

Utjecaj prešanja i mikrovalnog zagrijavanja na proizvodnju i održivost ulja konoplje sorte *Finola*

Sažetak

U ovom radu istraživana je utjecaj procesnih parametara hladnog prešanja sjemenki konoplje na iskorištenje ulja. Ispitivani su parametri frekvencija elektromotora, veličina otvora glave preše za izlaz pogače i temperatura grijača glave preše. Također je istraživana utjecaj mikrovalnog zagrijavanja na oksidacijsku stabilnost ulja konoplje, sa i bez dodatka antioksidansa i sinergista. Od prirodnih antioksidansa korišteni su ekstrakt ružmarina, ekstrakt kadulje, sintetski antioksidans BHA te sinergist limunska kiselina. Uzorci ulja zagrijavani su u mikrovalnoj pećnici kod konstantne snage u različitim vremenskom periodu. Također su uzorci zagrijavani kod različite snage uređaja i konstantnom vremenskom periodu. Rezultat testa ubrzane oksidacije ulja konoplje izražen je peroksidnim brojem. Porastom frekvencije elektromotora i veličine otvora glave preše za izlaz pogače dolazi do smanjenja količine proizvedenog ulja konoplje. Porastom temperature glave preše povećava se proizvodnja sirovog ulja i hladno prešanog ulja. Mikrovalnim zagrijavanjem uzoraka ulja u vremenu 10-50 minuta dolazi do porasta temperature i peroksidnog broja, dolazi do porasta oksidacijskog kvarenja ulja. Najveća stabilnost ulja konoplje postignuta je kombinacijom ekstrakta ružmarina i sinergista limunske kiseline.

Glavne riječi: sjemenke konoplje, hladno prešanje, mikrovalno zagrijavanje, oksidacijska stabilnost, antioksidansi, sinergisti

Uvod

Konoplja (*Cannabis sativa* L.) je jednogodišnja biljka koja se stoljećima uzgaja za proizvodnju vlakana i ulja. Razlikujemo konoplju s visokim udjelom tetrahidrokanabinola THC (2-6% THC), konoplja s manjim udjelom THC te konoplja za uzgoj vlakana (manje od 0,25% THC). Konoplja s udjelom THC manjim od 1% predstavlja industrijsku konoplju, koja se prema podacima FAO iz 2011. uzgaja u 14 zemalja svijeta. Sjeme i ulje industrijske konoplje se danas koristi u raznim zemljama svijeta: Francuska, Mađarska, Rumunjska, Ukrajina, Kina, Čile, raste proizvodnja i korištenje u Sjevernoj Americi, Turskoj i Španjolskoj (Chen i sur., 2012; Oomah i sur., 2002; Sacilik i sur., 2003). Uzgajanje industrijske konoplje bilo je zabranjeno u europskim zemljama do 1996. kada je dozvoljen uzgoj kultivara konoplje s udjelom THC nižim od 0,3%. Danas je na području Europske unije dozvoljen uzgoj samo onih sorti (kultivara) s nižim udjelom THC od 0,2% (Kriese i sur., 2004). Sadržaj ulja u sjemenu konoplje varira u ovisnosti od sorte i agrokoloških uvjeta uzgoja. Sjemenke imaju visoki udjel ulja (30-35%), a kod nekih vrsta i do 50% (Schuster, 1993). Sjemenke konoplje sadrže 20-25% proteina, 20-30% ugljikohidrata, 10-15% netopljivih vlakana, što ih čini izrazito nutritivno vrijednom hranom (Sacilik i sur., 2003). Izvor su proteina koji sadrže svih 20 poznatih aminokiselina, uključujući i 9 esencijalnih aminokiselina. Na hrvatskom tržištu u zadnjih nekoliko godina pojavilo se ulje industrijske konoplje koje odskaka od drugih jestivih ulja po svom kemijskom sastavu, prvenstveno po sastavu masnih kiselina. Ulje konoplje sadrži esencijalne masne kiseline i to ω-6, linolnu masnu kiselinu (50%)

¹ prof. drs c. Tihomir Moslavac, prof. dr. sc. Stela Jokić, prof. dr. sc. Drago Šubarić,
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska
² Lana Kelnerić, student, Nina Berović, student, Veleučilište u Požegi, Vukovarska ul. 17, 34000 Požega, Hrvatska
Autor za korespondenciju: tihomir.moslavac@ptfos.hr

i visok udjel ω -3, α -linolensku masnu kiselinu (20%) (Callaway i Pate, 2009). Ima optimalan i uravnotežen omjer linolne i α -linolenske kiseline koji je gotovo idealan i iznosi 3:1. Ustanovljeno je da se takav omjer masnih kiselina nalazi u mediteranskoj prehrani, za koju se smatra da ima vrlo povoljan učinak na krvožilni sustav ljudi (Teh i Birch, 2013). Svojim sastavom ulje konoplje osigurava sve potrebe za esencijalnim masnim kiselinama, uključujući i γ -linolensku masnu kiselinu, dok 10%-tni sadržaj zasićenih masnih kiselina osigurava energiju. Prisutstvo γ -linolenske kiseline čini ga idealnim prirodnim sastojkom za kozmetiku (Da Porto i sur., 2012). Ulje konoplje je odličan izvor bioaktivnih sastojaka poput tokoferola, tokotrienola i plastokromanola-8 (PC-8). Tokoferoli su prirodni antioksidansi koji sprječavaju oksidaciju nezasićenih masnih kiselina te smanjuju rizik od kardiovaskularnih bolesti i tumora (Kriese i sur., 2004). Ulje konoplje sadrži oko 800 mg/kg ukupnih tokoferola, od kojih je dominantan γ -tokoferol (Matthäus i Brühl, 2008). Biljna ulja vrlo brzo podliježu nepoželjnim promjenama što rezultira njihovim kvarenjem. Autooksidacija je najčešća vrsta kvarenja ulja, a može nastupiti brže ili sporije ovisno od procesa proizvodnje, sastava ulja, uvjeta skladištenja, prisutnosti sastojaka koji usporavaju ili ubrzavaju ovu reakciju (Martin-Polvillo, 2004.). Kod pojave oksidacijskog kvarenja dolazi do stvaranja primarnih i sekundarnih produkata oksidacije ulja (Gray, 1978; Rovellini, 1997.). Nastali produkti u malim količinama daju neugodan miris čime narušavaju senzorska svojstva ulja (Broadbent i Pike, 2003.). Poznavanje održivosti ili stabilnosti biljnih ulja je važno kako bi se moglo unaprijed utvrditi vrijeme za koje se mogu sačuvati od izraženije oksidacije te za određivanje vremenskog roka njihove upotrebe. Frega i sur. (1999.) utvrđuju da slobodne masne kiseline u biljnom ulju djeluju kao prooksidansi, ubrzavaju oksidacijsko kvarenje te kod većeg udjela smanjuju održivost ulja. Danas se u praksi primjenjuju razne metode za određivanje oksidacijske stabilnosti biljnih ulja temeljene na ubrzanoj oksidaciji: Oven test, AOM test i Rancimat test (Shahidi, 2005.; Suja, 2004.; Abramović, 2006.; Farhoosh, 2008.). Stabilnost biljnih ulja može se poboljšati dodatkom antioksidansa koji usporavaju proces autooksidacije. Razlikujemo sintetske i prirodne antioksidanse koji imaju primjenu u kombinaciji sa sinergistima za stabilizaciju ulja radi povećanja otpornosti prema oksidaciji (Alavi i Golmakani, 2017.; Yanishlieva i Marinova, 2001.; Merrill, 2008.). U posljednje vrijeme istražuju se razni biljni materijali (začinske biljke) koje sadrže bioaktivne sastojke (fenolni spojevi) te pokazuju značajno antioksidacijsko djelovanje u biljnim uljima (Zunin i sur., 2010.; Berra, 2006.; Velasco i Dobarganes, 2002.; Bandoniene, 2000.). Hladno prešana ulja mogu se stabilizirati primjenom ekstrakta raznih biljaka (ružmarina, zelenog čaja, kadulje, origana i dr.) u svrhu zaštite od oksidacijskog kvarenja (Taghvaei i Jafari, 2013.; Pan, 2007.; Ahn, 2008.). Erkan i sur. (2008.) istražuju antioksidacijsku aktivnost ekstrakta ružmarina i drugih spojeva na stabilizaciju ulja. Gramza i sur. (2006.) izvještavaju da visoku antioksidacijsku aktivnost, mjerenu kao indukcijski period, pokazuje etanolni ekstrakt zelenog čaja u odnosu na aktivnost butil hidroksitoluena (BHT) i ekstrakta crnog čaja u suncokretovom ulju. Hraš i sur. (2000.) ispituju i utvrđuju antioksidacijski i sinergistički utjecaj ekstrakta ružmarina i alfa tokoferola kod stabilizacije suncokretovog ulja. Danas razni procesi prehrambene industrije primjenjuju mikrovalno zagrijavanje pri čemu zagrijavanje materijala nastaje zbog pretvorbe energije elektromagnetskih valova u toplinu u materijalima koji posjeduju dielektrična svojstva. Materijali koji imaju električne dipole, molekule izložene djelovanju elektromagnetskog polja polariziraju te dolazi do trenja molekula i stvaranja topline (Lovrić, 2003.). Tijekom mikrovalnog zagrijavanja temperatura uljne faze se dvostruko brže povećava u odnosu na temperaturu vode ili vodenog dijela hrane (Barringer, 1995.). U biljnim uljima tijekom mikrovalnog zagrijavanja dolazi do oksidacijskih promjena (Dostalova, 2005.; Hassanein, 2003.; Biswas, 2007; Chiavaro, 2010.; Erkan, 2009.), pri čemu nastaju slobodni radikali, a pri visokim temperaturama moguća je izomerizacija i formiranje trans izomera (Albi i sur., 1997.). Djelovanjem mikrovalnog zagrijavanja stupanj oksidacijskog kvarenja biljnih ulja ovisi o udjelu

polinezasićenih masnih kiselina, a rezultat je porast udjela slobodnih masnih kiselina (Sumnu, 2001.; Yoshida, 1993.). Ovim načinom zagrijavanja smanjuje se održivost ulja, a trigliceridi i digliceridi su skloni toplinskoj hidrolizi, naročito uz prisustvo vode. Mikrovalno zagrijavanje dovodi do povećane razgradnje vrlo vrijednih nutritivnih spojeva kao što su vitamini, esencijalne masne kiseline i fenoli (Oomah i sur., 1998.).

Cilj istraživanja ovog rada bio je ispitati utjecaj procesnih parametara prešanja sjemenke konoplje na iskorištenje ulja. Također ispitan je utjecaj mikrovalnog zagrijavanja i dodatka antioksidansa (prirodni, sintetski) i sinergista na oksidacijsku stabilnost (održivost) hladno prešanog ulja konoplje.

Materijal i metode

Za ispitivanje utjecaja parametara prešanja na iskorištenje sirovog i hladno prešanog ulja korišteno je sjeme konoplje sorte *Finola* koja je ekološki uzgojena u Republici Hrvatskoj u 2018. Utjecaj dodatka prirodnog antioksidansa na oksidacijsku stabilnost hladno prešanog ulja konoplje proveden je sa ekstraktom ružmarina tip StabilEnhance[®]OSR (0,2%) i ekstraktom kadulje (0,2%), sintetskim antioksidansom BHA (butil hidroksianisol) 0,01% te sinergistom limunskom kiselinom (0,01%).

StabilEnhance[®]OSR je ekstrakt ružmarina u formulaciji viskozne tekućine, dobiven od listova ružmarina koje ima botaničko ime *Romarinus officinalis* L, topljiv je u vodi i ulju. Specifikacija ovog ekstrakta ružmarina: udjel kamosolne kiseline min. 5%, proizvođač Naturex, Francuska.

Ekstrakt kadulje je proizveden na fakultetu postupkom ekstrakcije s 65% etanolom tijekom 96 sati te naknadnim isparavanjem otapala iz ekstrakta.

Butil hidroksianisol (BHA) je sintetski antioksidans.

Limunska kiselina je bijela kristalna tvar u obliku praha, topljiva u vodi, proizvođač T.T.T. d.o.o., Hrvatska.

Određivanje udjela ulja u konoplji i pogači

Udio ulja u sjemenkama konoplje i dobivenoj pogači nakon prešanja određen je ekstrakcijom ulja po Soxhletu. Udio ulja je računat prema formuli:

$$\text{Udio ulja \%} = (a - b) * 100 / c$$

a - masa tikvice s uljem (g);

b - masa prazne tikvice (g);

c - masa uzorka koji se ispituje (g).

Hladno prešanje

Količina ulja dobivena prešanjem (U) izračunata je prema formuli (Dimić, 2005.):

$$U = U_0 - U_p * (a / b) (\%)$$

U - količina prešanog ulja (%);

U_0 - udio ulja u sirovini (%);

U_p - udio ulja u pogači (%);

a - suha tvar u sirovini (%);

b - suha tvar u pogači (%).

Stupanj djelovanja prešanja (P) računat je prema formuli:

$$P = (U / U_0) * 100 (\%)$$

U - količina prešanog ulja (%);

U_0 - udio ulja u sirovini (%).

Određivanje osnovnih parametara kvalitete ulja

Na svježe proizvedenom hladno prešanom ulju konoplje određeni su osnovni parametri kvalitete: peroksidni broj, slobodne masne kiseline, udio vode i udio netopljivih nečistoća primjenom standardnih metoda.

Slobodne masne kiseline

Slobodne masne kiseline (SMK) u ulju konoplje određene su standardnom metodom (ISO 660: 1996) koja se temelji na principu titracije s otopinom natrij-hidroksida. Rezultat je prikazan kao udjel (%) slobodnih masnih kiselina izražen kao oleinska kiselina prema jednadžbi:

$$\text{SMK (\% oleinske kiseline)} = V \cdot c \cdot M / 10 \cdot m$$

V = utrošak otopine natrij-hidroksida za titraciju uzorka (mL);

c = koncentracija otopine natrij-hidroksida za titraciju, c(NaOH) = 0,1 mol/L;

M = molekulska masa oleinske kiseline, M = 282 g/mol;

m = masa uzorka ulja za ispitivanje (g).

Peroksidni broj

Peroksidni broj (Pbr) je pokazatelj stupnja oksidacijskog kvarenja jestivih biljnih ulja. Za njegovo određivanje najviše je korištena metoda ispitivanja primarnih produkata oksidacije ulja (hidroperoksidi, peroksidi). Peroksidni broj ispitivanog ulja određen je standardnom metodom (ISO 3960:2007). Rezultat je izražen kao mmol aktivnog kisika koji potječe iz nastalih peroksida prisutnih u 1 kg ulja. Vrijednost se izračunava prema jednadžbi:

$$\text{Pbr} = (V_1 - V_0) \cdot 5 / m \quad (\text{mmol O}_2 / \text{kg})$$

V₁ = volumen otopine natrij-tiosulfata, c (Na₂S₂O₃) = 0,01 mol/L utrošen za titraciju uzorka ulja (mL);

V₀ = volumen otopine natrij-tiosulfata utrošen za titraciju slijepe probe (mL);

m = masa uzorka ulja (g).

Udio vlage

Količina vlage je određena u sjemenci konoplje i proizvedenom hladno prešanom ulju. Metoda korištena za određivanje je ISO 662:1992. Udio vlage izračunava se prema formuli:

$$\text{Udio vode} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

m₀ – masa staklene posudice (g);

m₁ – masa staklene posudice i uzorka prije sušenja (g) i

m₂ – masa staklene posudice i uzorka nakon sušenja (g).

Udio netopljivih nečistoća

Za određivanje netopljivih nečistoća korištena je standardna metoda ISO 663:1992.

Udio netopljivih nečistoća izračunava se prema formuli:

$$\text{Udio netopljivih nečistoća} = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100$$

m₀ – masa uzorka (g);

m₁ – masa osušenog lijevka;

m₂ – masa lijevka s nečistoćama nakon sušenja (g).

Oksidacijska stabilnost ulja

Najčešća vrsta kvarenja jestivih biljnih ulja je oksidacijsko kvarenje. Poznavanje oksidacijske stabilnosti (održivosti) biljnih ulja važno je kako bi se unaprijed odredio vremenski period za koji se mogu sačuvati od jače izraženog oksidacijskog kvarenja, bez bitnih promjena kvalitete.

Mikrovalno zagrijavanje

Priprema uzoraka, sa i bez dodatka antioksidansa i sinergista, za analizu utjecaja mikrovalnog zagrijavanja na oksidacijsku stabilnost ulja konoplje provedena je tako da se 50 g ulja stavilo u petrijeve zdjelice promjera 9 cm, te se zagrijavalo u mikrovalnoj pećnici kod određene razine snage i vremena tretiranja. Pojedini antioksidans stavi se u čašu s uljem, zagrijava na temperaturi 60-70 °C uz konstantno miješanje. U ispitivanju je korištena mikrovalna pećnica firme Samsung Electronics, model MW73E, izlazne razine snage 100W-800W. Kada se izvadi uzorak ulja iz pećnice izmjeri se temperatura tretiranog ulja, izdvoji se 1 g ulja u tikvicu za određivanje peroksidnog broja (Pbr) kao pokazatelja stupnja oksidacije ulja. Postignuta temperatura tretiranog ulja se mjeri digitalnim termometrom Ama-digit, model AD13TH, područje mjerenja od - 35 do 300 °C, firme Amarell Electronic, Njemačka.

Utjecaj snage uređaja

Ispitivano ulje konoplje se zagrijava u mikrovalnoj pećnici kod različitih izlaznih snaga rada uređaja (180W, 300W, 450W) u vremenu tretiranja 10 minuta. Za svaku korištenu pojedinačnu snagu rada pećnice uzima se drugi uzorak ulja.

Utjecaj vremena zagrijavanja

Konopljino ulje se zagrijava u mikrovalnoj pećnici kod snage 300W u različitim vremenima trajanja tretiranja (10, 20, 30, 40, 50 minuta). Uzorak ulja se nakon 10 min. tretiranja kod ove snage uređaja izvadi iz pećnice, izmjeri temperatura i uzme uzorak za određivanje peroksidnog broja, ponovo se vraća u pećnicu te zagrijava narednih 10 min. i tako do ukupnog vremena tretiranja 50 minuta. Dakle, oksidacijska stabilnost uzoraka ulja prikazuje se kao vrijednost peroksidnog broja (Pbr) određivana svakih 10 minuta tijekom zagrijavanja u trajanju 50 minuta kod konstantne snage uređaja.

Rezultati i rasprava

Utjecaj parametara prešanja

Prije postupka prešanja određen je udio ulja u sjemenkama konoplje te je srednja vrijednost iznosila 32,02%. Također je određen i udio vlage u sjemenkama pri čemu je dobivena vrijednost 6,34%. Rezultati ispitivanja utjecaja parametara prešanja sjemenke konoplje na iskorištenje sirovog ulja i hladno prešanog ulja prikazani su u tablicama 1-3. U tablici 1 vidljivi su rezultati utjecaja frekvencije elektromotora (25 Hz, 32 Hz, 40 Hz) koja regulira brzinu pužnice tijekom prešanja, na iskorištenje sirovog ulja i hladno prešanog ulja konoplje. Prešanjem sjemenke konoplje kod uvjeta frekvencije elektromotora 25 Hz (F), veličine otvora za izlaz pogače (N) promjera 9 mm i temperature zagrijavanja glave preše 90°C (T) proizvedeno je 230 mL sirovog ulja temperature 48°C. Dobiveno sirovo ulje sadrži sitne krute čestice koje predstavljaju netopljive nečistoće iz sjemenke, moraju se ukloniti iz ulja kako bi dobili finalni proizvod. Nakon 10 dana prirodnog taloženja (sedimentacije) te vakuum filtracije sirovog ulja dobiveno je 170 mL hladno prešanog ulja konoplje. Analizom pogače (nusproizvod prešanja) utvrđeno je 15,01% zaostalog ulja pri čemu je izračunat stupanj djelovanje preše 53,12%. Povećanjem frekvencije elektromotora sa 25 Hz na 32 Hz, uz konstantne uvjete prešanja N= 9 mm i T= 90°C, proizvedena je približno jednaka količina sirovog ulja (230,5 mL) temperature 49°C, a nakon sedimentacije i filtracije imamo nešto manju količinu hladno prešanog ulja (165 mL)

uz nešto veći udio zaostalog ulja u pogači 16,38% te manji stupanj djelovanja preše (48,84%). Ova serija ispitivanja utjecaja frekvencije elektromotora na iskorištenje ulja provedena je i kod veće temperature grijača glave preše ($T=100^{\circ}\text{C}$). Dobiveni rezultati pokazuju da se kod frekvencije 25 Hz prešanjem proizvela veća količina hladno prešanog ulja konoplje (190 mL) uz manji udio zaostalog ulja u pogači (13,24%). Primjenom veće frekvencije elektromotora 32 Hz i 40 Hz, povećava se brzina pužnice što rezultira smanjenjem volumena proizvedenog hladno prešanog ulja uz porast udjela zaostalog ulja u pogači. Daljnjim porastom temperature grijača glave preše na 110°C vidljivo je da i kod ove temperature frekvencija elektromotora utječe na iskorištenje ulja tijekom prešanja konoplje. Također je zapaženo da se veće iskorištenje sirovog ulja i hladno prešanog ulja dobije kod niže frekvencije 25 Hz u odnosu na 32 Hz. Ista pojava zapažena je kod primjene nastavka za izlaz pogače manjeg promjera ($N=7\text{ mm}$) uz $T=110^{\circ}\text{C}$, gdje je također kod manje frekvencije elektromotora (25 Hz) proizveden veći volumen sirovog ulja (300 mL) i hladno prešanog ulja (220 mL) uz manji udio zaostalog ulja u pogači u odnosu na primjenu 32 Hz. Temeljem dobivenih rezultata utjecaja frekvencije elektromotora na iskorištenje ulja može se zaključiti da se porastom frekvencije elektromotora, kod navedenih uvjeta prešanja sjemenke konoplje, smanjuje volumen proizvedenog hladno prešanog ulja. Također, dolazi do porasta udjela zaostalog ulja u pogači što doprinosi manjem stupanju djelovanja preše. Objašnjenje ove pojave da se tijekom hladnog prešanja, primjenom manje frekvencije elektromotora, proizvede veća količina ulja iz konoplje može se tumačiti tako što se materijal u sustavu preše duže vrijeme zadržava što utječe na efikasnost cijedenja ulja.

Tablica 1. Utjecaj frekvencije elektromotora kod prešanja sjemenke konoplje na iskorištenje ulja.
Table 1. Effect of frequency electric motor during pressing hemp seeds on the yield oil.

Uzorak/ Sample	Masa sirovine/ Mass of raw materials (kg)	Volumen sirovog ulja/ Volume of crude oil (mL)	Temperatura sirovog ulja/ Temp. of crude oil ($^{\circ}\text{C}$)	Volumen hladno prešanog ulja/ Volume of cold pressed oil (mL)	Masa pogače/ Mass of cake (g)	Udio ulja u pogači/ Oil share in cake (%)	Udio vode u pogači/ Water share in cake (%)	Stupanj djelovanja preše/ Degree of pressure acting (%)
$T = 90^{\circ}\text{C}$								
N = 9 mm F = 25 Hz	1	230	48	170	760	15,01	6,79	53,12
N = 9 mm F = 32 Hz	1	230,5	49	165	770	16,38	7,28	48,84
$T = 100^{\circ}\text{C}$								
N = 9 mm F = 25 Hz	1	230	50	190	751	13,24	7,37	58,65
N = 9 mm F = 32 Hz	1	230	49,5	140	732	15,96	6,78	50,16
N = 9 mm F = 40 Hz	1	225	50	130	780	17,71	6,97	44,69
$T = 110^{\circ}\text{C}$								
N = 9 mm F = 25 Hz	1	280	51	200	758	13,01	7,14	59,37
N = 9 mm F = 32 Hz	1	250	51	165	761	14,06	6,78	56,09
$T = 110^{\circ}\text{C}$								
N = 7 mm F = 25 Hz	1	300	53	220	730	11,60	6,86	63,77
N = 7 mm F = 32 Hz	1	290	51	194	741	12,25	6,38	61,74

Udio ulja u sjemenkama konoplje je 32,02%, a udio vode 6,34%. Hladno prešano ulje dobiveno nakon 10 dana taloženja i vakuum filtriranja. N – veličina otvora glave preše, definira promjer pogače (mm); F – frekventni regulator, regulira brzinu pužnice preše (Hz); T – temperatura grijača glave preše kod izlaza pogače (°C).

U tablici 2 prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja veličine otvora glave preše (N) kod prešanja konoplje na iskorištenje sirovog ulja i hladno prešanog ulja. Prešanjem sjemenke konoplje kod uvjeta: nastavak koji definira veličinu otvora glave preše za izlaz pogače N = 12 mm, T = 90°C i F = 25 Hz dobiveno je 220 mL sirovog ulja temperature 45°C. Nakon 10 dana taloženja i vakuum filtracije proizvedeno je 140 mL hladno prešanog ulja konoplje uz udio zaostalog ulja u pogači 18,48%. Primjenom otvora za izlaz pogače manjeg promjera N = 9 mm proizvedena je veća količina sirovog ulja (230 mL) i finalnog ulja (170 mL) uz manji udio zaostalog ulja u pogači (15,01%). Kod ovog istraživanja povećali smo temperaturu grijača glave preše sa 90°C na 110°C te ispitali utjecaj veličine nastavka za izlaz pogače na iskorištenje ulja. Utvrdili smo da se i kod temperature glave preše 110°C korištenjem nastavka za izlaz pogače manjeg promjera (7 mm), kod konstantne frekvencije elektromotora F = 25 Hz, prešanjem konoplje, dobije veći volumen sirovog ulja i hladno prešanog ulja u odnosu na nastavak promjera 9 mm, ali je temperatura ulja malo iznad maksimalne vrijednosti za hladno prešano ulje prema Pravilniku o jestivim uljima i mastima NN 11/19. Kod ispitivanja utjecaja nastavka za izlaz pogače (9 i 7 mm) i T = 110°C, ali kod veće frekvencije elektromotora (32 Hz) zapažena je ista pojava da se kod nastavka manjeg promjera (7 mm) dobio veći volumen sirovog i hladno prešanog ulja. Analizom količine zaostalog ulja u pogači, dobivena je manja vrijednost udjela zaostalog ulja u pogači (12,25%). Iz navedenih rezultata zaključujemo da veličina otvora glave preše utječe na iskorištenje ulja kod proizvodnje hladno prešanog ulja konoplje. Što je veličina otvora za izlaz pogače na glavi preše manja, to je procesni tlak tijekom prešanja veći pa se proizvede veća količina sirovog ulja i hladno prešanog ulja te je manje zaostalog ulja u pogači (Rac, 1964.; Moslavac i sur., 2014.).

Tablica 2. Utjecaj veličine otvora glave preše kod prešanja sjemenke konoplje na iskorištenje ulja.
Table 2. Effect of nozzle size head presses during pressing hemp seeds to yield oil.

Uzorak/ Sample	Masa sirovine/ Mass of raw materials (kg)	Volumen sirovog ulja/ Volume of crude oil (mL)	Temperatura sirovog ulja/ Temp. of crude oil (°C)	Volumen hladno prešanog ulja/ Volume of cold pressed oil (mL)	Masa pogače/ Mass of cake (g)	Udio ulja u pogači/ Oil share in cake (%)	Udio vode u pogači/ Water share in cake (%)	Stupanj djelovanja preše/ Degree of pressure acting (%)
T = 90 °C								
N=12 mm F = 25 Hz	1	220	45	140	780	18,48	6,39	42,29
N = 9 mm F = 25 Hz	1	230	48	170	760	15,01	6,79	53,12
T = 110 °C								
N = 9 mm F = 25 Hz	1	280	51	200	758	13,01	7,14	59,37
N = 7 mm F = 25 Hz	1	300	53	220	730	11,60	6,86	63,77
T = 110 °C								
N = 9 mm F = 32 Hz	1	250	51	165	761	14,06	6,78	56,09
N = 7 mm F = 32 Hz	1	290	51	194	741	12,25	6,38	61,74

Rezultati ispitivanja utjecaja temperature grijača glave preše kod prešanja konoplje na iskorištenje ulja vidljivi su u tablici 3. Dobiveni rezultati pokazuju da se porastom temperature glave preše povećava iskorištenje ulja. Prešanjem konoplje kod 110°C (N= 9 mm, F= 25 Hz) proizveden je veći volumen sirovog ulja i hladno prešanog ulja uz manji udio zaostalog ulja u nusproizvodu pogači u odnosu na temperature glave preše 90°C i 100°C.

Tablica 3. Utjecaj temperature grijača glave preše kod prešanja konoplje na iskorištenje ulja.
Table 3. Effect of temperature head heater during pressing hemp seeds to yield oil.

Uzorak/ Sample	Masa sirovine/ Mass of raw materials (kg)	Volumen sirovog ulja/ Volume of crude oil (mL)	Temperatura sirovog ulja/ Temp. of crude oil (°C)	Volumen hladno prešanog ulja/ Volume of cold pressed oil (mL)	Masa pogače/ Mass of cake (g)	Udio ulja u pogači/ Oil share in cake (%)	Udio vode u pogači/ Water share in cake (%)	Stupanj djelovanja preše/ Degree of pressure acting (%)
N = 9 mm F = 25 Hz T = 90 °C	1	230	48	170	760	15,01	6,79	53,12
N = 9 mm F = 25 Hz T = 100 °C	1	230	50	190	751	13,24	7,37	58,65
N = 9 mm F = 25 Hz T = 110 °C	1	280	51	200	758	13,01	7,14	59,37

Parametri kvalitete ulja

Osnovni parametri kvalitete svježe proizvedenog hladno prešanog ulja konoplje peroksidni broj (Pbr), slobodne masne kiseline (SMK), udio vode i udio netopljivih nečistoća prikazani su u tablici 4. Izračunate vrijednosti ovih parametara ukazuju na to da je ulje dobre kvalitete jer su ispitivani parametri u skladu s Pravilnikom o jestivim uljima i mastima (NN 11/2019), osim SMK koji je malo povećan.

Tablica 4. Kemijske karakteristike ulja konoplje
Table 4. Chemical characteristics of hemp oil

Parametar kvalitete/ Quality parameter	Ulje konoplje/ Hemp oil
Peroksidni broj (Pbr)/ Peroxide value (mmol O ₂ /kg)	0,79
Slobodne masne kiseline (SMK)/ Free fatty acids (% oleinske kiseline)	2,51
Voda/ Water (%)	0,093
Netopljive nečistoće/ Insoluble impurities (%)	0,083

Oksidacijska stabilnost

U tablicama 5 i 6 prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja mikrovalnog zagrijavanja te dodatka antioksidansa (prirodni, sintetski) i sinergista na oksidacijsku stabilnost hladno prešanog ulja konoplje.

U tablici 5 prikazan je utjecaj vremena mikrovalnog zagrijavanja (10, 20, 30, 40 i 50 minuta), kod konstantne snage uređaja 300 W, te dodatka antioksidansa i sinergista na oksidacijsku stabilnost ulja. Stupanj oksidacijskog kvarenja prikazan je peroksidnim brojem (Pbr). Mikrovalnim zagrijavanjem ulja konoplje bez dodatka antioksidansa i sinergista (kontrolni uzorak) u navedenom vremenskom periodu zapažen je postepeni porast vrijednosti peroksidnog broja. Nakon 50 min zagrijavanja ulja dobivena je vrijednost Pbr 3,03 mmol O₂/kg. Korištenjem sintetskog antioksidansa BHA (0,01%) i prirodnog antioksidansa ekstrakta kadulje (0,2%) nije se postigla stabilizacija ulja konoplje, nakon 50 min mikrovalnog zagrijavanja Pbr je imao veću vrijednost u odnosu na kontrolni uzorak. Dodatkom prirodnog antioksidansa ekstrakta ružmarina tip StabilEnhance (0,2%) u ulje dovelo je do sniženja vrijednosti Pbr tijekom zagrijavanja mikrovalovima u vremenskom periodu 10-50 minuta, nakon 50 min tretiranja ulja Pbr ima vrijednost 1,39 mmol O₂/kg. Ovo sniženje Pbr u odnosu na kontrolni uzorak ulja pokazuje da ovaj antioksidans stabilizira ulje, štiti ulje konoplje od oksidacijskog kvarenja. Kombinacijom ekstrakta ružmarina i sinergista limunske kiseline (0,01%) dolazi do daljnjeg porasta stabilnosti ulja, nakon 50 min mikrovalnog zagrijavanja Pbr je 1,19 mmol O₂/kg. Dakle, limunska kiselina sinergistički, pozitivno povećava otpornost ulja konoplje prema oksidacijskom kvarenju. Sinergist dodatno usporava oksidacijsko kvarenje ovog ulja u navedenim koncentracijama.

Tablica 5. Utjecaj vremena i temperature mikrovalnog zagrijavanja, kod snage 300 W, na oksidacijsku stabilnost ulja konoplje, sa i bez dodatka antioksidansa i sinergista.

Table 5. Effect of time and temperature of microwave heating at 300 W, on the oxidation stability of hemp oil with and without the addition of antioxidants and synergists.

Uzorci/ Samples	Antioksidans/ Antioxidant (%)	Vrijeme mikrovalnog zagrijavanja/ Microwave heating time (min)					
		10	20	30	40	50	
Ulje konoplje (kontrolni uzorak)/ Hemp oil (control sample)	T (°C)	145	167	171	168	172	
	Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,72	2,31	2,75	2,91	3,03	
BHA	0,01%	T (°C)	139	168	179	180	173
	Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,98	2,33	2,53	2,70	3,10	
Ekstrakt kadulje/ Sage extract	0,2%	T (°C)	140	155	174	163	168
	Pbr (mmol O ₂ /kg)	2,01	3,30	2,97	3,71	4,17	
Ekstrakt ružmarina (StabilEnhance)/ Rosemary extract (StabilEnhance)	0,2%	T (°C)	133	164	171	172	173
	Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,47	1,62	1,54	1,47	1,39	
Ekstrakt ružmarina (StabilEnhance) + limunska kiselina/ Rosemary extract + citric acid	0,2% + 0,01%	T (°C)	140	169	181	179	170
	Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,71	1,43	1,55	1,47	1,19	

U tablici 6 vidljivi su rezultati ispitivanja utjecaja snage uređaja (180W, 300W, 450W) mikrovalne pećnice te dodatka prirodnih antioksidansa i sinergista na oksidacijsku stabilnost ulja konoplje. Mikrovalnim zagrijavanjem, kontrolnog uzorka, kod snage 180W tijekom 10 minuta tretiranja dobivena je vrijednost peroksidnog broja 1,40 mmol O₂/kg. Povećanjem snage mikrovalne pećnice na 300 W i 450 W dolazi do povećanja temperature ulja što rezultira i porastom Pbr. Kod ovog ispitivanja primjenom snage uređaja 180W dodatkom ekstrakta ružmarina i limunske kiseline ostvarena je bolja zaštita ulja od oksidacijskog kvarenja (Pbr je 1,17 mmol O₂/kg) u odnosu na primjenu drugih antioksidanasa. Mikrovalnim zagrijavanjem ulja konoplje kod snage uređaja 450W vidljivo je da niti jedan ispitivani antioksidans nije usporio oksidacijsko kvarenje ulja. Razlog tome je taj što se tretiranjem ulja kod 450W u trajanju 10 min postiže visoka temperatura ulja koja termički razgrađuje antioksidanse te nemaju ulogu zaštite ulja od oksidacije.

Tablica 6. Utjecaj snage mikrovalnog zagrijavanja, kod 10 minuta tretiranja, na oksidacijsku stabilnost ulja konoplje, sa i bez dodatka antioksidansa i sinergista.

Table 6. Effects of microwave power up to 10 minutes of treatment on the oxidative stability of hemp oil with and without the addition of antioxidants and synergists.

Uzorci/ Samples	Antioksidans/ Antioxidant (%)	Snaga mikrovalnog zagrijavanja/The power of microwave heating (W)			
		180	300	450	
Ulje konoplje (kontrolni uzorak)/ Hemp oil (control sample)	-	T (°C)	90	145	190
		Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,40	1,72	1,40
BHA	0,01%	T (°C)	90	139	175
		Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,23	1,89	1,90
Ekstrakt kadulje/ Sage extract	0,2%	T (°C)	105	140	174
		Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,35	2,01	1,92
Ekstrakt ružmarina (StabilEnhance)/ Rosemary extract (StabilEnhance)	0,2%	T (°C)	86	133	175
		Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,39	1,47	1,40
Ekstrakt ružmarina (StabilEnhance) + limunska kiselina/ Rosemary extract + citric acid	0,2% + 0,01%	T (°C)	95	140	183
		Pbr (mmol O ₂ /kg)	1,17	1,71	1,49

Zaključak

Procesni parametri hladnog prešanja sjemenke konoplje sorte *Finola* utječu na iskorištenje ulja. Frekvencija elektromotora utječe na proizvodnju sirovog ulja i hladno prešanog ulja. Primjenom manje frekvencije elektromotora proizvedena je veća količina hladno prešanog ulja i manje je ulja zaostalo u pogači u odnosu na primjenu veće frekvencije. Prešanjem konoplje kod otvora glave preše manjeg promjera, a konstantne frekvencije elektromotora i temperature glave preše, dobivena je veća količina hladno prešanog ulja uz manji udio zaostalog ulja u pogači. Porastom temperature glave preše povećava se količina proizvedenog ulja. Parametri mikrovalnog zagrijavanja, dodatak antioksidansa i sinergista limunske kiseline utječu na održivost ulja konoplje. Porastom vremena tretiranja ulja mikrovalovima od 10 do 50 minuta, kod snage uređaja 300W, postepeno se povećava temperatura i peroksidni broj ulja. Porastom snage uređaja, kod 10 min mikrovalnog zagrijavanja, povećava se temperatura i peroksidni broj ulja. Prirodni antioksidans ekstrakt ružmarina tip StabilEnhance, samostalno i u kombinaciji s limunskom kiselinom, povećava zaštitu ulja konoplje od oksidacijskog kvarenja. Ekstrakt kadulje i BHA nisu se pokazali efikasni u zaštiti ovog ulja od oksidacije.

Literatura

- Abramović, H., Abram, H. (2006) Effect of added rosemary extract on oxidative stability of *Camelina sativa* oil. *Acta agriculturae Slovenica*, 87 (2), 255-261.
- Ahn, J.-H., Kim, Y.-P., Seo, E.-M., Choi, Y.-K., Kim, H.-S. (2008) Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil. *Journal of Food Engineering*, 84, 327-334.
- Alavi, N., Golmakani, M.T. (2017) Improving oxidative stability of olive oil: Incorporation of *Spirulina* and evaluation of its synergism with citric acid. *Grasas Y Aceites*, 68 (1), 1-11.
- Albi, T., Lanzon, A., Guinda, A., Leon, M., Perez-Camino, C.M. (1997) Microwave and conventional heating effects on thermoxidative degradation of edible fats. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 45 (10), 3795-3798.
- Bandoni, D., Pukalskas, A., Venskutonis, P.R. and Grudzinski (2000) Preliminary screening of antioxidant activity of some plant extracts in rapeseed oil. *Food Res. Int.*, 33, 785-791.
- Barringer, S.A. (1995) *Experimental and predictive heating rates of microwave food systems*. Dissertation Abstracts International B, 55, 4188.
- Berra, D., Lahiri, D., Nag, A. (2006) Studies on a natural antioxidant for stabilization of edible oil and comparison with synthetic antioxidant. *J. Food Eng.*, 74, 542-545.
- Broadbent, C.J., Pike, O.A. (2003) Oil stability index correlated with sensory determination of oxidative stability in canola oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 80, 59-63.
- Biswas, A., Adharyu, A., Stevenson, D.G., Sharma, B.K., Willet, J.L., Erhan, S.Z. (2007) Microwave irradiation effects on the structure, viscosity, thermal properties and lubricity of soybean oil. *Industrial Crops and Products*, 25, 1-7.
- Callaway, J. C., Pate, D. W. (2009) Hempseed oil. U: *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils* (Moreau, R. A., Kamal-Eldin, A., ured.), American Oil Chemists Society Press, Kuopio, str.185-213, <<http://www.finola.com/Hempseed%20oil%20chapter%20April%202010.pdf>>. Pristupljeno 20. lipnja 2016.
- Chen, T., He, J., Zhang, J., Li, X., Zhang, H., Hao, J., Li, L. (2012) The isolation and identification of two compounds with predominant radical scavenging activity in hempseed (seed of *Cannabis sativa* L.). *Food Chem.*, 134, 1030-1037.
- Chiavaro, E., Rodriguez-Estrada, M.T., Vittadini, E., Pellegrini, N. (2010) Microwave heating of different vegetable oils: Relation between chemical and thermal parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1104-1112.
- Da Porto, C., Decorti, D., Tubaro, F. (2012) Fatty acid composition and oxidation stability of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide. *Ind. Crop. Prod.*, 36, 401-404.
- Dimić, E. (2005). Hladno ceđena ulja. Tehnološki fakultet Novi Sad.
- Dostalova, J., Hanzlik, P., Reblova, Z., Pokorný, J. (2005) Oxidative Changes of Vegetable Oils during Microwave Heating. *Czech. J. Food Sci.*, 23 (6), 230-239.
- Erkan, N., Ayranci, G., Ayranci, E. (2008) Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L.) extract blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food Chem.*, 110, 76-82.
- Erkan, N., Ayranci, G., Ayranci, E. (2009) A kinetic study of oxidation development in sunflower oil under microwave heating: Effect of natural antioxidants. *Food research International*, 42, 1171-1177.
- Farhoosh, R., Niazmand, R., Rezaei, M., Sarabi, M. (2008) Kinetic parameter determination of vegetable oil oxidation under Rancimat test conditions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110 (6), 587-592.
- Frega, N., Mozzon, M., Lercker, G. (1999) Effect of Free Fatty Acids on Oxidative Stability of Vegetable Oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 76 (3), 325-329.
- Gramza, A., Khokhar, S., Yoko, S., Gliszczynska-Swiglo, A., Hes, M., Korczak, J. (2006) Antioxidant activity of tea extracts in lipids and correlation with polyphenol content. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108, 351-362.
- Gray, J.I. (1978) Measurement of lipid oxidation: a review. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 55, 539-546.
- Hassanein, M.M., El-Shami, S.M., El-Mallah, M.H. (2003) Changes occurring in vegetable oils composition due to microwave heating. *Grasas y Aceites*, 54, 343-349.
- Hraš, A. R., Hadolin, M., Knez, Ž., Bauman, D. (2000) Comparison of antioxidative and synergistic effects of rosemary

- extract with α -tocopherol, ascorbyl palmitate and citric acid in sunflower oil. *Food Chem.*, 71, 229-233.
- Yanishlieva, Nedyalka V., Marinova, Emma M. (2001) Stabilisation of edible oils with natural antioxidants. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103, 752-767.
- Yoshida, H. (1993) Influence of fatty acids of different unsaturation in the oxidation of purified vegetable oils during microwave irradiation. *J. Sci. Food Agric.*, 62, 41-47.
- Kiritsakis, A.K.: Olive Oil. AOCS Press, Champaign, IL (USA) 1990.
- Lovrić, T. (2003) *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Zagreb: Hinus.
- Kriesse, U., Schumann E., Weber, W. E., Beyer, M., Brühl, L., Matthäus, B. (2004) Oil content, tocopherol composition and fatty acid patterns of the seeds of 51 *Cannabis sativa* L. genotypes. *Euphytica*, 137, 339-351.
- Martin-Polvillo, M., Marquez-Ruiz, G., Dobarganes, M.C. (2004) Oxidative stability of sunflower oils differing in unsaturation degree during long-term storage at room temperature. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 81, 577-583.
- Matthäus, B., Brühl, L. (2008) Virgin hemp seed oil: An interesting niche product. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 110, 655-661.
- Merrill, L.L., Pike, O.A., Ogden, L.V. (2008) Oxidative Stability of Conventional and High-Oleic Vegetable Oils with Added Antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 85, 771-776.
- Moslavac, T., Jokić, S., Šubarić, D., Aladić, K., Vukoja, J., Prce, N. (2014). Pressing and Supercritical CO₂ extraction of *Camellina sativa* oil. *Ind. Cro. Prod.*, 54, 122-129.
- Oomah, B. D., Busson, M., Godfrey, D. V., Drover, J. C. G. (2002) Characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil. *Food Chem.*, 76, 33-43.
- Oomah, B.D., Liang, L., Godfrey, D., Mazza, G. (1998) Microwave heating of grapeseed: effect on oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4017-4021.
- Pan, Y., Zhang, X., Wang, H., Liang, Y., Zhu, J., Li, H., Zhang, Z., Wu, Q. (2007) Antioxidant potential of ethanolic extract of *Polygonum cuspidatum* and application in peanut oil. *Food Chemistry*, 105, 1518-1524.
- Rac, M. (1964) Ulja i masti, Privredni pregled, Beograd, Srbija.
- Rovellini, P., Cortesi, N., Fedeli, E. (1997) Ossidazioni dei lipidi. Nota 1. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse* 74, 181-189.
- Sacilik, K., Öztürk, R., Keskin, R. (2003) Some Physical Properties of Hemp Seed. *Biosyst. Eng.*, 86, 191-198.
- Schuster, W. (1993) *Olfpflanzen in Europe*, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Shahidi, F. (2005) *Bailey's Industrial Oil & Fat Products* (Sixth edition), Volume 1, Edible Oil & Fat Products: Chemistry, Properties and Health Effects, Wiley-Interscience publication: 269-513.
- Suja, K.P., Abraham, J.T., Thamizh, S.N., Jayalekshmy, A., Arumughan, C. (2004) Antioxidant efficacy of sesame cake extract in vegetable oil protection. *Food Chemistry*, 84, 393-400.
- Sumnu, G. (2001) A review on microwave baked foods. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 36: 117-127.
- Taghvaei, M., Jafari, S.M. (2013) Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 1272-1282.
- Teh, S.S., Birch, J. (2013) Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed hemp, flax and canola seed oils. *J. Food Compos. Anal.*, 30, 26-31.
- Velasco, J., Dobarganes, C. (2002) Oxidative stability of virgin olive oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 104, 661-676.
- Zunin, P., Leardi, R., Bisio, A., Boggia, R., Romussi, G. (2010) Oxidative stability of virgin olive oil enriched with camosic acid. *Food Research International*, 43 (5), 1511-1516.

Original scientific paper

The Influence of Pressing and Microwave Heating on the Production and Shelf life of Hemp Oil variety Finola

Abstract

In this study the influence of process parameters of cold pressing hemp seeds on yield oil was researched. Electric motor frequency, nozzle size and nozzle heater temperature were the investigated parameters. The effect of microwave heating to oxidative stability of hemp oil, with and without the addition of antioxidants and synergists, was also researched. Out of natural antioxidants there were used rosemary extract and sage extract, BHA synthetic antioxidant and citric acid synergist. Oil samples were heated in microwave oven at constant power in different time intervals. Samples were also heated with different appliance power and in constant period. The result of accelerated hemp oil oxidation test is expressed by peroxide number. The increase in electric motor frequency and nozzle size results in the quantity decrease of produced hemp oil. The increase in the nozzle size temperature increases the production of crude oil and cold pressed oil. Microwave heating of oil samples in the period of 10 to 50 minutes leads to the increase of temperature and peroxide number which further leads to oxidative degradation. The highest hemp oil stability was achieved by the combination of rosemary extract and citric acid synergists.

Key words: hemp seeds, cold pressing, microwave heating, oxidation stability, antioxidants, synergists