

Ispitivanje kvalitete ulja različitih orašastih plodova

A. Rizvan,* S. Čorbo i M. Begić

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

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



Sažetak

Hladno prešana ulja orašastih plodova jedna su od najkvalitetnijih i najboljih ulja za ljudsku ishranu. Karakterizira ih ugodan okus i miris, kao i dobra stabilnost. Na uzorcima hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema koji su se pripremali u laboratorijskim uvjetima na ručnoj preši izvršena je analiza sastava masnih kiselina, nutritivnih indeksa, sadržaja slobodnih masnih kiselina, peroksidnog broja, sadržaja vlage i netopljivih nečistoća. Analizom sastava masnih kiselina utvrđeno je da su nezasićene masne kiseline (UFA) bile dominantne u sva tri ispitivana uzorka u odnosu na zasićene masne kiseline (SFA). Najviši sadržaj UFA zabilježen je kod ulja badema (90,30 %), dok je najniži kod ulja oraha (85,00 %). Najveći sadržaj mononezasićenih masnih kiselina (MUFA) utvrđen je kod ulja lješnjaka (75,40 %), dok najniži u ulju oraha (19,20 %). Iz grupe MUFA najzastupljenija je bila oleinska masna kiselina i to kod lješnjakova ulja (75,00 %). Najveći sadržaj polinezasićenih masnih kiselina (PUFA) zabilježen je kod orahova ulja (65,80 %). Iz grupe PUFA najzastupljenija je bila linolna masna kiselina i to kod orahova ulja (49,00 %). Najviši sadržaj SFA utvrđen je kod ulja oraha (15,00 %), a najmanji kod ulja badema (9,70 %). Od SFA utvrđen je najveći sadržaj palmitinske masne kiseline kod orahova ulja (10,00 %) i stearinske masne kiseline, koja je kod orahova i lješnjakova ulja iznosila 3,50 %. Na osnovu vrijednosti nutritivnih indeksa, ulje lješnjaka nutritivno je najprihvatljivije s najboljim masnokiselinskim sastavom, jer su kod njega utvrđene niske vrijednosti AI (aterogenog) i TI (trombogenog) indeksa, kao i najveće vrijednosti HH (hipokolesterolskog/hiperkolesterolskog) indeksa. Najveći sadržaj slobodnih masnih kiselina zabilježen je kod lješnjakova ulja s vrijednošću 1,01 %.

Ključne riječi

Ulja orašastih plodova, kvaliteta ulja, masne kiseline, nutritivna vrijednost

1. Uvod

Hladno prešanje je proces ekstrakcije ulja bez upotrebe temperature, što omogućava zadržavanje nutritivno važnih komponenti u ulju. Takav proces sve se više primjenjuje u industriji, jer omogućava zadržavanje visoke kvalitete ulja. Zbog načina proizvodnje hladno prešanih ulja karakterizira ih dugotrajnost za razliku od ulja proizvedenih pod utjecajem topline. Sa senzorne točke gledišta hladno prešana ulja vrijede za senzorno dopadljivija ulja, s intenzivnijim mirisom i okusom. Proces hladnog prešanja osigurava maksimalno zadržavanje bioaktivnih spojeva, kao što su esencijalne masne kiseline, fenoli i flavonoidi, tokoferoli itd.¹ Ulja orašastih plodova prirodni su izvor masnih kiselina, uključujući nezasićene masne kiseline koje igraju važnu ulogu u pravilnom funkcioniranju ljudskog organizma.² Orah (*Juglans regia* L.) jedna je od najvažnijih voćki koja se rabi za proizvodnju ulja zbog svojih iznimnih nutritivnih svojstava. Orahovo ulje bogato je nezasićenim masnim kiselinama, uključujući alfa-linolensku kiselinu (omega-3) i linolnu kiselinu (omega-6), koje su esencijalne za ljudsko zdravlje. Omega-3 masne kiseline poznate su po svojim protuupalnim svojstvima i njihovom pozitivnom utjecaju na kardiovaskularni sustav. Pored masnih kiselina, orahovo ulje sadrži i znatne količine vitamina E, koji je snažan antioksidans, kao i druge bioaktivne spojeve poput polifenola, koji doprinose njegovim antioksidativnim svojstvima.³ Kemijski sastav orahova ulja predstavljaju i karotenoidi, biološki aktivni spojevi, vitamini topljivi u mastima, makro

i mikronutrijenti (Zn, Cu, I, Ca, Mg, Fe, P, Co)⁴. Lješnjak (*Corylus avellana*) je voćka koja se uzgaja zbog svojih jestivih sjemenki, koje su cijenjene zbog bogatog nutritivnog sastava i svestrane primjene. Lješnjaci su poznati po visokom sadržaju mononezasićenih masnih kiselina, proteina, vlakana, vitamina E te drugih vitamina i minerala.⁵ To je ulje bogato mononezasićenim masnim kiselinama, vitaminom E i drugim antioksidansima, što ga čini korisnim za prehrambenu i kozmetičku industriju.⁵ Lješnjakovo ulje poznato je po visokom sadržaju oleinske kiseline (omega-9), koja čini oko 80 % ukupnog sastava masnih kiselina. Pored oleinske kiseline, ulje sadrži i linolnu kiselinu (omega-6), koja je važna za održavanje zdrave kože i kose. Visoka koncentracija vitamina E u lješnjakovu ulju pruža snažnu antioksidativnu zaštitu, štiteći ćelije od oksidativnog stresa i smanjujući rizik od kroničnih bolesti.⁶ Druga važna komponenta ulja lješnjaka je sterol. U uljima lješnjaka na bazi sterola, β -sitosterol je glavna komponenta, a slijede kampesterol, Δ 5-avenasterol i stigmasterol.⁷ Badem (*Prunus dulcis*) je voćka koja pripada porodici Rosaceae i porijeklom je iz Sredozemlja i Bliskog Istoka. Danas se badem uzgaja širom svijeta, posebno u područjima s toplom i suhom klimom, kao što su Kalifornija, Španjolska i Italija. Bademi su poznati po svojoj visokoj nutritivnoj vrijednosti i svestranoj upotrebi, kako u prehrambenoj industriji tako i u kozmetici i farmaciji.⁸ Hladno prešano bademovo ulje ima blagi orašasti okus i svijetložutu boju te se upotrebljava u prehrambenoj, kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji.⁸ Bademovo ulje bogato je mononezasićenim masnim kiselinama, posebno oleinskom kiselinom (omega-9), koja čini oko 70 % ukupnog sadržaja masnih kiselina u ulju. Također, sadrži

* Autor za dopisivanje: Ajla Rizvan, BA prehrambene tehnologije
E-pošta: ajla.rizvan@ppf.unsa.ba

linolnu kiselinu (omega-6), koja je važna za održavanje zdrave kože i kose. Bademovo ulje bogato je vitaminom E, koji djeluje kao snažan antioksidans, štiteći stanice od oksidativnog stresa i pomažući u regeneraciji kože.⁹ Također, dobar je prehrambeni izvor antioksidansa, kao što su tokoferoli, polifenoli i flavonoidi.¹⁰ Na tržištu Bosne i Hercegovine (BiH) na policama se mogu pronaći hladno prešana ulja orašastih plodova. Proizvodnja orašastih plodova u BiH osigurava tek 10 % potreba tržišta. Mnogi proizvođači su uvidjeli dobru mogućnost zarade na uzgoju i prerađivanju orašastih plodova, te se odlučuju na podizanje zasada. Posljednjih godina u BiH proizvodnja orašastih plodova je u porastu i sve je veći broj njihovih plantaža. Proizvodnja oraha u BiH karakterizira područje Krajine, Jablanice i Srebrenice, a sorte koje se uzgajaju su Gajzenhajm-139, Franket i Novosadski rani. Proizvodnja lješnjaka karakterizira područje Banje Luke i šire područje Bosne, a sorte koje se uzgajaju su Istarski dugi i Tonda gentile. Proizvodnja badema u BiH karakteristična je za područje sjeverne Hercegovine, a sorte koje se uzgajaju su Feranjež, Tuono i Genko. Posebna prednost uzgoja orašastih plodova je čuvanje na suhom prostoru i do godinu dana bez promjena kvalitete. Veća proizvodnja orašastih plodova na području BiH pruža mogućnost proizvodnje i povećanja asortimana hladno prešanih ulja orašastih plodova, koji su danas sve više traženi. Shodno navedenom, cilj ovog istraživanja bio je ispitati kvalitetu i nutritivnu vrijednost masnih kiselina hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema prešanih u laboratorijskim uvjetima od plodova uzgojenih u BiH.

2. Eksperimentalni dio

2.1. Materijali

Za eksperimentalni dio rada upotrijebljena su tri uzorka hladno prešanog ulja od orašastih plodova, i to oraha, lješnjaka i badema. Orašasti plodovi upotrijebljeni za cijeđenje i dobivanje ulja nabavljeni su na tržištu Kantona Sarajevo, a uzgojeni su na području BiH. Upotrijebljeni plodovi oraha potječu s područja Krajine od sorte Gajzenhajm-139, lješnjaka s područja Republike Srpske od sorte Istarski dugi, a badema s područja sjeverne Hercegovine od sorte Feranjež. Cijeli plodovi cijeđeni su na laboratorijskoj ručnoj pužnoj presi (Piteba, Nizozemska). Nakon cijeđenja dobivena su tri proizvoda: sirovo ulje, uljni talog i uljana pogača.

2.2. Metode

S ciljem ispitivanja kvalitete ulja oraha, badema i lješnjaka te njihove identifikacije na osnovi sastava masnih kiselina u svim ispitivanim uzorcima na početku tj. neposredno nakon prešanja, određen je sastav zasićenih i nezasićenih masnih kiselina uz prethodnu pripremu uzoraka, tj. saponifikacijom i esterifikacijom masnih kiselina očitanih plinsko-tekućinskom kromatografijom. Pojedinačne identifikirane masne kiseline određene su pomoću standarda posebno za svako ulje. Rezultati su izraženi u postocima pojedinačnih kiselina, a prikazani su kao odnos ukupnih SFA, UFA, MUFA i PUFA. Također, na osnovi pojedinačnih i ukupnih zasićenih i nezasićenih kiselina, izračunati su

nutritivni indeksi. Sva laboratorijska ispitivanja provedena su u Tehnološkom laboratoriju Poljoprivredno-prehrambenog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, osim analize sastava masnih kiselina, koja je provedena u Laboratoriju Zavoda za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine. Određivanje sastava masnih kiselina provedeno je na plinskom kromatografu GC/MS uz upotrebu instrumenta Hewlett Packard 6890 II, sa selektivnim masenim detektorom (MSD) 6890 II.¹¹ Na osnovi sastava masnih kiselina proveden je proračun nutritivnih indeksa masti (aterogeni indeks (AI), trombogeni indeks (TI), kao i hipokolesterolski/hiperkolesterolski indeks (HH)).¹² Sadržaj slobodnih masnih kiselina određen je standardnom titracijskom metodom ISO 660:2020,¹³ vrijednosti peroksidnog broja metodom po Wheeleru ISO 3960:2017,¹⁴ sadržaj vlage metodom sušenja ISO 662:2016,¹⁵ a sadržaj netopljivih nečistoća standardnom metodom ISO 663:2017.¹⁶

2.3. Statistička analiza

Statistička obrada podataka provedena je primjenom programa Past 3.15.¹⁷ Da bi se utvrdila statistički značajna razlika u vrijednostima ispitivanih parametara između različitih vrsta ulja, primijenjena je jednofaktorska analiza varijance, a u slučaju utvrđivanja statistički značajnih razlika primijenjen je Tukey *post-hoc* test (razina značajnosti 0,05). Također, primijenjena je analiza glavnih komponenti. Osnovne komponente trebaju objasniti varijabilnost podataka i vizualno prikazati povezanosti uzoraka unutar skupa. Drugim riječima, analiza glavnih komponenti treba prikazivati korelacijske veze unutar mjerenih parametara i na osnovi njih predstaviti prikaz raspodjele modaliteta svakog od ispitivanih uzoraka.

3. Rezultati i rasprava

Rezultati za pojedinačne zasićene i nezasićene masne kiseline kod hladno prešanih ulja oraha, badema i lješnjaka prikazani su u tablici 1. Masne kiseline neuobičajene strukture, koje su također identificirane, ali s vrlo niskim postotnim vrijednostima i to za neke od SFA od 0,10 % do 5,50 %, uvrštene su u ukupan zbir prilikom izračunavanja SFA, UFA, MUFA i PUFA kiselina. Masne kiseline koje su znatno zastupljene u ispitivanim uzorcima hladno prešanih ulja i one koje su nužne za izračunavanje nutritivnih indeksa, bez obzira na to što su prisutne u vrlo malim vrijednostima, također su navedene u tablici 1. Rezultati u navedenoj tablici pokazuju da su nezasićene masne kiseline kod svih ispitivanih uzoraka ulja zastupljenije u odnosu na zasićene. Iz grupe nezasićenih masnih kiselina, PUFA kiseline više su zastupljene kod ulja oraha (65,80 %), dok su MUFA kiseline manje prisutne u ulju lješnjaka (75,40 %) i badema (64,90 %). Ukupne SFA kiseline najzastupljenije su kod uzorka ulja oraha (15,00 %), a najmanji sadržaj zabilježen je kod ulja badema (9,70 %). Najveći sadržaj UFA bio je kod ulja badema (90,3 %), a najniži u ulju oraha (85,00 %). Radanović i sur.¹⁸ navode niže vrijednosti u odnosu na navedene rezultate: ukupan sadržaj zasićenih masnih kiselina u ulju oraha bio je od 8,30 do 9,40 %, nezasićenih masnih kiselina 65,1 %, od kojih je najdominantnija oleinska kiselina i to 23,70 %, dok je ukupan sadržaj polinezasi-

Tablica 1 – Sastav pojedinačnih i ukupnih masnih kiselina, odnosi među određenim grupama i nutritivni indeksi kod ispitivanih uzoraka hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema

Table 1 – Composition of individual and total fatty acids, relationships between certain groups, and nutritional indices of the tested samples of cold-pressed walnut, hazelnut, and almond oils

Masne kiseline / % Fatty acids / %	Ulje oraha Walnut oil	Ulje lješnjaka Hazelnut oil	Ulje badema Almond oil
C8:0	0,20	0,10	0,10
C10:0	0,15	0,10	0,10
C12:0	0,10	0,20	0,10
C14:0	0,15	0,20	0,10
C15:0	0,10	0,10	0,10
C16:0	10,50	5,50	7,00
C17:0	0,10	0,10	0,10
C18:0	3,50	3,50	2,00
C20:0	0,20	0,20	0,10
C14:1	0,20	0,10	0,10
C16:1	0,15	0,10	0,50
C17:1	0,25	0,10	0,20
C18:1 n-9	18,50	75,00	64,00
C18:2 n-6	49,00	13,50	25,00
C18:3 n-3	16,50	0,50	0,20
C18:4 n-3	0,10	0,10	0,10
C20:4 n-6	0,20	0,50	0,10
C22:1 n-9	0,10	0,10	0,10
SFA	15,00	10,00	9,70
UFA	85,00	90,00	90,30
MUFA	19,20	75,40	64,90
PUFA	65,80	14,60	25,40
ω -6	49,20	14,00	25,10
ω -3	16,60	0,60	0,30
PUFA/SFA	4,39	1,46	2,62
MUFA/SFA	1,28	7,54	6,69
ω -6/ ω -3	2,96	23,30	83,66
AI	0,131	0,072	0,083
TI	0,168	0,197	0,198
HH	7,91	15,70	12,58

SFA – zasićene masne kiseline; UFA – nezasićene masne kiseline; MUFA – mononezasićene masne kiseline; PUFA – polinezasićene masne kiseline; AI – aterogeni indeks; TI – trombogeni indeks; 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.

ćenih masnih kiselina iznosio 75,70 %, a mononezasićenih 23,90 %. Prema rezultatima Vasiljević,¹⁹ u ulju oraha dobivenom od različitih sorti sadržaj ukupnih zasićenih kiselina (SFA) iznosio je 7,21 %, a od ukupnog sadržaja nezasićenih (UFA) najdominantnije su oleinska (25,26 %) i linolna ki-

selina (57,10 %). Sadržaj polinezasićenih masnih kiselina (PUFA) bio je 70,49 %, dok je sadržaj mononezasićenih masnih kiselina (MUFA) iznosio 22,37 %.

Sastav masnih kiselina u ulju oraha koje vodi porijeklo iz različitih regija Kine sadrži nezasićene masne kiseline od kojih su najzastupljenije linolna (15,01 %) i oleinska kiselina (68,97 %).²⁰ Iz grupe nezasićenih kiselina u ulju oraha najzastupljenije su oleinska i linolna kiselina. Kako navodi Presnec,²¹ sadržaj oleinske kiseline iznosio je od 73,77 do 82,71 % s prosječnom vrijednosti 78,45 %, dok je sadržaj linolne kiseline bio je u rasponu od 5,98 do 15,36 % s prosječnom vrijednosti 10,67 %. Prema rezultatima Mitar,²² u ulju lješnjaka najzastupljenije su oleinska i linolna kiselina. Sadržaj oleinske kiseline iznosi 73,74 %, dok je linolna kiselina znatno manje zastupljena (13,84 %). Kako navode Jakobović i sur.²³, u ulju lješnjaka od MUFA kiselina najzastupljenija je oleinska s 80 %. Različite vrijednosti za pojedinačne i ukupne nezasićene masne kiseline u ulju badema navode i drugi autori: Sathe i sur.²⁴ ukupan sadržaj UFA kiselina iznosi od 91,69 do 93,95 %; Ouzir i sur.²⁵ u svojem radu prikazali su rezultate za nezasićene masne kiseline u bademovu ulju koji iznose 90,20 %; Moayed i sur.²⁶ naveli su da je sadržaj za nezasićene masne kiseline (UFA) od 66,70 do 69,70 %, a da su zasićene masne kiseline (SFA) zastupljene od 7,10 do 9,50 %. Utvrđeni sadržaj nezasićenih masnih kiselina u ulju badema prikazan u tablici 1. (90,30 %) u skladu je s rezultatima radova Sathe i sur.²⁴ (91,69 – 93,95 %) i Ouzir i sur.²⁵ (90,20 %), osim rezultata istraživanja rada Moayed i sur.²⁶ koji se razlikuju (66,70 – 69,70 %). Utvrđeni sadržaj zasićenih masnih kiselina prikazanih u tablici 1 u ulju badema (9,70 %) u skladu je s pronađenom literaturom Moayed i sur.²⁶ (66,70 – 69,70 %). Nutritivna vrijednost izražena odnosom grupa PUFA/SFA u ispitivanim uzorcima ulja bila je u intervalu od 1,46 do 4,39. Najmanja vrijednost zabilježena je kod uzorka ulja lješnjaka (1,46), a najveća kod uzorka oraha (4,39). Prema preporukama UK Department of Health²⁷, Wood i sur.²⁸ i Wood i sur.²⁹, vrijednosti odnosa PUFA/SFA trebale bi biti veće od 0,4 da bi se namirnica deklarirala kao proizvod visoke nutritivne vrijednosti. Shodno navedenom, ispitivani uzorci orašastih ulja mogu se deklarirati kao visoko nutritivni proizvodi. Zdravstveno preporučeni odnos grupa ω -6/ ω -3 masnih kiselina prema Simopoulos³⁰ je 1 : 1 – 4 : 1, prema Simopoulos³¹ oko 4, te prema Wood i sur.²⁸ i Wood i sur.²⁹ ispod 4. Najveća vrijednost odnosa ω -6/ ω -3 zabilježena je za uzorak ulja badema (83,66), a znatno niže vrijednosti zabilježene su za druga dva uzorka (ulje lješnjaka 23,30 i ulje oraha 2,96). U tablici 1 prikazane su vrijednosti aterogenog indeksa (AI), trombogenog (TI) i hipokolesterolskog/hiperkolesterolskog indeksa (HH) analiziranih uzoraka orahova, lješnjakova i bademova ulja. AI se primjenjuje za procjenu aterogenosti namirnice uzimajući u obzir odnos sume SFA, koje se smatraju proaterogenim: laurinska, miristinska i palmitinska uz iznimku stearinske kiseline s jedne strane i sume UFA kiselina za koje se smatra da imaju antiaterogeno djelovanje.³² Konzumacijom namirnica s nižim AI može se smanjiti razina ukupnog i LDL-kolesterola.³³ U ispitivanim uzorcima ulja najvišu vrijednost AI indeksa imao je uzorak oraha s vrijednošću (0,131), a najnižu vrijednost imao je uzorak lješnjaka (0,072). Utvrđene vrijednosti za AI ulja oraha odgovaraju vrijednostima koje navodi Bertek³⁴ (0,93), dok nešto nižu

Tablica 2 – Prosječne vrijednosti sadržaja slobodnih masnih kiselina i peroksidnog broja $\pm$ SD u uzorcima hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema

Table 2 – Average values of free fatty acid content and peroxide value $\pm$ SD in the samples of cold-pressed walnut, hazelnut, and almond oils

Parametar Parameter	Orahovo ulje Walnut oil	Lješnjakovo ulje Hazelnut oil	Bademovo ulje Almond oil
Sadržaj slobodnih masnih kiselina / % oleinske Free fatty acid content / % oleic	0,26 ^a $\pm$ 0,05	1,01 ^b $\pm$ 0,01	0,28 ^a $\pm$ 0,00
Peroksidni broj / mmolO ₂ kg ⁻¹ Peroxide number / mmolO ₂ kg ⁻¹	0,29 ^b $\pm$ 0,10	0,24 ^b $\pm$ 0,01	0,00 ^a $\pm$ 0,00

^{a,b} Različita mala slova u redovima pokazuju statistički značajne razlike u vrijednostima sadržaja slobodnih masnih kiselina i peroksidnog broja ovisno o vrsti ulja.

^{a,b} Different lowercase letters in the rows show statistically significant differences in the values of free fatty acid content and peroxide number depending on the type of oil.

vrijednost za ulje lješnjaka navodi Presnec²¹ (0,67). AI i TI smatraju se faktorima rizika od kardiovaskularnih bolesti. Prema tome, ti indeksi moraju biti niski. AI i TI bili su niži od 1 za bademovo, lješnjakovo i orahovo ulje zbog kardio-protektivnog učinka njihovih PUFA masnih kiselina.¹² Kod proračuna TI uzima se u obzir odnos trombogenih masnih kiselina (laurinska, miristinska i palmitinska) i antitrombogenih masnih kiselina iz grupe UFA kiseline. Slično kao i kod AI, u ishrani treba težiti namirnicama s nižim vrijednostima TI. Zbog toga je konzumacija hrane ili proizvoda s nižim TI korisna za zdravlje kardiovaskularnog sustava.³² U tablici 1, dane su vrijednosti nutritivnih indeksa, gdje je najniža vrijednost TI imalo ulje oraha (0,168), što govori o povoljnijem profilu masnih kiselina. Za ulje oraha slične rezultate navode Pan Gao i sur.²⁰ (0,171), dok nešto niže vrijednosti TI navodi Mitar²² (0,160). HH je vezan za metabolizam kolesterola, a izračunava se na osnovi odnosa određenih predstavnika SFA kiselina tj. sadržaja miristinske i palmitinske kiseline. S nutritivnog aspekta, s povećanjem HH vrijednosti kvaliteta namirnica je bolja. Najviša vrijednost HH zabilježena je kod ulja lješnjaka (15,70). Najniža vrijednost bila je kod ulja oraha (7,91). Prema rezultatima Bertek,³⁴ ulje oraha ima veću vrijednost HH (10,76), a znatno nižu vrijednost navode Pan Gao i sur.²⁰ (5,34). Na osnovi navedenih vrijednosti nutritivnih indeksa, najbolje rezultate imalo je ulje lješnjaka, zbog najnižih vrijednosti AI i najviše vrijednosti HH.

Vrijednosti sadržaja slobodnih masnih kiselina (SMK) i peroksidnog broja kod hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema, prikazane su u tablici 2. Jednofaktorskom analizom varijance utvrđeno je da postoji statistički značajan utjecaj oglednog faktora (vrsta uljarice) na vrijednost sadržaja SMK i vrijednosti peroksidnog broja kod uzoraka hladno prešanih ulja ($p < 0,05$). Dobiveni rezultati uspoređeni su i u skladu su s Pravilnikom o biljnim uljima, jestivim biljnim mastima i majonezama (Službeni glasnik BiH br. 21/11)³⁵ i Pravilnikom o jestivim uljima i mastima (Narodne Novine 11/19)³⁶, kao i rezultatima istraživanja drugih autora navedenih u ovom radu. Prema rezultatima navedenim u tablici 2, najmanji sadržaj slobodnih masnih kiselina zabilježen je kod ulja oraha (0,26 %), a najveća vrijednost bila je kod ulja lješnjaka (1,01 %). Veće vrijednosti sadržaja slobodnih masnih kiselina za ulja oraha prema svojim istraživanjima navodi Foruglaš³⁷ (1,76 %). Niže vrijednosti

sadržaja slobodnih masnih kiselina za ulje oraha navodi Bošnjak³⁸ (0,23 %). Niže vrijednosti za ulje lješnjaka navode: Tuba³⁹ (0,48 %), Petrić⁴⁰ (0,31 %), Ljiljanić⁴¹ (0,39 %), Jakobović i sur.²³ (0,34 %) i Baotić⁴² (0,23 %). Vrijednost sadržaja slobodnih masnih kiselina u tablici 2 za ulje badema iznosila je 0,28 %, dok niže vrijednosti SMK-a za ulje badema navodi Pek⁴³ (0,20 %).

Najniža vrijednost peroksidnog broja prikazana u tablici 2, kod ulja badema dobivenog hladnim cijedenjem na pužnoj presi u laboratorijskim uvjetima rada iznosi 0,00 mmolO₂ kg⁻¹ ulja, dok je najviša vrijednost peroksidnog broja bila kod ulja oraha (0,29 mmolO₂ kg⁻¹ ulja). Veće vrijednosti peroksidnog broja za ulje oraha navodi Bošnjak³⁸ (0,46 mmolO₂ kg⁻¹ ulja). Foruglaš³⁷, prema rezultatima svojih istraživanja, kod ulja oraha navodi veću vrijednost za peroksidni broj (0,99 mmolO₂ kg⁻¹ ulja). Niže vrijednosti peroksidnog broja za ulje lješnjaka u odnosu na naše rezultate (0,24 mmolO₂ kg⁻¹ ulja) navode Tuba³⁹, Petrić⁴⁰, Cik⁴⁴, Ljiljanić⁴¹, Jakobović i sur.²³ i Baotić⁴² (0,00 mmolO₂ kg⁻¹ ulja). Veće vrijednosti peroksidnog broja za ulje badema u odnosu na naše rezultate (0,00 mmolO₂ kg⁻¹ ulja) navodi Pek⁴³ (1,01 mmolO₂ kg⁻¹ ulja). Sadržaj slobodnih masnih kiselina i peroksidnog broja u svim ispitivanim uzorcima ulja u skladu su s navedenim važećim Pravilnicima,^{35,36} čije vrijednosti ne prelaze više od 3 % za slobodne masne kiseline, a vrijednost peroksidnog broja do maksimalno dopuštene 10 mmolO₂ kg⁻¹ ulja.

Vrijednosti sadržaja vlage i netopljivih nečistoća kod hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema prikazane su u tablici 3. Dobiveni rezultati uspoređeni su i u skladu su s Pravilnikom o biljnim uljima, jestivim biljnim mastima i majonezama (Službeni glasnik BiH br. 21/11)³⁵ i Pravilnikom o jestivim uljima i mastima (Narodne Novine 11/19),³⁶ kao i rezultatima istraživanja drugih autora navedenih u ovom radu. Faktor vrsta uljarice nije pokazao statistički značajan utjecaj na sadržaj vlage i netopljivih nečistoća kod uzoraka hladno prešanih ulja ($p > 0,05$).

Prema rezultatima navedenim u tablici 3, za sadržaj vlage u skladu su s navedenim važećim Pravilnicima,^{35,36} s maksimalno dozvoljenom vrijednosti do 0,04 %. Najniži sadržaj vlage imalo je ulje oraha (0,01 %), a najviši ulje lješnjaka (0,04 %). Znatno niži sadržaj vlage za ulje lješnjaka u odnosu na naše rezultate navode Ljiljanić⁴¹ (0,085 %), Jakobo-

Tablica 3 – Prosječne vrijednosti sadržaja vlage i sadržaja netopljivih nečistoća $\pm$ SD u uzorcima hladno prešanih ulja
 Table 3 – Average values of moisture content and insoluble impurities content $\pm$ SD in cold-pressed oil samples

Parametar / % Parameter / %	Orahovo ulje Walnut oil	Lješnjakovo ulje Hazelnut oil	Bademovo ulje Almond oil
Vlaga Moisture	0,01 ^a $\pm$ 0,00	0,04 ^a $\pm$ 0,02	0,02 ^a $\pm$ 0,00
Netopljive nečistoće Insoluble impurities	2,63 ^a $\pm$ 0,14	2,59 ^a $\pm$ 0,25	2,59 ^a $\pm$ 0,14

^a Isto malo slovo u redovima pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika u vrijednostima sadržaja vode i netopljivih nečistoća u zavisnosti od vrste ulja.

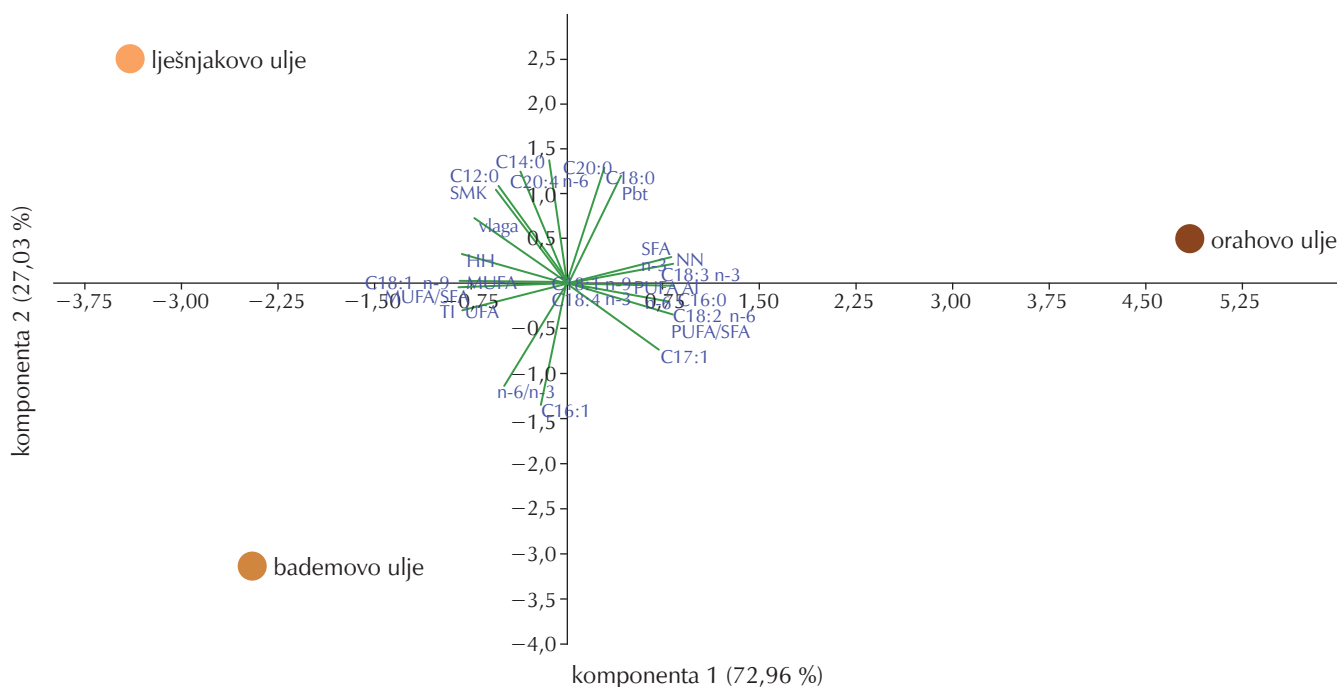
^a The same lowercase letter in the rows indicate that there is no statistically significant difference in the values of water content and insoluble impurities depending on the type of oil.

vić i sur.²³ (0,069 %) i Baotić⁴² (0,045 %). Prema navodima Foruglaš³⁷, sadržaj vlage u ulju oraha iznosio je 0,055 %, 0,093 % prema Cik⁴⁴, te prema Petrić⁴⁰ do 0,069 %. Znatno niže vrijednosti sadržaja vlage u odnosu na naše rezultate za ulje lješnjaka navodi Tuba³⁹ i to 0,044 %. Veći sadržaj vlage za ulje oraha navodi Bošnjak³⁸ (0,11 %). Znatno niži sadržaj vlage za ulje badema u odnosu na naše rezultate (0,02 %) navodi Pek⁴³ (0,093 %). Sadržaj netopljivih nečistoća u ispitivanim uzorcima orahova, bademova i lješnjakova ulja kretao se od 2,59 do 2,63 % (tablica 3). Navedene vrijednosti znatno su više od propisanih, pa prema tome nisu u skladu s važećim pravilnicima.^{35,36} Prema navodima autora

Foruglaš,³⁷ Cik⁴⁴ i Bošnjak,³⁸ sadržaj netopljivih nečistoća u hladno prešanom ulju oraha iznosio je 0,44, 0,36 i 0,23 %, što znači da su znatno niže vrijednosti u odnosu na naše rezultate za ulje oraha (2,63 %). Za ulje lješnjaka Tuba,³⁹ Petrić,⁴⁰ Ljiljanić,⁴¹ Jakobović i sur.²³ i Baotić⁴² navode vrijednosti 0,037, 0,16, 0,24, 0,13, odnosno 0,42 %, znatno niže u odnosu na naše rezultate za ulje lješnjaka (2,59 %). Znatno niže rezultate za ulje badema navodi Pek⁴³ 0,13 %.

Analiza glavnih komponenti provedena je na osnovi korelacijske matrice u koju je bilo uključeno 34 parametara za tri uzorka hladno prešanih ulja različitih vrsta (ulje oraha, lješnjaka i badema). Prve dvije komponente koje su rezultat ispitivanja osnovnih parametara kvalitete i sastava masnih kiselina u uzorcima hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema sadržavale su 99,99 % ukupne varijance, i to prva 72,96 %, a druga 27,03 %. Iz rezultata prikazanih na grafu 1 može se vidjeti da su vrijednosti peroksidnog broja, sadržaji C8:0 i C20:0 bili u visokoj pozitivnoj korelaciji, kao i u značajno negativnoj korelaciji sa sadržajem C16:1 i vrijednostima odnosa grupa n-6/n-3. Visoka pozitivna korelacija ostvarena je između vrijednosti sadržaja C18:1 n-9, UFA, MUFA i vrijednosti nutritivnih indeksa TI, HH i MUFA/SFA, dok su navedeni parametri ostvarili značajnu negativnu korelaciju sa sadržajem C8:0, C10:0, C16:0, C14:1, C17:1, C18:2 n-6, C18:3 n-3, SFA, PUFA, n-6, n-3 te vrijednostima nutritivnih indeksa AI i PUFA/SFA, između kojih je međusobno utvrđena visoka pozitivna korelacija. Vrijednosti sadržaja slobodnih masnih kiselina bili su u značajnoj pozitivnoj korelaciji s vrijednostima sadržaja C12:0, C14:0, C20:4 n-6 i vlage.

Na slici 1 također se može uočiti da su se uzorci hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema pozicionirali na ra-



Slika 1 – Analiza glavnih komponenti – grafički prikaz uzoraka hladno prešanih ulja oraha, lješnjaka i badema prema osnovnim parametrima kvalitete i sastava masnih kiselina

Fig. 1 – Principal component analysis – graphical display of cold-pressed walnut, hazelnut, and almond oil samples according to basic quality parameters and fatty acid composition

zličite strane plota. Uzorak orahova ulja pozicionirao se na gornju desnu stranu plota u odnosu na sadržaj C18:2 n-6, C18:3 n-3, C16:0, C17:1, SFA, PUFA, n-3, n-6, netopljivih nečistoća, vrijednosti odnosa grupa PUFA/SFA i vrijednosti indeksa AI koji su bili karakteristični za taj uzorak. Na lijevu stranu plota pozicionirali su se uzorci ulja lješnjaka i badema, s time da je ulje lješnjaka na gornjoj, a ulje badema na donjoj strani plota. U odnosu na sadržaj C16:1, UFA, vrijednosti odnosa grupa n-6/n-3 i nutritivnog indeksa TI pozicionirao se uzorak ulja badema, parametri koji su bili karakteristični za spomenuti uzorak. Uzorak ulja lješnjaka pozicionirao se u odnosu na sadržaj C12:0, C14:0, C18:1 n-9, C20:4 n-6, MUFA, slobodnih masnih kiselina, vlage, vrijednosti odnosa grupa MUFA/SFA i nutritivnog indeksa HH, koji je imao karakteristične vrijednosti spomenutih parametara.

4. Zaključak

Na osnovi provedenog istraživanja ustanovljena je mogućnost proizvodnje hladno prešanih ulja u laboratorijskim uvjetima te se navedene vrste mogu svrstati u grupu biljnih vrsta koje se mogu upotrebljavati za komercijalno izdvajanje ulja. Analizom sastava masnih kiselina utvrđeno je da ulja orašastih plodova karakterizira nizak udio zasićenih masnih kiselina, a visok udio nezasićenih masnih kiselina. Ulje oraha karakterizira visok udio esencijalnih masnih kiselina, linolne (49,00 %) i linolenske masne kiseline (16,50 %). Ulja lješnjaka i badema karakterizira visok udio oleinske masne kiseline (75,00 i 64,00 %) i značajan udio esencijalne linolne masne kiseline (13,50 i 25,00 %). Utvrđeni sastav masnih kiselina doprinosi boljoj nutritivnoj vrijednosti hladno prešanih ulja orašastih plodova proizvedenih od plodova uzgojenih u BiH. Provedena istraživanja doprinose boljem plasmanu ulja na tržištu i promociji uzgojenih vrsta u BiH, kao i većoj mogućnosti proizvodnje nutritivno vrijednih ulja u našoj državi. Buduća istraživanja trebala bi uključiti dodatna ispitivanja održivosti tih vrsta ulja i njihove primjene kao dodatka u različitim prehrambenim proizvodima.

Literatura

References

1. O. Radočaj, E. Dimić, Physico-chemical and nutritive characteristics of selected cold-pressed oils found in the European market, *Rivista Ital. Sost. Grasse* **90** (4) (2013) 219–228.
2. M. Michalak, A. Kiełtyka-Dadasiewicz, Nut Oils and their Dietetic and Cosmetic Significance: a Review, *J. Oleo Sci.* **68** (2) (2019) 111–120, doi: <https://doi.org/10.5650/jos.ess18216>.
3. J. Smith, Health Benefits of Walnut Oil, *J. Nutr. Sci.* **15** (2) (2020) 123–135.
4. C. Popovici, P. Alexe, E. Dmitrieva, O. Deseatnicova, The influence of natural and synthetic antioxidants on the oxidation stability of heat treated walnut oil (*Juglans regia* L.), u: *Proceedings of the Conference: Modern Technologies in the Food Industry*, 2014., str. 261–267.
5. A. I. Köksal, N. Artık, A. Simsek, Nutritional and Health Benefits of Hazelnuts, *J. Food Sci.* **29** (4) (2020) 267–278.
6. O. Karakaya, The intensity of the cluster drop affects the bioactive compounds and fatty acid composition in hazelnuts. *Grasas aceites* **74** (1) (2023) e487, doi: <https://doi.org/10.3989/gya.1127212>
7. Ş. Ş. Oğraş, G. Kaban, M. Kaya, Volatile Compounds and Fatty Acid Composition of Crude and Refined Hazelnut Oils, *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* **49** (2) (2018) 104–110, doi: <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.392547>.
8. F. Garcia, R. Sanchez, M. Lopez, Nutritional and Health Benefits of Almonds, *J. Food Sci.* **28** (4) (2019) 145–158.
9. M. Ramos, M. Esteve, C. Perez, Bioactive Compounds in Almonds: Implications for Human Health, *Nutr. Rev.* **78** (1) (2020) 14–25.
10. R. Melhaoui, N. Houmy, S. Kodad, K. Belhaj, F. Mansouri, M. Addi, M. Abid, A. Mihamou, C. Hano, M. Sindic, H. C. Serghini, A. Elamrani, Promotion of almond oil from the Ferragnes variety, a predominant cultivar in young almond plantations in eastern Morocco, *E3S Web of Conferences* **240** (2021) 04004, doi: <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202124004004>.
11. C. Härtig, Rapid identification of fatty acid methyl esters using a multidimensional gas chromatography-mass spectrometry database, *J. Chromatogr. A* **1** (1177) (2008) 159–169, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.10.089>.
12. 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** (2013) 209–217, doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000029>.
13. ISO 660 – Animal and vegetable fats and oils: Determination of acid value and of acidity, Geneve, Switzerland, 2020.
14. ISO 3960 – Animal and vegetable fats and oils: Determination of peroxide value, Geneve, Switzerland, 2017.
15. ISO 662 – Animal and vegetable fats and oils, Determination of moisture and volatile matter content, Geneve, Switzerland, 2016.
16. ISO 663 – Animal and vegetable fats and oils, Determination of insoluble impurities content, Geneva, Switzerland, 2017.
17. Ø. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan, PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis, *Palaeontol. Electron.* **4** (1) (2001) 4.
18. M. Radanović, D. Tomić, M. Marjanović, R. Ilić, V. Katanić, Hladno presovana ulja tikve i oraha, u: *Zbornik radova XXVII. Savjetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učesćem*, Agronomski fakultet u Čačku, 2022., str. 515–522, doi: <https://doi.org/10.46793/SBT27.515R>.
19. D. Vasiljević, Kemijski sastav različitih sorti oraha, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Zagreb, 2018.
20. P. Gao, J. Jin, R. Liu, Q. Jin, X. Wang, Chemical Compositions of Walnut (*Juglans regia* L.) Oils from Different Cultivated Regions in China, *J. Am. Oil Chem. Soc.* **95** (7) (2018) 825–834, doi: <https://doi.org/10.1002/aocs.12097>.
21. T. Presnec, Kemijski sastav lješnjaka, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Zagreb, 2017.
22. G. Mitar, Kemijski sastav lješnjaka različitih sorti u Hrvatskoj, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Zagreb, 2016.
23. M. Jakobić, I. Šnajder, T. Soldo, T. Moslavac, J. Kovačević, J. Del Vechio, Utjecaj sorte lješnjaka na iskorištenje ulja prešanjem pužnom prešom KOMET CA 59 G, *Meso* **22** (6) (2020) 484–490, doi: <https://doi.org/10.31727/m.22.6.1>.
24. S. K. Sathe, N. P. Seeram, H. H. Kshirsagar, D. Heber, K.

- A. Lapsley, Fatty acid composition of California grown almonds, *J Food Sci.* **73** (9) (2008) C607–C614, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00936.x>.
25. M. Ouzir, S. E. Bernoussi, M. Tabyaoui, K. Taghzouti, Almond oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction methods, preservation conditions, potential health benefits, and safety, *Compr Rev Food Sci Food Saf.* **20** (4) (2021) 3344–3387, doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12752>.
26. A. Moayedi, K. Rezaei, S. Moini, B. Keshavarz, Chemical Compositions of Oils from Several Wild Almond Species, *J. Am. Oil Chem. Soc.* **88** (2011) 503–508, doi: <https://doi.org/10.1007/S11746-010-1701-Z>.
27. UK Department of Health, Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report on Health and Social Subject No. 46. Her Majesty's Stationery Office, London, 1994.
28. 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](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6).
29. J. D. Wood, M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. 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>.
30. A. P. Simopoulos, Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acid Ratio and Chronic Diseases. *Food Rev. Int.* **20** (1) (2004) 77–90, doi: <https://doi.org/10.1081/FRI-120028831>.
31. P. A. Simopoulos, The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids, *Biomed. Pharmacother.* **56** (2002) 365–379. doi: [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00253-6).
32. 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>.
33. 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>.
34. N. Bertek, Hipolipidemijski učinak arganovog ulja (*Argania spinosa* L.) u BL6 miša, završni rad, Sveučilište u Karlovcu, Karlovac, 2015.
35. Pravilnik o biljnim uljima, jestivim biljnim mastima i majonezama (Službeni glasnik BiH, br. 21/11).
36. Pravilnik o jestivim uljima i mastima, Narodne novine **11** (2019), URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_11_229.html.
37. D. Foruglaš, Utjecaj hladnog prešanja oraha na iskorištenje ulja i reološka svojstva namaza od orahove pogače, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2016.
38. A. Bošnjak, Optimizacija procesa dobivanja orahovog ulja, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2015.
39. E. Tuba, Proizvodnja i stabilizacija hladno prešanog lješnjakovog ulja sorte Trabizone, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2023.
40. S. Petrić, Proizvodnja i stabilizacija lješnjakovog ulja s prirodnim i sintetskim antioksidansima, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2019.
41. T. Ljiljanić, Utjecaj antioksidanasa i sinergista na oksidacijsku stabilnost proizvedenog hladno prešanog lješnjakovog ulja, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2015.
42. M. Baotić, Proizvodnja i održivost hladno prešanog lješnjakovog ulja, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2015.
43. V. Pek, Proizvodnja hladno prešanog bademovog ulja i stabilizacija s antioksidansima, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2023.
44. M. Cik, Proizvodnja i stabilizacija hladno prešanog orahovog ulja, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2014.

SUMMARY

Assessment of the Oil Quality of Selected Nuts

Ajla Rizvan, Selma Čorbo, and Munevera Begić*

Cold-pressed oils from nuts are among the highest quality and best oils for human nutrition. They are characterised by a pleasant taste and aroma, as well as good stability. Samples of cold-pressed walnut, hazelnut, and almond oils were prepared under laboratory conditions using a manual press. Analyses were conducted on fatty acid composition, nutritional indices, free fatty acid content, peroxide value, moisture content, and insoluble impurities. The analysis of fatty acid composition revealed that unsaturated fatty acids (UFA) were dominant in all three tested samples compared to saturated fatty acids (SFA). The highest UFA content was recorded in almond oil (90.30 %), and the lowest in walnut oil (85.00 %). The highest content of monounsaturated fatty acids (MUFA) was found in hazelnut oil (75.40 %), with the lowest in walnut oil (19.20 %). Among the MUFAs, oleic acid was the most prevalent in hazelnut oil (75.00 %). The highest content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) was recorded in walnut oil (65.80 %), with linoleic acid being the most prevalent PUFA in walnut oil (49.00 %). The highest content of saturated fatty acids (SFA) was found in walnut oil (15.00 %), while the lowest was in almond oil (9.70 %). Among the saturated fatty acids (SFA), the highest content of palmitic acid was found in walnut oil (10.00 %), and stearic acid was recorded at 3.50 % in both walnut and hazelnut oils. Based on the nutritional index values, hazelnut oil is the most nutritionally acceptable with the best fatty acid composition, as it exhibited low values of AI (atherogenic) and TI (thrombogenic) indices, along with the highest HH (hypcholesterol/hypercholesterol) index value.

Keywords

Nut oils, oil quality, fatty acids, nutritional value

*Faculty of Agriculture and Food Science,
University of Sarajevo, Zmaja od Bosne 8,
71 000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina*

*Original scientific paper
Received November 20, 2024
Accepted January 7, 2025*