Front. Pharmacol. **6** (36) (2015) 1–7, doi: https://doi.org/10.3389/fphar.2015.00036.
6. *N. Hudz, L. Kobylinska, K. Pokajewicz, V. Horčinová Sedláčková, R. Fedin, M. Voloshyn, J. Wojnarowicz, R. Cierpiszewski, J. Lipok, Mentha piperita*: Essential oil and extracts, their biological activities, and perspectives on the development of new medicinal and cosmetic products, Molecules **28** (21) (2023) 7444, doi: https://doi.org/10.3390/molecules28217444.
7. *P. Borotová, L. Galovičová, N. L. Vuković, M. Vukić, E. Tvrdá, M. Kačániová*, Chemical and biological characterization of

Melaleuca alternifolia essential oil, Plants **11** (4) (2022) 558, doi: https://doi.org/10.3390/plants11040558.

8. *ISO 5508,* International standard of animal and vegetable oils and fats, Animal and vegetable fats and oils – Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids, Geneve, Switzerland, 1990.
9. *ISO 12966-1,* International standard of animal and vegetable oils and fats, Animal and vegetable fats and oils – Gas chromatography of fatty acid methyl esters, Geneve, Switzerland, 2015.
10. *R. D. C. A. Guimarães, M. L. R. Macedo, C. L. Munhoz, W. Filiu, L. H. Viana, V. T. Nozaki, P. A. Hiane,* Sesame and flaxseed oil: nutritional quality and effects on serum lipids and glucose in rats, Food Sci. Technol. **33** (1) (2013) 209–217, doi: https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000100030.
11. *J. Pokorny, S. Dobiasova, J. Davidek,* Repeatability of the determination of oxidative stability of vegetable oils using the Schaal oven test, Scientific papers of the Prague Institute of Chemical Technology, vol. **58**, 1985, pp. 163–173.
12. *ISO 3960*, International standard of animal and vegetable oils and fats: Determination of peroxide value, Geneva, Switzerland, 2017.
13. Ø. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan, PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis, Palaeontol. Electron. **4** (1) (2001) 1–9.
14. *A. Jusupović, S. Čorbo, B. Rabrenović, M. Begić,* The effect of antioxidants on the quality and oxidative stability of animal fats, MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu **25** (3) (2023) 205–218.
15. *M. T. Yılmaz, M. Karakaya*, Differential Scanning Calorimetry Analysis of Goat Fats: Comparison of Chemical Composition and Thermal Properties, J. Am. Oil Chem. Soc. **86** (9) (2009) 877–888, doi: https://doi.org/10.1007/s11746-009-1420-5.
16. *K. S. Rhee, D. F. Waldron, Y. A. Ziprin, K. C. Rhee,* Fatty acid composition of goat diets vs intramuscular fat, Meat Sci. **54** (4) (2000) 313–318, doi: https://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00094-7.
17. *R. Niedziółka, K. Pieniak-Lendzion, E. Horoszewicz,* Comparison of the chemical composition and fatty acids of the intramuscular fat of goat kid and ram lambs meat, EJPAU **8** (3) (2005) 11, url: http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue3/art-11.html.
18. *T. Moslavac, S. Jokić, D. Šubarić, K. Aladić,* Utjecaj antioksidanasa na oksidacijsku stabilnost svinjske masti, MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu **20** (4) (2018) 317–324.
19. *M. Šahović, S. Čorbo, B. Rabrenović, H. Omanović, M. Begić*, Utjecaj antioksidanasa na kvalitetu i oksidacijsku stabilnost masti peradi, MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu **27** (1) (2025) 59–73.
20. *N. N. A. Nizar, J. M. N. Marikkar, D. M. Hashim,* Differentiation of lard, chicken fat, beef fat and mutton fat by GCMS and EA-IRMS techniques, J. Oleo Sci. **62** (7) (2013) 459–464, doi: https://doi.org/10.5650/jos.62.459.
21. *D. Belichovska, Z. Pejkovski, A. S. Nikolova, K. Belichovska, R. Nastova, N. Gjorgovska,* Chemical and fatty acid composition of poultry meat and pork fatback as a raw material for the production of frankfurters, Maced. J. Anim. Sci. **10** (1-2) (2020) 23–28, doi: https://doi.org/10.54865/mjas20101-2023b.
22. *N. Warnants, M. V.Oeckel, M. D. Paepe,* Fat in pork: image, dietary modification and pork quality, Pig News Inf. **22** (4) (2001) 107–113.
23. *C. Laslo, F. Pop,* The study of chemical composition for animal fats during storage, Carpath. J. Food Sci. Technol. **1** (2) (2009) 1–10.
24. *H. Omanović, S. Čorbo, M. Begić, M. Brka, E. Mujić,* Proizvodnja i kvalitet mesa i prerađevina, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu, BiH, 2024.
25. *UK Department of Health*, Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report on Health and Social Subject No. 46, 1994, Her Majestys Stationery Office, London.
26. *J. D. Wood, R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, E. Kasapidou, P. R. Sheard, M. Enser,* Effects of fatty acids on meat quality: a review, Meat Sci. **66** (1) (2004) 21–32, doi: https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6.
27. *J. D. Wood, M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes, F. M. Whittington,* Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review, Meat Sci. **78** (4) (2008) 343–358, doi: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019.
28. *J. Chen, H. Liu,* Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini review, Int. J. Mol. Sci. **21** (16) (2020) 5695, doi: https://doi.org/10.3390/ijms21165695.
29. *S. Yurchenko, A. Sats, V. Tatar, T. Kaart, H. Mootse, I. Joudu,* Fatty acid profile of milk from Saanen and Swedish Landrace goats, Food Chem. **254** (2018) 326–332, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.041.
30. *T. Moslavac, S. Jokić, I. Flanjak, L. Primorac, M. Cvijetić Stokanović, J. Mutić,* Utjecaj dodatka antioksidanasa na oksidacijsku stabilnost pileće masti, MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu **23** (5) (2021) 400–410.

SUMMARY

Determination of the Fatty Acid Composition and Oxidative Stability of Animal Fats from Different Groups

Munevera Begić,[a*] *Kerim Fočo*,[a] *Lejla Biber*,[a] *Adna Hadžimurtezić*,[a] *Biljana Rabrenović*,[b] and *Selma Čorbo* [a]

Animal fats represent a significant source of energy and essential fatty acids in human nutrition, but they are also susceptible to oxidative changes that can affect the nutritional and sensory quality of the product. Fatty acid composition and oxidative stability of goat, pork, and chicken fats obtained by dry rendering of adipose tissue were examined. Control fat samples without the addition of antioxidants, were analysed for fatty acid composition and nutritional indices (PUFA/SFA, AI, TI, HH). The results showed that goat fat had the highest proportion of saturated fatty acids (59.57 %), while chicken fat was richest in unsaturated fatty acids (73.01 %), which was reflected in the nutritional indices. The most favourable values were observed for chicken fat (PUFA/SFA = 1.24; AI = 0.32; TI = 0.73; HH = 3.14). To improve oxidative stability, the effects of natural antioxidants (essential oils of mint, tea tree, and bergamot at 0.20 % concentration) and synthetic antioxidants (BHA, BHT, and PG at 0.01 % concentration) were examined. Oxidative stability was monitored using the Schaal-Oven test over a period of 96 h. The results showed that both natural and synthetic antioxidants acted selectively in reducing oxidative deterioration of the examined fats. Synthetic antioxidants proved more effective than natural ones, with PG showing the highest efficacy in goat and chicken fats, while BHA gave the best results in pork fat. In contrast, BHT exhibited prooxidative activity in pork fat. Among the natural antioxidants, bergamot essential oil demonstrated the best protective role in chicken and pork fats, while mint essential oil was most effective in goat fat. The results of this study may serve as a basis for further research aimed at improving the oxidative stability and shelf life of animal fats, and optimising their application in the food industry.

Keywords
Animal fats, oxidative stability, antioxidants, Schaal-Oven test

[a] *Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Sarajevo, Zmaja od Bosne 8, 71 000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina*
[b] *Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Nemanjina 6, 11 080 Belgrade, Serbia*

Original scientific paper
Received February 28, 2026
Accepted April 14, 2026