Kemijske promjene sastava i boje sjemena sezama u procesu kondukcijskog sušenja tostiranjem

Mavričić, Tea

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:687722

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

TEA MAVRIČIĆ

KEMIJSKE PROMJENE SASTAVA I BOJE SJEMENA SEZAMA U PROCESU KONDUKCIJSKOG SUŠENJA TOSTIRANJEM

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

Poljoprivredna tehnika - Mehanizacija

Tea Mavričić

KEMIJSKE PROMJENE SASTAVA I BOJE SJEMENA SEZAMA U PROCESU KONDUKCIJSKOG SUŠENJA TOSTIRANJEM

Diplomski rad

Mentor: doc.dr.sc. Ana Matin

Zagreb, 2016.

Ovaj diplomski rad je ocijenjen i obranjen na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dana _____ s ocjenom _____ pred Povjerenstvom u sastavu:

1. doc. dr. sc. Ana Matin _____

2. prof. dr. sc. Milan Pospišil _____

3. doc. dr. sc. Marko Vinceković _____

Zahvala

Duboko se zahvaljujem mentorici doc.dr.sc. Ani Matin na vrlo korisnim i iskrenim savjetima, razumijevanju i pruženoj podršci i pomoći kako pri izradi ovog diplomskog rada tako i na pomoći pri provođenju potrebnih laboratorijskih istraživanja.

Također se zahvaljujem prof.dr.sc. Milanu Pospišilu i doc.dr.sc. Marku Vincekoviću na pregledu diplomskog rada.

Ovaj rad posvećujem svojim roditeljima, a posebno majci Suzani, bakama i djedovima koji su mi tijekom cijelog školovanja pružali bezuvjetno povjerenje, potporu, razumijevanje i ljubav.

Zahvaljujem se svojem osloncu Igoru Miličeviću jer je uvijek bio tu kad je bilo najpotrebnije.

Također se zahvaljujem i svojoj prijateljici i kolegici Ani Čale na nebrojenim satima zajedničkog učenja u knjižnici.

SAŽETAK

Sezam (*Sesamum indicum* L.) kao visokovrijedna uljna kultura predstavlja jednu od najznačajnijih sirovina za proizvodnju jestivog ulja u svijetu. Ovisno o sorti i uvjetima uzgoja sjeme sadrži 44-58% ulja. Plod sezama je tobolac, dlakav, pravokutnog presjeka. Sjeme sezama nalazi se u tobolcu, u kojem ima od 50 do 80 sjemenki. Ovisno o svojstvima sorte sjemenke mogu biti bijele, žućkaste, crne, sive ili smeđe boje. Sjemenka sezama ima gotovo najveći sadržaj ulja među uljaricama.

Kako bi se poboljšao kemijski sastav i omogućilo dugotrajno korištenje, sjemenke sezama se dorađuju termičkim postupkom, a najčešći je kondukcijsko sušenje tostiranjem. S obzirom da se tijekom kondukcijskog sušenja kemijski sastav sjemenki mijenja, cilj rada je utvrditi kemijske karakteristike sjemenki sezama, prije i nakon procesa kondukcijskog sušenja, s obzirom na temperaturu termičke dorade sušenjem.

U radu je korištena sorta bijelog sjemena G WALIOR (G) 5 i sorta crnog sjemena GUJARAT TIL 10 kod kojih je određen kemijski sastav sjemenki sezama. Sorta bijelog i sorta crnog sezama se kvalitativno i kvantitativno razlikuju, kako morfološki, tako i po kemijskim karakteristikama sjemenki. Od kemijskih karakteristika određena je količina vlage, pepela, škroba, sirovih masti te suhe tvari. Sjemenke obe sorte osušene su procesom kondukcijskog sušenja na temperaturi od 80, 100, 120 i 140°C kroz 120 minuta.

Nakon termičke dorade sjemenki sezama uočeno je da se sadržaj škroba povećao, što je pozitivna karakteristika. Također, termička dorada sjemenki sezama rezultirala je padom udjela vlage i pepela, što je i očekivano.

Ključne riječi: *Sesamum indicum* L., sezam, sorta, sušenje, temperatura

SUMMARY

Sesame (*Sesamum indicum* L.) as a high-quality oil crops is one of the most important raw material for the production of edible oil in the world. Depending on the cultivar and growing conditions seed contains 44-58% oil. The fruit of the Sesame is pouch, hairy, rectangular cross-section. Sesame seed is located in a pouch, in which there are 50 to 80 seeds. Depending on the characteristics of cultivars of sesame seeds it can be white, yellow, dark, black, gray or brown. Sesame seeds has nearly the highest oil content among oilseeds.

In order to improve the chemical composition and enable prolonged use, the seeds are being improved with conductive thermal process and the most common is drying process od toasting. Given that during the drying conductive chemical composition of the seed is changes, the aim of this work is to determine the chemical and nutritional characteristics of sesame seeds, before and after the process of conductive drying on chemical structure of sesame seeds, since the temperature and time of thermal treatment on drying.

In this work sort of white G WALIOR (G) 5 and sort of black sesame GUJARAT TIL 10 seeds were used, in which the chemical composition of a sesame seed was determinated. Cultivar of white and black sesame cultivar in many ways are qualitatively and quantitatively different, both morphologically, and by the chemical characteristics of the seed. From the chemical characteristics it was determined the amount of moisture, ash, starch, crude fat and dry matter. The seeds of both cultivars were dried in the conductive drying process on the four temperature 80, 100, 120 and 140°C for 120 minutes.

After thermal processing of sesame seeds, it was noted that the starch content increased, which is a positive feature. Also, thermal treatment of sesame seeds has resulted in a decline in the moisture content and ash content, as expected.

Key words: *Sesamum indicum* L., sesame seeds, cultivar, drying, temperature

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. CILJ RADA 2
3. PREGLED LITERATURE 3
3.1. Sezam 3
3.1.1. Porijeklo i rasprostranjenost 3
3.1.2. Važnost i upotreba sezama 4
3.1.3. Proizvodnja sezama u svijetu 5
3.1.4. Karakteristike ploda i sjemena sezama 6
3.2. Kemijski sastav sjemena sezama 8
3.2.1. Masti i masne kiseline 9
3.3. Sušenje i skladištenje sezama 11
3.3.1. Termička dorada sjemena sezama sušenjem 11
3.3.1.1. Vrste i tehnologija sušenja sezama 13
3.3.1.2. Konvekcijsko sušenje 13
3.3.1.3. Kondukcijsko sušenje tostiranjem 13
3.3.1.4. Sušenje isijavanjem 14
3.3.2. Čišćenje sjemenki sezama 15
3.3.3. Skladištenje sjemenki sezama 16
4. MATERIJALI I METODIKA ISTRAŽIVANJA 17
4.1. Istraživanje otpuštanja vlage iz sjemena sezama u laboratorijskom tosteru 17
4.2. Određivanje ukupne vlage u sjemenkama sezama 18
4.3. Određivanje udjela pepela u sjemenkama sezama 20
4.4. Određivanje udjela sirove masti 21
4.5. Određivanje škroba polarimetrijskom i Eweres-ovom metodom 22
4.6. Određivanje udjela ukupnog ugljika, vodika, dušika, sumpora i kisika u sjemenkama sezama 23

4.7. Određivanje intenziteta boje u sjemenkama sezama 24
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA 26
5.1. Otpuštanje vlage tijekom kondukcijskog sušenja 26
5.2. Kemijske karakteristike sjemenki sezama prije i nakon kondukcijskog sušenja tostiranjem 29
5.2.1. Udio vlage u sjemenkama sezama 29
5.2.2. Udio pepela u sjemenkama sezama 30
5.2.3. Udio sirovih masti 31
5.2.4. Udio škroba u sjemenkama sezama 32
5.2.5. Sadržaj ugljika, vodika, dušika, sumpora i kisika u sjemenkama sezama 33
5.2.6. Intenzitet boje u sjemenkama sezama 34
6. ZAKLJUČCI 36
7. LITERATURA 38
8. ŽIVOTOPIS 41

1. UVOD

Sezam (*Sesamum indicum* L.) je visokovrijedna uljna kultura iz porodice Pedaliaceae. Korištenje sezamova ulja spominje se još prije 7000 godina. Sezam je kultura tropskih i suptropskih područja. U svijetu se uzgaja na površini od oko 9 milijuna hektara. Interes za proizvodnju sezama se povećava, pa su površine na kojima se on uzgaja u laganom porastu.

Uzgaja se zbog sjemena koje ima gotovo najveći sadržaj ulja među uljaricama. Ovisno o sorti i uvjetima uzgoja sadrži 44-58% ulja. Osim ulja, sjeme sadrži 18-25% proteina i 13,5-18% ugljikohidrata i oko 5% pepela (Kahyaoglu i Kaya, 2006).

Ulje koje se dobiva hladnim tiještenjem smatra se jednim od najkvalitetnijih ulja u prehrani ljudi. Svijetlo žute je boje i ugodnog okusa, a po svom sastavu je najsličnije maslinovom ulju. Njegova najvažnija karakteristika je stabilnost koju mu daje sastojak sezamin koji hidrolizom prelazi u sezamol - jedan od jakih antioksidansa, posebno u crnom sezamu (Bedigan, 2010).

Osim u prehrambenoj industriji sezam se koristi i u farmaceutskoj, konditorskoj, kemijskoj industriji te za proizvodnju biodizela. Uljne pogače se koriste za hranidbu domaćih životinja. Sadrže preko 30% bjelančevina, oko 17% ugljikohidrata, preko 5% ulja, mineralne tvari i vitamine (Gagro, 1998).

Tostiranje je osnovna dorada u procesu dobivanja proizvoda od sezama, a vrši se radi poboljšanja okusa, boje i teksture što utječe na kvalitetu proizvoda. Ulje od tostiranog sezama ima intenzivniji orašasti okus i produženi rok za upotrebu.

Da bi se dobio što kvalitetniji proizvod, posebno se obraća pažnja na optimalnu temperaturu pri tostiranju, boju, strukturu i vrijeme tostiranja.

2. CILJ RADA

Cilj ovog rada je :

1. Istražiti optimalne uvjete kondukcijskog sušenja sjemena tostiranjem kod dvije sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10) na četiri temperature 80, 100, 120, 140°C u vremenu od 120 minuta.

2. Utvrditi kemijske karakteristike sjemena sezama prije te nakon procesa kondukcijskog sušenja tostiranjem, s obzirom na temperaturu sušenja:

- udjela vode,
- udjela pepela,
- udjela masti,
- udjela škroba,
- udjela C, H, N, S, O
- promjene intenziteta boje sjemenki sezama

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Sezam

3.1.1. Porijeklo i rasprostranjenost

Sezam potječe iz tropskih i suptropskih područja Afrike, gdje se i danas može naći u divljem obliku. U kulturi je poznat odavno, uzgajali su ga stari Grci 5000 g. prije Krista.

Sezamovo sjeme nađeno je u grobnicama egipatskih faraona. Iz južne Afrike, preko Etiopije sezam je prenesen u Indiju gdje su nastale nove forme sezama. Iz Indije sezam se proširio prema zapadu preko Afganistana i srednje Azije do mediteranskih zemalja i na istok u Kinu i Japan.

Uzgaja se i u svim zemljama oko Sredozemnog mora. U Makedoniju, gdje se najviše koristi za dobivanje tzv. Tahan ulja od kojeg se dobiva poslastica zvana tahan halva, donijeli su ga Turci. U južnim krajevima uspijeva na 800-900 m nadmorske visine, a u Afganistanu i do 1200 m.

Sezam može uspijevati i u našim nizinskim područjima u istočnoj Slavoniji, a u Dalmaciji se može uzgajati kao postrna kultura ako postoje mogućnosti navodnjavanja. Sezam ima kratku vegetaciju, pa se uspješno može uzgajati u postrnoj sjetvi, što omogućava bolje korištenje tla i profitabilniju proizvodnju (Gagro, 1998).

3.1.2. Važnost i upotreba sezama

Sezam se uglavnom uzgaja radi dobivanja visokokvalitetnog ulja izuzetno otpornog na oksidaciju (Abou-Gharbia i sur., 2000). Tome pridonosi visoka koncentracija antioksidansa u suradnji sa tokoferolima (Yoshida, 1999). Određene studije su pokazale da se dodavanjem ekstrakta sezama u suncokretovo ulje povećava njegova stabilnost i kvaliteta (Mohamed i Awatif, 1998).

Preradom sjemenki nakon ekstrakcije ulja ostaje ljuska sezama koja se, iako sadrži velike količine antioksidanata, smatra nusproizvodom i kao takva se koristi u ishrani životinja ili baca.

U prehrambenoj industriji se hladno tiješteno sezamovo ulje koristi za izradu maslaca, margarina, kruha, keksi, krekera, čokolade, tahineh paste, dok se ulje proizvedeno toplim tiještenjem ostataka dobivenih hladnim tiještenjem koristi u tehničke svrhe: za proizvodnju biodizela, za podmazivanje, za proizvodnju sapuna, indigo papira te u tvornici parfema kao fiksator mirisa iz cvjetova (slika 1).



Slika 1. Proizvodi od sezama
(Izvor: waynesword.palomar.edu)

3.1.3. Proizvodnja sezama u svijetu

Sezam se u svijetu uzgaja kao uljna kultura i sadašnja svjetska proizvodnja sezama prema podatcima za 2013. godinu iznosi 4 848 000 t/god (tablica 1.).

Prema FAO statistici (2014) najveći svjetski proizvođač sezama je Mianmar (890 000 t/god), a na drugom mjestu je Indija (636 000 t/god) zatim Kina (623 000 t/god) (tablica 1). Vidljiva su velika variranja u prinosu sjemena, što je i razumljivo jer su različiti agroekološki uvjeti uzgoja, o kojima značajno ovise prinosi sjemena.

Tablica 1. Najveći proizvođači sezama u svijetu u 2013. godini

Država	Proizvodnja (000 t)	Površina (000 ha)	Prinos (t/ha)
Mianmar	890	1590	0,56
Indija	636	1860	0,34
Kina	623	418	1,49
Sudan	562	2157	0,26
Tanzania	420	630	0,66
Etiopija	187	282	0,66
Uganda	180	290	0,62
Nigerija	165	340	0,48
Burkina Faso	137	203	0,67
Mozambik	110	210	0,52
Ukupno Svijet	4848	9416	0,51

(Izvor: http: faostat.fao.org)

3.1.4. Karakteristike ploda i sjemena sezama

Plod sezama je izduženi tobolac prosječne dužine 2-4 (2,5-8) cm, koji je pri bazi zaobljen, a prema vrhu zašiljen. Tobolci su uglavnom goli, ali ima i formi kod kojih su tobolci jako dlakavi (slika 2).



Slika 2. Dlakavi plod sezama i sjeme s ljuskom
(Izvor: waynesword.palomar.edu)

Tobolac je podijeljen na 4 ili 8 dijelova, što ovisi o tome da li je tučak sastavljen od 2 ili 4 oplodna listića. Oplodni listići se tijekom procesa nalijevanja sjemena i zriobe svojim krajevima savijaju prema unutrašnjosti tobolca i tako formiraju „lažne pregrade“ koje dijele tobolac na 4 ili 8 takozvanih loža. Na osnovu toga izvršena je i podjela sezama na dvije podvrste (Pospišil, 1993):

1. **Sesamum indicum subsp. bicarpellatum (dvokarpelni)** kod kojeg je tobolac nastao iz 2 oplodna listića i na poprečnom presjeku ima oblik pravokutnika,
2. **Sesamum indicum subsp. quadricarpellatum (četirikarpelni)** kod kojeg je tobolac nastao od 4 oplodna listića, a na poprečnom presjeku ima oblik kvadrata.

Kod starijih sorata zreli tobolci su na vrhu pucali i rasipavali sjeme, dok kod novijih sorata tobolci u zrelom stanju ne pucaju. Ovisno o sorti i agroekološkim uvjetima, na jednoj biljci može biti do 300 tobolaca, ali obično ih je 40-60. Tobolci na nižim etažama prije dozore, nego oni pri vrhu. Prinos sjemena je direktno pod utjecajem gustoće sjetve. Kod velike gustoće ili manjeg razmaka unutar reda reducira se broj tobolaca i broj sjemenki po tobolcu (Pospišil, 1993).

Sjeme smješteno u tobolcu u 4 ili 8 okomitih redova je vrlo sitno, plosnato, jajastog oblika. Sazrijeva postupno, kod sorata čiji tobolci pucaju ono se osipa. U jednom tobolcu ima 50-80 sjemenki. Masa 1000 sjemenki je 2,5-3,5 grama, a hektolitarska masa 60-65 kilograma. Boja sjemena može biti: bijela, žuta, smeđa ili crna (Pospišil, 1993)(slika 3.).



Slika 3. Sjemenke oljuštenog crnog i bijelog sezama
(Izvor: waynesword.palomar.edu)

3.2. Kemijski sastav sjemena sezama

Sjemenka sezama specifičnih je svojstava s obzirom na genotip, proces dorade, termički tretman i skladištenje. Za sezam i ostale uljarice karakteristična je količina ulja (masti) i količina vode (tablica 2). To su dvije važne komponente koje sudjeluju u biokemijskim procesima, koji se događaju tijekom skladištenja uljarica.

Sadržaj ulja može znatno varirati ovisno o tipu sezama. Kod nekih sorata iz centralne Azije, Afganistana i Turske utvrđen je sadržaj ulja od 61-63%

Tablica 2. Kemijski sastav sjemena sezama

	Cijelo sjeme	**Oguljeno sjeme (jezgra)**
Vlaga (%)	5.4	5.5
Energija (Kal.)	563	582
Bjelančevine (%)	18.6	18.2
Masti (%)	49.1	53.4
Ukupni ugljikohidrati (g)	21.6	17.6
Ukupna vlakna (g)	6.3	2.4
Pepeo (g)	5.3	5.3
Ca (µg)	1160	110
P (µg)	616	592
Fe (µg)	10.5	2.4
Na (µg)	60	-
K (µg)	725	-
Vitamin A (IU)*	30	-
Tiamin (µg/100g)	0.98	0.18
Riboflamin (µg/100g)	0.24	0.13
Niacin (µg/100g)	5.4	5.4

*IU = internacionalna jedinica

(Izvor:www.scielo.br)

3.2.1. Masti i masne kiseline

Masti su organski spojevi koji sudjeluju u izgradnji bilo kojeg živog bića. Uz ugljikohidrate predstavljaju najvažniji izvor energije. Ljudski organizam zahtijeva da se iz masti podmiri 25-35% dnevnih energetskih potreba, bilo da ih dobivamo izravno iz hrane ili mobilizacijom iz masnih tkiva (Vujević, 2010).

U kemiji, masti su generalno esteri glicerola i masnih kiselina. Masti sadrže mnogo energije, tako da se u 100 grama masti nalazi 900 kalorija. Masti su vrlo važne i nužne u ljudskoj prehrani. Dobar izvor masti je maslinovo ulje, dok su neke vrste ulja dobar izvor omega-3, a u prehrani su također potrebne i nezasićene masne kiseline (www.bpm.hr).

Masne kiseline su sastavni dio masti i ulja, a mogu biti zasićene i nezasićene, ovisno o tome jesu li veze između ugljikovih (C) atoma u lancu masne kiseline popunjene ili ne. Konzistenciju smjese masnih kiselina utvrđuje količina zastupljenih zasićenih ili nezasićenih masnih kiselina, pa ako prevladavaju zasićene masne kiseline govorimo o mastima, a ako je više nezasićenih masnih kiselina govorimo o ulju (www.hčjz.hr). Masne kiseline s malim razlikama u strukturi mogu imati vrlo različit metabolički učinak, pa tako postoje zasićene, nezasićene, esencijalne i transmasne kiseline (www.pharma.hr).

Sezamovo ulje (slika 4.) sadrži najviše oleinske (C18:1) masne kiseline (45-49%), zatim linolne (C18:2) masne kiseline (37-41%) i nekoliko drugih viših masnih kiselina, ali u znatno manjem postotku (Tablica 3.)



Slika 4. Sezamovo ulje dobiveno hladnim prešanjem sjemenki sezama

(Izvor: http://www.sesamegrowers.org/)

Tablica 3. Sastav masnih kiselina sezamovog ulja

	Komercijalni uzorci (%)	**Svjetska kolekcija (%)**
Oleinska kiselina	45.3-49.4	32.7-53.9
Linolna kiselina	37.7-41.2	39.3-59.8
Palmitinska kiselina	7.8-9.1	8.3-10.9
Stearinska kiselina	3.6-4.7	3.4-6.0
Arahinska kiselina	0.4-1.1	-
Hexadecenoična kiselina	0.0-0.5	-
Miristinska kiselina	0.1	-
Jodni broj*	-	106-138

* Jodni broj = količina joda u gramima koju adira 100 g masti ili ulja. Jodni broj daje predstavu o broju nezasićenih dvostrukih veza u trigliceridu jer se jod adira na mjestu dvostrukih veza.

(Izvor:www.scielo.br)

3.3. Sušenje i skladištenje sezama

3.3.1. Termička dorada sjemena sezama sušenjem

Plod, bez obzira kojoj biljnoj vrsti pripada, mora se sačuvati od jedne berbe do druge. U vrijeme berbe, većina proizvoda ima veću vlažnost u odnosu na higroskopnu. Zbog toga, da bi se moglo pravilno skladištiti, mora se konzervirati (Krička i sur., 2007). Primarni zadatak konzerviranja sušenjem je proizvodu sačuvati njegova karakteristična prvobitna svojstva i pružiti trajnost (Krička, 1993).

Sušenje je najstariji, ali i najjednostavniji način konzerviranja. Zadatak tehnike i tehnologije sušenja je da sušenjem obavi konzerviranje poljoprivrednih proizvoda i to (Katić, 1997):

1. sa što je moguće manjim promjenama kakvoće proizvoda,
2. sa što manjim utroškom energije za sušenje,
3. sa što manjim oštećivanjem proizvoda,
4. uz što manje zagađivanje okoliša tijekom sušenja.

Osnovni zadatak sušenja je odvajanje suvišne vode iz ploda, a da se pri tome sačuva njegova kakvoća. Osim čuvanja kakvoće proizvoda, proces sušenja mora biti ekonomičan, a učinak sušare što veći.

Brzina i kakvoća sušenja ovisi o samom načinu sušenja. Tako je kod prirodnog sušenja temperatura zraka približna temperaturi ploda te je proces sušenja dugotrajan. Ukoliko se kao medij koristi ugrijani zrak, proces sušenja se odvija brže. Povišenjem temperature zraka smanjuje se njegova relativna vlažnost, pa povećana razlika vlažnosti između zrna i zraka pospješuje sušenje. Na efikasnost sušenja utječe zrak svojim toplinskim intenzitetom, relativnom vlažnošću, brzinom strujanja i konstrukcijom sušare (Sito, 1993).

U procesu sušenja, zrno u dodiru s okolnim zrakom otpušta vodu do stanja svoje higroskopne ravnotežne vlažnosti. Nivo vlažnosti zrna pri kojem će se uspostaviti higroskopna ravnotežna vlažnost ovisi o stanju zraka, njegovoj temperaturi i relativnoj vlažnosti. Higroskopna relativna vlažnost u istim uvjetima ravnotežnog zraka različita je za pojedine kulture (Katić, 1997).

U procesu sušenja radni medij (zrak) ima dvije funkcije: prenosi toplinu od izvora topline i predaje je materijalu kojeg suši te istovremeno prima vodu koja je ovom toplinom isparena iz

materijala i prenosi je u atmosferu. Zrak koji se koristi kao medij za sušenje je vlažni zrak, odnosno smjesa različitih plinova (najviše dušika i kisika) i vodene pare. Količina vodene pare u zraku promjenjiva je i kreće se od 0-4 volumna postotka, a može se izraziti kao parcijalni tlak vodene pare u ukupnoj smjesi vlažnog zraka (Ritz, 1997).

Sušenje može nastupiti tek onda kada je razlika parcijalnih tlakova vodene pare između proizvoda koji se suši i zraka tolika da voda prelazi iz zrna u zrak.

Za postupak sušenja mora postojati mogućnost kretanja vode i vodene pare unutar samog proizvoda. Kretanje vode u kapilarama uvjetuju osmotski tlak i površinska napetost meniskusa vode u kapilari.

Kod kretanja pare u pukotinama, porama i kapilarama postoje dva načina: „molekularna difuzija“ i „difuzija pare“. Prema tomu, razlikujemo tri faze sušenja:

prva faza – ishlapljivanje, nastaje samo na površini proizvoda. Tako dugo dok površinu proizvoda koji se suši možemo promatrati kao površinu tekućine, sušenje je uvjetovano samo vanjskim čimbenicima i ostaje konstantno, dok su vanjski čimbenici nepromjenjivi.

druga faza – gdje ishlapljivanje ne nastaje samo na površini, već i u unutrašnjosti proizvoda. Brzina sušenja u ovoj fazi nije konstantna, niti se kreće linearnim zakonitostima. Ovu fazu nazivamo „faza higroskopne vlage“ proizvoda. Brzina sušenja ovisi o mogućnosti brzine kretanja vode unutar proizvoda

treća faza – u kojoj nastaje sušenje proizvoda do potpunog udaljavanja vode. Ovdje svi dijelovi proizvoda podjednako sudjeluju u sušenju te iz proizvoda udaljujemo kemijski vezanu vodu. Proizvod se potpuno suši.

U procesu sušenja, vlaga se kreće iz unutrašnjosti zrna prema površini i s površine zrna na agens sušenja. Proces izdvajanja vode odvija se u dvije faze. Prva faza je isparavanje vode s površine zrna i njen prelazak na agens sušenja, a druga faza je kretanje vode iz unutrašnjosti zrna prema površini (Ritz, 1997).

3.3.1.1. Vrste i tehnologija sušenja sezama

Postoje tri vrste sušenja:

- konvekcijsko,
- kondukcijsko,
- isijavanje.

3.3.1.2. Konvekcijsko sušenje

Konvekcijsko sušenje je najstarija metoda sušenja (Krička, 1997). Prilikom konvekcijskog sušenja određena količina topline se s radnog medija konvekcijom predaje proizvodu koji se suši. Radni medij je okolni vlažni zrak, koji pri ovom načinu sušenja ima još jednu ulogu, a to je preuzimanje i odvođenje vlage iz sustava.

3.3.1.3. Kondukcijsko sušenje tostiranjem

Posljednjih nekoliko godina u svijetu se počinju istraživati razni postupci pripreme i dorade proizvoda čiji je glavni cilj dobivanja proizvoda bolje kvalitete i probavljivosti. Jedan od takvih postupaka je i kondukcijsko sušenje – tostiranjem. Kondukcijsko sušenje tostiranjem mijenja i poboljšava okus, boju, teksturu i izgled ploda koji se tostira. Rezultat je proizvod delikatan i jedinstven po okusu i izgledu u odnosu na netretirane (prirodne) proizvode (Matin, 2012).

Tostiranje kao proces predstavlja novi postupak termičke dorade proizvoda te uključuje niz fizikalno-kemijskih promjena, uključujući i izmjenu topline, kemijske reakcije i sušenje (Matin, 2012).

Kondukcijskim sušenjem određena se količina topline s radnog medija kondukcijom predaje proizvodu koji se suši. Radni medij u ovom slučaju je neka radna površina povišene temperature. Temperature koje se kreću kod takvog sušenja kreću se u rasponu od 80 do 250°C i to u vremenu od svega 5 do 60 minuta (Özdemir i sur., 2000). Tostiranjem se želi

postići inaktivacija enzima i mikroorganizama koji ubrzavaju kvarenje, odnosno razvoj nepoželjnih biokemijskih procesa (Sanders i sur., 1989).

3.3.1.4. Sušenje isijavanjem

Sušenje isijavanjem se obavlja pomoću elektromagnetskih valova različitih valnih dužina koji strujanjem zraka ne ispuštaju toplinu u okolinu, već je oslobode tek prilikom dodira s proizvodom koji se termički dorađuje. Zrak se koristi da bi se vlaga, koja je isparila, iznijela iz sustava.

Zbog morfoloških svojstava sjemenki sezama, tehnologija sušenja sezama ima svoje osobitosti.

Žetva sezama se vrši kad je početna vlaga od 6-6,9%. Tada su sjemenke sezama najkvalitetnije, količina prašine i ostataka je svedena na minimum, a sipkost je povećana. Zbog očuvanja kvalitete i produljenja vremena skladištenja, sezam se dodatno suši temperaturom zraka od 50°C do vlage od 2,2-3,9%.

Sušiti možemo okolnim nezagrijanim zrakom (ventiliranjem) te zagrijanim toplim ili vrućim zrakom. Za sušenje sjemena hladnim zrakom potrebno je prozračivanje od minimalno 0,6-1,0 $m^3/min/dct$ (Langham i sur., 2008).

3.3.2. Čišćenje sjemenki sezama

Da bi se sirovo sjeme moglo doraditi u silosu, mora se dobro očistiti u stroju za predčišćenje. Uspješnost predčišćenja presudna je za daljnje rukovanje i sušenje robe. Predčišćenje sjemena je obavezno prije sušenja, naročito ako su kombajni kojima se sezam bere loše podešeni pa u masi sjemenja dolaze u sušaru i dijelovi tobolca sezama. Osušen i neočišćen sezam treba čistiti na silosnom aspiratoru sa sitima za čišćenje kukuruza ili mahunarki (promjera sita od 1,3-2,5 cm).

Sita moraju imati dovoljno veliku površinu sijanja, jer masa sezama teško prolazi preko sita u visokom sloju. Rotaciona sita kod kojih pokretanje mase sjemenja nastaje uslijed rotiranja bubnja, pokazala su da su u radu sigurnija od vibracionih sita. Posebnu pažnju treba posvetiti brzini zraka kod pred čistača i pri odprašivanju transportnih linija jer zbog male mase može doći do gubitaka čitavog sjemena u pljevu. Uslijed male mase i velikog sadržaja primjesa i vlage, sjeme sezama je sklono stvaranju nakupina. Sipkost mu je u tim uvjetima jako smanjena. Zato je potrebna stalna kontrolna linija i pažljivo očišćeno sjemenje (Langham i sur., 2008).

3.3.3. Skladištenje sjemenki sezama

Završna operacija u poljoprivredi je skladištenje proizvoda koji mora biti skladišten tako, da se kakvoća sačuva do trenutka prerade ili do potrošnje. Skladištenje je proces koji vremenski povezuje fazu proizvodnje s fazom potrošnje. Skladište mora osigurati brz ritam izmjene robe ili na tržištu ili u proizvodnji (Krička i sur., 2007).

Temperatura u sjemenu mora se redovito kontrolirati nakon što se sjeme uskladišti. Učestalost kontrole varira lokalitetom ili područjem, tipom skladišta, relativnom vlagom zraka, temperaturom i kondicioniranjem sjemena koje je uskladišteno.

Guberac i sur. (1997) su utvrdili da su temperatura skladištenja i relativna vlaga sjemena, značajni čimbenici za dug život sjemena. Relativna vlaga zraka i visoka temperatura skladištenja su u negativnom odnosu s dugim životom sjemena i njegovom klijavošću.

Šimić i sur. (2006) proučavali su utjecaj skladišnih uvjeta na sadržaj ulja u sjemenu tri kultivara ratarskih kultura (suncokret, soja i kukuruz) tijekom tri godine skladištenja, i dolaze do spoznaje da tijekom godina skladištenja dolazi do gubitka sadržaja ulja u sjemenu.

Kvaliteta sjemena koje ulazi u skladište bitno određuje dugovječnost sjemena, uvjetovana je klimatskim uvjetima prije žetve, tretmanom sjemena tijekom kombajniranja, načinom držanja sjemena prije dorade (sušenja) i zdravstvenim stanjem sjemena (ph, 2004).

Temperatura i vlaga skladišnog prostora, te vlaga sjemena međusobno su vrlo povezani i ne mogu se odvojeno promatrati. Sjeme relativno brzo prima ili otpušta vlagu iz okoline.

Pored visoke vlage i visoka temperatura još više pogoduje razvoju bolesti i štetnika, dok ih niže temperature usporavaju i zaustavljaju u razvoju. Kod sjemena koje je dobro pripremljeno za skladištenje procesi disanja su svedeni na minimum, a promjene kakvoće sjemena (ulje i bjelančevine) su neznatne (Rozman i Liška, 2011).

Bennet (1993) je utvrdio da su optimalniji uvjeti skladištenja sezama pri temperaturi do 18°C, relativnoj vlazi zraka oko 50% i vlazi sjemena manjoj od 6%.

4. MATERIJALI I METODIKA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta na sjemenkama dvije sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10).

Uzorci sjemena sezama uzgojeni su u Boliviji, a nabavljeni su od uvoznika za RH – Biovega.

Termička dorada sjemena sezama provedena je kondukcijskim sušenjem tostiranjem pomoću laboratorijskog tostera. Sušenje je obavljeno na temperaturi zraka od 80°C, 100°C, 120°C i 140°C u vremenu od 120 minuta na 6 uzoraka (svaki po 100 g) od svake sorte.

4.1. Istraživanje otpuštanja vlage iz sjemena sezama u laboratorijskom tosteru

Toster se sastoji od kućišta s vratima u kojem je ugrađena perforirana ploča dimenzije 800 x 800 mm. Pomoću aksijalnog ventilatora vrući zrak se izvlači iz tostera (slika 5.). Na samom tosteru ugrađene su 3 PT 1000 sonde za mjerenje temperature zraka na ulazu i izlazu iz tostera te mjerenje temperature sjemena sezama u struji zraka. Početna regulacija temperature zraka je ručna, a zatim se prebacuje automatski. Mjerenje brzine zraka nakon prolaska kroz sloj uzorka obavljena je pomoću digitalnog anemometra marke Testo, Model 400, Velika Britanija. Područje očitanja digitalnog anemometra je od 0,3 do 30 m/s, uz točnost od ±0,2 m/s.

Uz laboratorijski toster postavljena je digitalna vaga. Tijekom termičke dorade na svim temperaturama u vremenu od 120 minuta svakih 15 minuta metalna posuda odvajala se od laboratorijskog tostera i stavljala na digitalnu vagu.



Slika 5. Laboratorijski model tostera (snimila: T. Mavričić)

4.2. Određivanje ukupne vlage u sjemenkama sezama

Nakon čišćenja uzoraka od nečistoća, svim uzorcima se odredila trenutna vlaga u sušnici (slika 6.).

Određivanje sadržaja vlage provodi se prema protokolu (CEN/TS 14774-2:2004) u laboratorijskoj sušnici. Voda (vlaga) se određuje metodom sušenja sjemena u sušnici na 103ºC (±2ºC) tijekom 3 sata do konstantne mase, kad se pretpostavlja da uzorak osim vlage ne sadrži nikakve druge hlapive sastojke ili produkte koji mogu izazvati promjenu mase istraživanog uzorka. Sušenje uzorka provedeno je u laboratorijskoj sušnici (INKO ST-40, Hrvatska) s mogućnošću regulacije temperature od 40 do 240ºC prema protokolu. Točnost mjerenja je ±0,1ºC, a volumen radnog prostora 20 L.



Slika 6. Laboratorijska sušnica (snimila: T. Mavričić)

Količina vlage računa se na osnovu razlike mase prije i poslije sušenja i to uzoraka poznate mase prema formuli:

$$W_1 = \frac{(B-C) \cdot 100}{B-A} \ (\%)$$

w_1 = udio vlage (%)

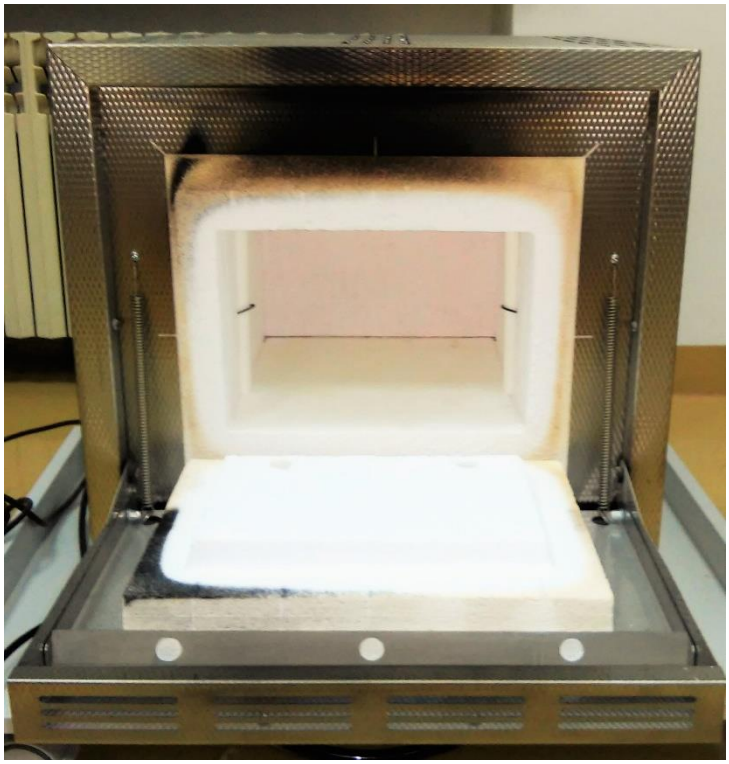
A = odvaga prazne posudice (g)

B = odvaga prazne posudice + uzorak prije sušenja (g)

C = odvaga prazne posudice + uzorak nakon sušenja (g)

4.3. Određivanje udjela pepela u sjemenkama sezama

Određivanje udjela pepela provodi se prema protokolu (CEN/TS 14775:2004). Provodi se na visokim temperaturama od 500-600°C u vremenu od 5-6 sati, što ovisi o vrsti uzorka. Sastoji se od spaljivanja uzoraka analiziranog materijala poznate mase i mjerenja ostataka. Određivanje udjela pepela sjemenki sezama provedeno je na temperaturi 550°C u vremenu od 5 sati i 30 minuta u mufolnoj pećnici Naberthem B170 (Lilienthal, Njemačka) (slika 7.).



Slika 7. Mufolna pećnica (snimila: T. Mavričić)

4.4. Određivanje udjela sirove masti

Određivanje udjela sirovih masti provodi se prema protokolu (HRN ISO 6492:2001). Osnova ove metode je ekstrakcija sirovih masti pomoću organskog otapala petroletera.

Oko 5 do 10 g uzorka s točnošću od 0,1 mg odvaže se u celulozni tuljac. Celulozni tuljac se pokrije slojem odmašćene suhe vate i stavi u srednji dio Soxhlet aparata (ekstraktor) koji se zatim spoji s hladilom i praznom posudicom za sakupljanje ekstrakta - tikvicom. Tikvica s nekoliko staklenih kuglica prethodno treba biti osušena na 105ºC. Postupak ekstrakcije traje oko 6 sati, ovisno o uzorku. Nakon postupka ekstrakcije tikvica s uzorkom masti suši se 1 sat na 105ºC, odnosno do konstantne mase kad se tikvica važe.

Sadržaj sirovih masti određen je na ekstraktoru Soxhlet R 304 (Behr Labortechnik GmbH, Njemačka) te određen prema formuli:

$$\text{Količina masti} = \frac{a \cdot 100}{b} (\%)$$

a = masa ekstrahirane masti (g)

b = masa ispitivanog uzorka (g)



Slika 8. Soxhlet aparat (snimila: T. Mavričić)

4.5. Određivanje škroba polarimetrijskom i Eweres-ovom metodom

Za određivanje sadržaja škroba u uzorcima primjenjuje se polarimetrijska metoda po Eweresu (HRN ISO 6493:2001) na polarimetru (KRÜSS, P3001, Njemačka) . Škrob pokazuje visoku optičku aktivnost te se na osnovi toga može odrediti i polarimetrijski, nakon što se prethodno prevede u topljivo stanje hidrolizom s kiselinom. U čašu od 100 ml se odvagne oko 5 g uzorka (±0,01), zatim se uzorak na suho prenese preko staklenog lijevka u odmjernu tikvicu od 100 ml, a čaša i lijevak se isperu s 50 ml 1,124% HCl. Tikvica se, uz povremeno lagano mućkanje, drži 15 minuta u kipućoj vodenoj kupelji na temperaturi od 95°C. Nakon 15 minuta tikvica se izvadi iz vodene kupelji i doda se 20 ml hladne vode. Sadržaj tikvice se potom ohladi na temperaturu 20°C uz pomoć mlaza vodovodne vode. Nakon toga se u tikvicu doda 10 ml 4%-tne fosfo-volframske kiseline da bi se istaložile otopljene bjelančevine, nadopuni se vodom te ostavi nekoliko minuta da se sadržaj slegne i profiltrira kroz filter papir. S bistrim filtratom napuni se polarizacijska cijev i polarimetrira. Sadržaj ukupnog škroba određen je prema formuli:

$$\%\ škroba = \frac{100 \cdot \alpha \cdot 100}{[\alpha]20\ \mathrm{D} \cdot l \cdot m}$$

gdje je:

α – očitani kut skretanja,

$[\alpha]^{20}{}_{D}$ – specifični kut skretanja škroba,

l – dužina polarizacijske cijevi,

m – masa uzorka (g).

4.6. Određivanje udjela ukupnog ugljika, vodika, dušika, sumpora i kisika u sjemenkama sezama

Istraživanje ukupnog ugljika, vodika, dušika, sumpora i kisika provedeno je u Zavodu za opću proizvodnju bilja, metodom suhog spaljivanja na Vario, Macro CHNS analizatoru (slika 9.) prema protokolima HRN ISO 13878: 2004 za dušik, HRN ISO 10694: 2004 za ugljik i HRN ISO 15178: 2005 za sumpor.

Postupak se bazira na spaljivanju uzoraka u struji kisika na 1150°C uz prisutnost volfram (VI) oksida kao katalizatora. Prilikom spaljivanja oslobađaju se: NO_X, CO_2, SO_3 i H_2O plinovi. U redukcijskoj koloni, koja je zagrijana na 850°C, uz pomoć bakra kao redukcijskog sredstva, NO_X plinovi reduciraju do N_2, a plinovi SO_3 do SO_2. Nastale N_2 plinove helij (plin nosilac) nosi direktno na detektor TCD (termo-vodljivi detektor). Dok ostali plinovi CO_2, H_2O, SO_2 prije dolaska na detektor prolaze kroz adsorpcijske kolone za CO_2, H_2O i SO_2.



Slika 9. CHNS analizator
(Izvor: www.depts.ttu.edu)

Nakon dobivenih rezultata udjela ukupnog ugljika, vodika, dušika i sumpora metodom suhog spaljivanja izračuna se udio kisika u biomasi.

Količina kisika se dobiva matematički iz izračuna:

$O = 100 – C – H – N – S$ (%)

4.7. Određivanje intenziteta boje u sjemenkama sezama

Boja je određena kolorimetrom (Colortec PCM) po CIE LAB sistemu boja. Prije mjerenja kolorimetar je kalibriran (baždaren). Boja je opisana vrijednostima H, C i L.

Vrijednost H (ton boje, engl. *Hue angle*) predstavlja vizualni doživljaj prema kojem se procjenjuje boja sa sljedećim vrijednostima: 0°- 90° crvena - purpurna, 90°- 180° žuta, 180°- 270° plavo - zelena, 270°- 360° plava boja (Hunt, 2004)

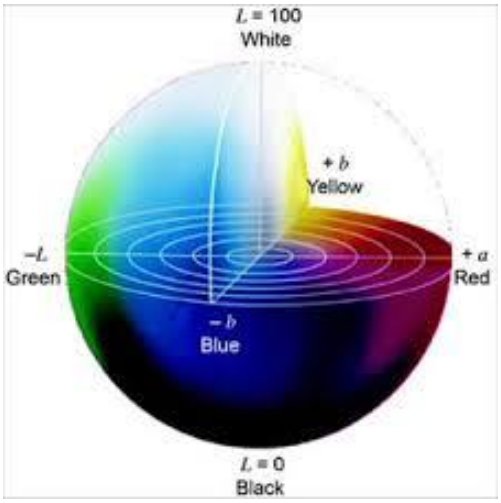
Vrijednost C (boja, engl. *Chroma*) predstavlja intenzitet boje koja se izračunava prema formuli.

$$C = (a^2 + b^2)^{*½}$$

a – plavo-zelena/crveno-purpurna komponenta (odnos zelena/crvena)

b – žuto/plava komponenta

Prikazana L, slika 10. (koeficijent obojenosti, engl. *Lightness coefficient*) vrijednost predstavlja svjetloću boje, pri čemu se niže vrijednosti odnose na slabiju obojenost (svjetlije boje), a više vrijednosti na tamnije obojenje.



Slika 10. CIELab prostor boja

(Izvor: www.eprints.grf.unizg.hr)

Negativna vrijednost (-a) ukazuje na prisutnost zelene boje dok pozitivna vrijednost (+a) ukazuje na prisutnost crvene boje. Brojčana vrijednost b označava prisutnost žute ili plave boje. Negativna vrijednost (-b) označava prisutnost plave boje, dok pozitivna vrijednost (+b) označava prisutnost žute boje. Pomoću vrijednosti (a) i (b) može se izračunati intenzitet, tj. Zasićenost boje c (eng-chroma) prema formuli:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Pomoću vrijednosti (a) i (b) iz koordinatnog sustava može se iščitati vrijednost H (ton boje; eng. hue angle) koja predstavlja vizualni doživljaj boje.

Područje prvog kvadranta (0-90°) koordinatnog sustava područje je crvene-purpurne boje, područje drugog kvadranta (90-180°) područje je žute boje, područje trećeg kvadranta (180-270°) predstavlja područje plavo-zelene boje, a područje četvrtog kvadranta (270-360°) predstavlja područje plave boje (Hunt, 2004).

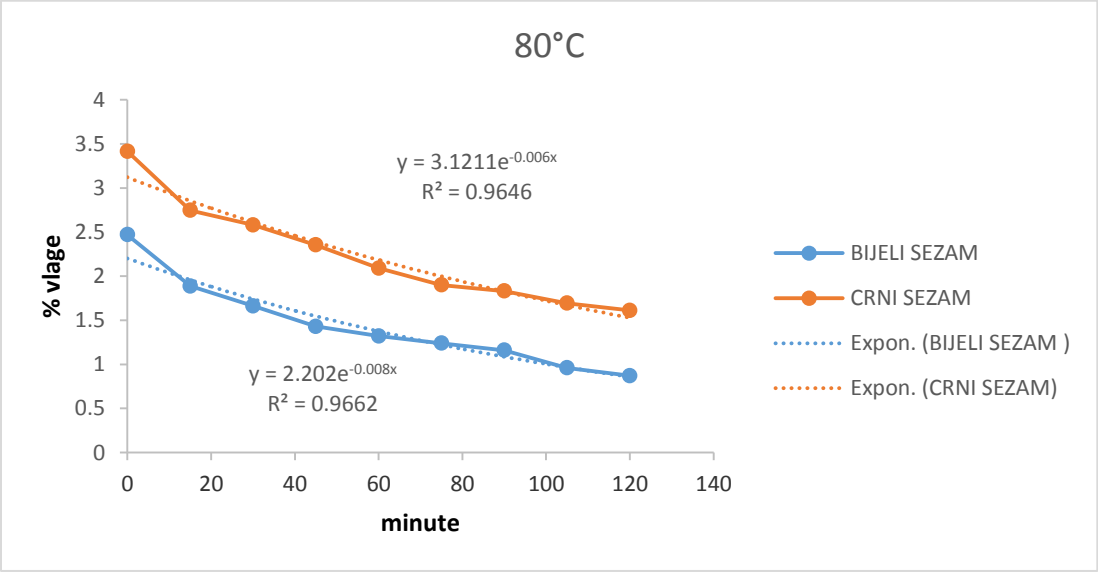
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

5.1. Otpuštanje vlage tijekom kondukcijskog sušenja

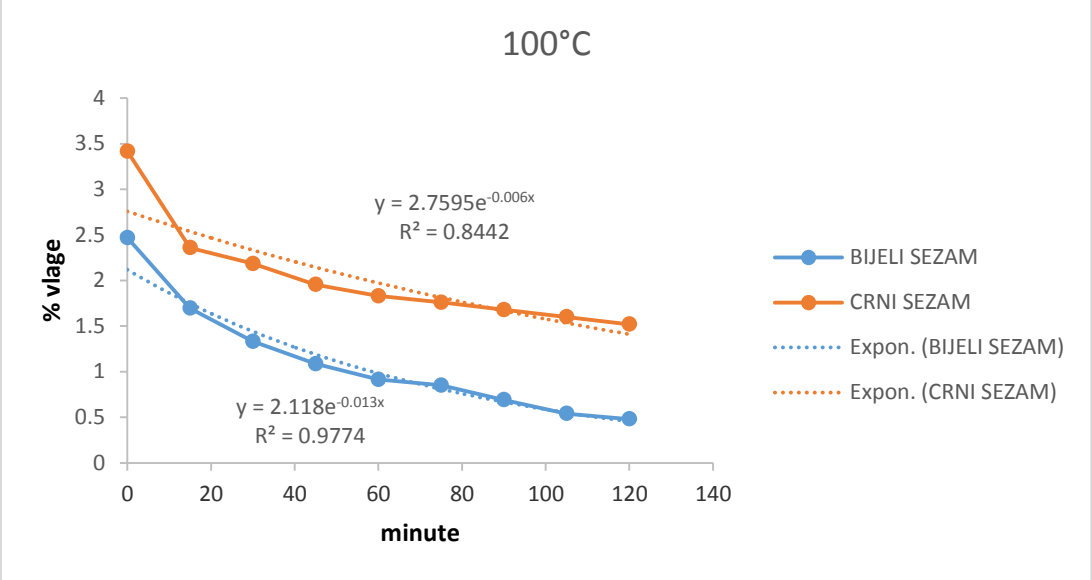
Otpuštanje vlage sjemenki sezama provedeno je u laboratorijskom tosteru gdje su se uzorci bijelog i crnog sezama termički doradili sušenjem u vremenu od 120 minuta. Prije početka sušenja uzorcima je određena vlažnost, te je izmjerena njihova ukupna masa. U samom procesu sušenja uzorcima je određivana masa vaganjem svakih 15 minuta kako bi se utvrdio pad vlažnosti. Temperatura zraka za sušenje održavana je na vrijednosti od 80, 100, 120 i 140°C. Po završetku sušenja uzorcima je određena vlažnost, te su iz tog podatka i odvage kompletnog uzorka tijekom sušenja, konstruirane krivulje sušenja sjemenki.

Rezultati brzine otpuštanja vode iz sjemenki sezama do ravnotežne vlažnosti prikazani su u dijagramima od 1 do 4, a izračunate su na osnovu izmjerenih podataka o gubitku mase svakih 10 minuta. Nadalje, matematičkim modeliranjem dobivena je vrijednost brzine otpuštanja vode do ravnotežne vlažnosti kako bi se egzaktno moglo usporediti razlike u otpuštanju vode istraživanih sorti sezama.

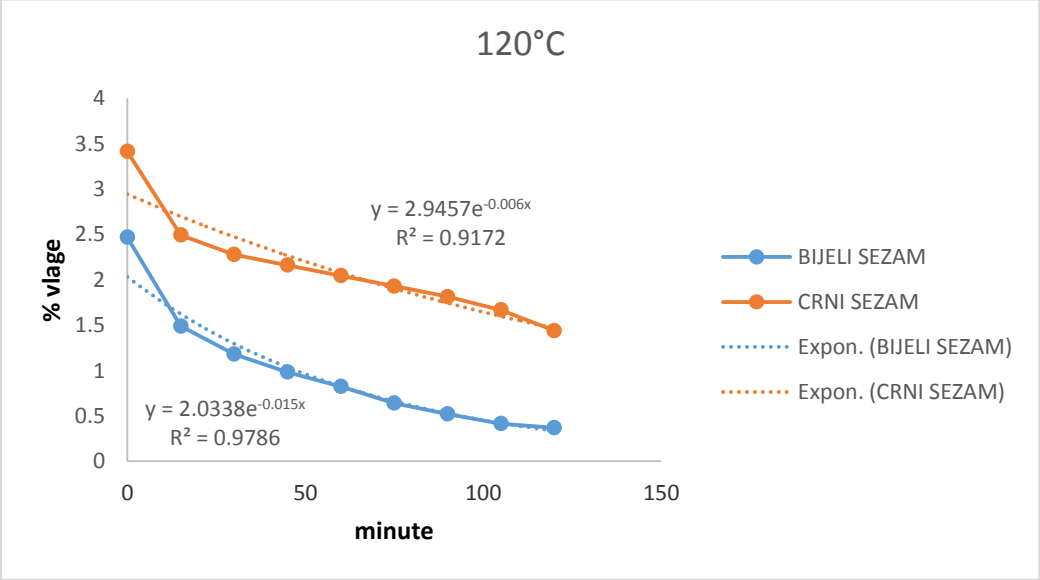
Dijagram 1. Krivulje otpuštanja vlage iz sjemenki sezama u vremenskom periodu od 120 minuta pri temperaturi od 80°C za dvije sorte (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10).



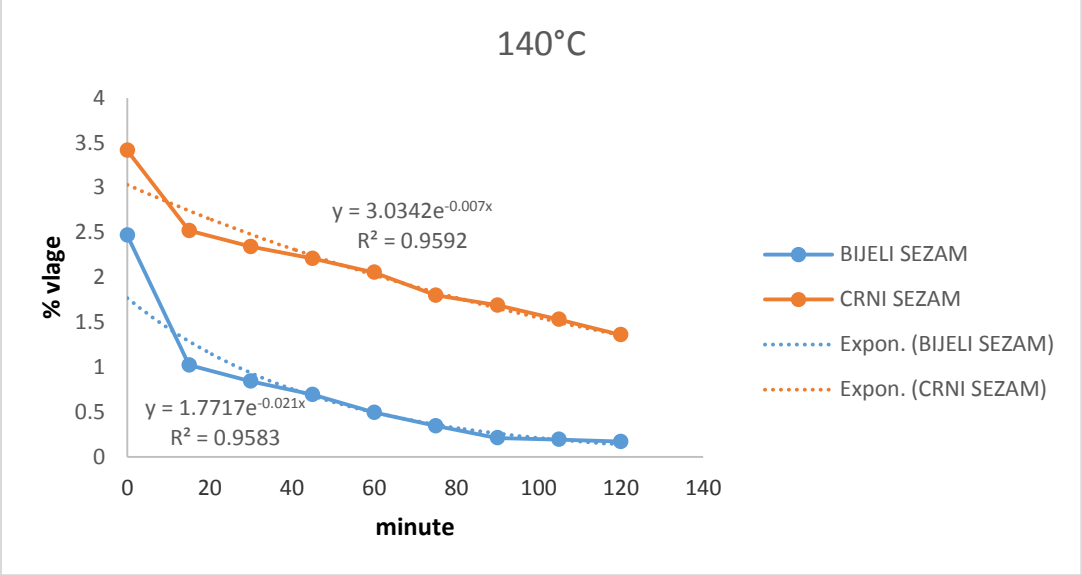
Dijagram 2. Krivulje otpuštanja vlage iz sjemenki sezama u vremenskom periodu od 120 minuta pri temperaturi od 100°C za dvije sorte (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10).



Dijagram 3. Krivulje otpuštanja vlage iz sjemenki sezama u vremenskom periodu od 120 minuta pri temperaturi od 120°C za dvije sorte (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10).



Dijagram 4. Krivulje otpuštanja vlage iz sjemenki sezama u vremenskom periodu od 120 minuta pri temperaturi od 140°C za dvije sorte (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10).



Pri temperaturi sušenja od 80°C i vremenskom periodu od 120 minuta sorti bijelog sezama vlaga se smanjila na 0,87%, dok se sorti crnog sezama vlaga smanjila na 1,61%.

Pri temperaturi sušenja od 100°C i vremenskom periodu od 120 minuta sorti bijelog sezama vlaga se smanjila na 0,48%, dok se sorti crnog sezama vlaga smanjila na 1,52%.

Pri temperaturi sušenja od 120°C i vremenskom periodu od 120 minuta sorti bijelog sezama vlaga se smanjila na 0,37%, dok se sorti crnog sezama vlaga smanjila na 1,44%.

Pri temperaturi sušenja od 140°C i vremenskom periodu od 120 minuta sorti bijelog sezama vlaga se smanjila na 0,17%, dok se sorti crnog sezama vlaga smanjila na 1,36%.

Analizom dobivenih rezultata, uočava se da postoje značajne razlike u brzini otpuštanja vlage između temperatura, u odnosu na istraživane sorte sezama.

5.2. Kemijske karakteristike sjemenki sezama prije i nakon kondukcijskog sušenja tostiranjem

5.2.1. Udio vlage u sjemenkama sezama

Tablica 4. Udio vlage u sjemenu za dvije sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10) u prirodnom uzorku i udio vlage nakon sušenja na četiri temperature termičke dorade kondukcijskog sušenja

Sorta	Vlaga prirodnog uzorka (%)	Temperatura sušenja (°C)	Vlaga nakon sušenja (%)
G WALIOR (G) 5	2,47	80	0,87
		100	0,48
		120	0,37
		140	0,17
GUJARAT TIL 10	3,42	80	1,61
		100	1,53
		120	1,44
		140	1,36

Iz rezultata u tablici 4. uočava se kako sjemenke prirodnog uzorka sorte bijelog sezama sadrže niže udjele vlage, nego kako navode Kahyaoglu i Kaya (2006) koji u svojim istraživanjima navode udio vlage u prirodnim uzorcima sorte sezama G WALIOR (G) 5 u iznosu od 3,04%. Kod sorte sezama GUJARAT TIL 10 udio vlage od 3,42% slaže se sa istraživanjima Kahyaoglu i Kaya (2006) koji navode udio vlage u prirodnim uzorcima sorte crnog sezama u iznosu od 3,40%.

Termička dorada sjemenki obje sorte obuhvaćala je vrijeme od 120 minuta i četiri temperature (80, 100, 120 i 140°C). Međusobnom usporedbom vrijednosti uočeno je da su udjeli vlage kod obe sorte najmanji pri temperaturi sušenja od 140°C, a najveći pri temperaturi od 80°C, što predstavlja razliku.

5.2.2. Udio pepela u sjemenkama sezama

Tablica 5. Udjeli pepela u sjemenu dvije sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10) u prirodnom uzorku i udjeli pepela nakon sušenja na četiri temperature termičke dorade kondukcijskog sušenja.

Sorta	Pepeo prirodnog uzorka (%)	Temperatura sušenja (°C)	Pepeo nakon sušenja (%)
G WALIOR (G) 5	3,44	80	3,02
		100	2,91
		120	2,78
		140	2,94
GUJARAT TIL 10	4,98	80	4,86
		100	4,72
		120	3,93
		140	5,22

Usporedbom vrijednosti udjela pepela u sjemenu prije sušenja uočeno je kako sjemenke sorte GUJARAT TIL 10 crnog sezama (4,98%) sadrže veću vrijednost udjela pepela nego sjemenke sorte G WALIOR (G) 5 bijelog sezama (3,44%) (tablica 5.). Prema Kahyaoglu i Kayi (2006), udio pepela na ukupnu količinu suhe tvari kod prirodnih sjemenki sorte bijelog sezama iznosio je 3,55%, a kod sjemenki sorte crnog sezama 4,88%, što je u suglasju s ovim istraživanjem.

Termička dorada sjemenki obe sorte također je obuhvaćala vrijeme od 120 minuta i četiri temperature (80, 100, 120 i 140°C). Najmanji udio pepela utvrđen je kod sorte G WALIOR (G) 5 bijelog sezama pri temperaturi sušenja od 140°C (2,94%), a najveći pri temperaturi od 80°C (3,02%). Također je uočeno da, za razliku od sorte G WALIOR (G) 5 bijelog sezama, kod sorte GUJARAT TIL 10 crnog sezama je udio pepela najmanji pri temperaturi od 120°C (3,93%), a najveći pri temperaturi od 140°C (5,22%) što predstavlja razliku.

5.2.3. Udio sirovih masti

U laboratoriju je izmjeren udio masti u sjemenu za dvije istraživane sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10). Analiza je obavljena prije i nakon kondukcijskog sušenja sjemena tostiranjem na temperaturi 80, 100, 120 i 140°C.

Tablica 6. Udjeli masti u sjemenu dvije sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10) u prirodnom uzorku i udjeli masti nakon sušenja na četiri temperature termičke dorade kondukcijskog sušenja.

Sorta	Masti prirodnog uzorka (%)	Temperatura sušenja (°C)	Udio masti nakon sušenja (%)
G WALIOR (G) 5	63,62	80	58,83
		100	57,98
		120	56,46
		140	55,31
GUJARAT TIL 10	46,96	80	45,36
		100	45,31
		120	44,87
		140	44,69

Usporedbom vrijednosti rezultata udjela sirovih masti u sjemenkama prije sušenja u tablici 6., uočeno je kako sjemenke sorte G WALIOR (G) 5 bijelog sezama (63,62%) sadrže veći udio sirovih masti od sjemenki sorte GUJARAT TIL 10 crnog sezama (46,96%). Prema Kahyaoglu i Kayi (2006), udio sirovih masti na ukupnu količinu suhe tvari kod prirodnih sjemenki sorte bijelog sezama iznosi 59,85%, a kod sjemenki sorte crnog sezama 45,98%, što je u suglasju s ovim istraživanjem.

Usporedbom vrijednosti nakon termičke dorade uočeno je da je najmanji udio sirovih masti kod sorta G WALIOR (G) 5 bijelog sezama pri temperaturi od 140°C (55,31%), a najveći pri temperaturi od 80°C (58,83%). Kao i kod bijele sorte sezama, kod crnog sezama sorte

GUJARAT TIL 10 je udio sirovih masti najmanji pri temperaturi od 140°C (44,69%), a najveći pri temperaturi od 80°C (45,36%) što predstavlja razliku.

5.2.4. Udio škroba u sjemenkama sezama

Škrob se kao hranjiva komponenta u sjemenkama sezama nalazi u manjim količinama, koje su u prirodnom uzorku bile različite ovisno o sorti, a u tostiranom ovisno o temperaturi tostiranja.

Tablica 7. Udio škroba u sjemenu dvije sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10) u prirodnom uzorku i udjeli škroba nakon sušenja na četiri temperature termičke dorade kondukcijskog sušenja.

Sorta	Škrob prirodnog uzorka (%)	Temperatura sušenja (°C)	Škrob nakon sušenja (%)
G WALIOR (G) 5	22,20	80	28,65
		100	26,21
		120	24,82
		140	22,34
GUJARAT TIL 10	20,82	80	23,33
		100	22,94
		120	22,54
		140	21,88

U tablici 7. vidljivo je kako prirodno osušene sjemenke sorte G WALIOR (G) 5 bijelog sezama sadrže veći udio škroba, od sorte GUJARAT TIL 10 crnog sezama.

Kahyaoglu i Kaya (2006) navode kako je udio škroba u prirodnim sjemenkama sorte crnog sezama 18,25%, a kod sorte bijelog sezama 13,55% .

Usporedbom vrijednosti nakon sušenja uočeno je da je najmanji udio škroba kod sorte G WALIOR (G) 5 bijelog sezama pri temperaturi od 140°C (22,34%), a najveći pri temperaturi

od 80°C (28,65%). Kod sorte GUJARAT TIL 10 crnog sezama udio škroba također je najmanji pri temperaturi od 140°C (21,88%), a najveći pri temperaturi od 80°C (23,33%).

5.2.5. Sadržaj ugljika, vodika, dušika, sumpora i kisika u sjemenkama sezama

Tablica 8. Sadržaj ugljika, vodika, dušika, sumpora i kisika u sjemenkama na dvije istraživane sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10) u prirodnom uzorku i nakon kondukcijskog sušenja tostiranjem na četiri temperature (80, 100, 120 i 140°C).

Sorta	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
Prirodni bijeli sezam	64,93	5,89	3,89	0,21	25,09
Tostirani bijeli sezam 80°C	66,73	5,98	4,12	0,22	22,61
Tostirani bijeli sezam 100°C	67,86	6,08	4,10	0,21	21,72
Tostirani bijeli sezam 120°C	68,35	6,01	3,93	0,20	21,33
Tostirani bijeli sezam 140°C	68,49	6,07	3,43	0,21	21,29
Prirodni crni sezam	65,27	5,63	3,16	0,18	25,77
Tostirani crni sezam 80°C	64,59	5,56	3,09	0,18	26,57
Tostirani crni sezam 100°C	67,22	5,91	3,29	0,19	23,39
Tostirani crni sezam 120°C	66,79	5,82	3,20	0,18	24,01
Tostirani crni sezam 140°C	67,20	5,85	3,43	0,18	23,33

U tablici 8. razvidno je da se udjeli ugljika, vodika, dušika, sumpora i kisika u sjemenkama prirodnog uzorka sorte G WALIOR (G) 5 bijelog i sorte GUJARAT TIL 10 crnog sezama razlikuju od termički dorađenih uzoraka u sjemenu nakon kondukcijskog sušenja tostiranjem . Količina ugljika se kretala od 64,59% do 68,49%, a vodika od 5,56% do 6,08% ovisno o temperaturi sušenja i sorti. Udio dušika nakon termičke dorade kretao se od 3,09% do 4,12%, a količina sumpora od 0,18% do 0,22%. Količina kisika se smanjila nakon termičke obrade sjemena.

5.2.6. Intenzitet boje u sjemenkama sezama

U tablicama 9. i 10. prikazane su vrijednosti koeficijenta obojenosti (L) i boje (C) u sjemenkama dvije sorte sezama (bijeli sorte G WALIOR (G) 5 i crni sorte GUJARAT TIL 10) u ovisnosti o temperaturi kondukcijskog sušenja tostiranjem.

Tablica 9. Vrijednosti koeficijenta obojenosti za sjemenke sezama sorte G WALIOR (G) 5 u ovisnosti o temperaturi termičke dorade kondukcijskog sušenja tostiranjem.

Temperatura sušenja (°C)	L	a	b	C	Vrijeme sušenja (min)
80	66,01	-1,09	12,2	13,23	**0**
80	66,46	-1,6	12,08	12,19	**60**
80	66,41	-1,16	12,98	13,03	**120**
100	66,39	-1,81	12,85	12,98	**0**
100	65,81	-1,55	12,08	12,18	**60**
100	66,59	-1,08	12,04	12,09	**120**
120	65,81	-1,33	13,41	13,48	**0**
120	66,69	-0,98	15,05	15,08	**60**
120	66,99	-0,56	16,3	16,31	**120**
140	66,38	-1,64	13,23	13,33	**0**
140	64,56	2,94	19,86	20,08	**60**
140	60,88	3,86	20,66	21,02	**120**

L – svjetloća boje

a – plavo-zelena/crveno-purpurna komponenta

b – žuto/plava komponenta

C – intenzitet boje

Tablica 10. Vrijednosti koeficijenta obojenosti za sjemenke sezama sorte GUJARAT TIL 10 u ovisnosti o temperaturi termičke dorade kondukcijskog sušenja tostiranjem.

Temperatura sušenja (°C)	L	a	b	C	Vrijeme sušenja (min)
80	25,41	0,48	1,39	1,48	**0**
80	26	0,46	0,38	0,6	**60**
80	26,04	2,18	1,53	2,66	**120**
100	24,69	0,36	-0,91	0,98	**0**
100	25,36	0,61	-0,86	1,05	**60**
100	25,44	0,5	-0,13	0,51	**120**
120	25,22	0,18	0,81	0,68	**0**
120	25,01	-1,01	0,25	1,04	**60**
120	25,08	-0,98	1,01	1,41	**120**
140	26,09	1,15	3,22	3,42	**0**
140	24,89	-0,92	-2,18	2,36	**60**
140	24,95	0,53	0,64	0,83	**120**

L – svjetloća boje

a – plavo-zelena/crveno-purpurna komponenta

b – žuto/plava komponenta

C – intenzitet boje

Iz prikazanih rezultata u tablicama 9. i 10. vidljivo je kako je kod L vrijednosti (luminiscencija) kod sjemena obje sorte sezama nije došlo do bitne promjene.

Podaci dobiveni za (a) vrijednost upućuju na smanjenu prisutnost crvene-purpurne boje kod sjemena obje sorte sezama pri svim temperaturama.

Podaci dobiveni za (b) vrijednost upućuju na prisutnost plave i crveno-purpurne boje, koja je zastupljena u velikom broju u sjemenu bijele boje sorte G WALIOR (G) 5 kod svih temperatura, za razliku od sjemena crne boje sorte GUJARAT TIL 10 kod koje su vrijednosti vrlo male.

6. ZAKLJUČCI

Temeljem vlastitih istraživanja, iz rezultata dobivenih analizom sjemenki dvije različite sorte sezama (bijelog sjemena sorte G WALIOR (G) 5 i crnog sjemena sorte GUJARAT TIL 10), može se zaključiti sljedeće:

1. Kinetičke krivulje sušenja daju očekivane trendove. Povećanjem temperature, kraće je vrijeme trajanja procesa sušenja. U pojedinim tretmanima kondukcijskog sušenja (temperatura 80, 100, 120 i 140°C) utvrđeno je da sjemenke sorte bijelog sezama brže otpuštaju vlagu tijekom tostiranja od sjemenki sorte crnog sezama.

2. Udio vlage u sjemenkama bijelog sezama iznosio je 2,47%, a crnog 3,42%. Termička dorada kondukcijskim sušenjem sjemenki obje sorte na četiri temperature rezultira padom udjela vlage i do 0,17% pri temperaturi od 140°C.

3. Udio pepela u sjemenkama istraživanih sorti sezama iznosio je 3,44% u bijelom, a 4,98% u crnom sjemenu. Nakon kondukcijskog sušenja tostiranjem sjemenki obe sorte na četiri temperature udio pepela pada i do 2,78% pri temperaturi od 120°C.

4. Udio sirovih masti u sjemenkama istraživanih sorti sezama iznosio je 63,62% u bijelom, a 46,96% u crnom sjemenu. Termička dorada kondukcijskim sušenjem sjemenki obje sorte na četiri temperature rezultira padom vrijednosti udjela sirovih masti i do 44,69% pri temperaturi od 140°C.

5. Udio škroba u sjemenkama istraživanih sorti sezama kretao se u rasponu od 20,82% u crnom sjemenu do 22,20% u bijelom sjemenu. Nakon obavljene termičke dorade sjemenki obe sorte na četiri temperature udio škroba raste i do 28,65% pri temperaturi sušenja od 80°C.

6. Kod obje sorte sezama, nakon termičke dorade jedino je smanjena količina kisika u sjemenu.

7. Praćenjem promjena kemijskog sastava sjemenki sezama tijekom upotrebe termičkog tretmana kondukcijskog sušenja tostiranjem utvrđeno je da više temperature tostiranja utječu na smanjenje sadržaja vode, pepela i masti, te povećanje sadržaja škroba u odnosu na prirodno stanje što je pozitivna karakteristika.

8. Praćenjem promjena intenziteta u boji sjemena utvrđeno je da pri svim temperaturama termičke dorade ne dolazi do izražene promijene boje.

9. Obzirom da je sezam biljka koja pripada tropskim i suptropskim biljkama, kako bi se poboljšao i sačuvao kemijski sastav sjemenki te omogućilo njihovo kvalitetno, sigurno i dugotrajno skladištenje, tamo gdje je potrebno preporučuje se sjemenke sezama obraditi termičkim postupkom kondukcijskog sušenja tostiranjem prije plasmana na tržište.

7. LITERATURA

1. Abou-Gharbia, H.A., Shehata, A., A., Y., Shahidi F.(2000): Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. Food Res. Int., 33: 331-340.
2. Bedigian, D. (2010): Sesame: The genus Sesamum, Taylor & Francis.
3. Bennet, M. (1993): A handbook for farmers and investors: Sesame, First Australian Sesame Conference, 361-368.
4. Gagro, M. (1998): Ratarstvo obiteljskoga gospodarstva: industrijsko i krmno bilje, Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb.
5. Guberac, V., Banaj, Đ., Horvat, D. (1997): Kakvoća sjemena lucerne (Medicago sativa L.) i stočnog graška (Pisum arvense L) nakon pet godina hermetičkog skladištenja. Sjemenarstvo, 14: (5- 6): 309 - 315.
6. Hunt, R. W. G. (2004): The reproduction of colour - 6th Edition, The Wiley-IS&T Series in Imaging Science and Technology, Chichester UK
7. Langham, D., R., Wiemers T., Rodriguez M. (2008): Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. ASHS Press, Alexandria, VA.
8. Kahyaoglu, T., Kaya, S. (2006): Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventiol roasting, Journal of Food Engineering 75 (2006) 167-177.
9. Katić, Z. (1997): Sušenje i sušare u poljoprivredi. Multigraf. Zagreb.
10. Krička, T. (1993): Utjecaj perforiranja pšena kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom. Doktorski rad, Agronomski fakultet. Zagreb.
11. Krička. T., Pliestić, S. (1997): Utjecaj povišene vlažnosti na brzinu sušenja, dinamička svojstva i fluidizaciju sjemenki suncokreta. "Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja Zrnko" I - 17.
12. Krička, T., Voća. N., Matin, A., Janušić, V. (2007): Utjecaj konvekcijskog sušenja na fizikalna svojstva zrna kukuruza hibrida Bc 462 uzgojenih na dvije razine agrotehnike, Zbornik radova, "42. Hrvatski i 2. Međunarodni simpozij agronoma" 341 – 345.
13. Matin, A. (2012). Kvalitativne promjene lješnjaka u procesu kondukcijskog sušenja, Doktorski rad, Agronomski fakultet, Zagreb.
14. Mohamed, H. M. A., Awatif, I. I. (1998): The use of sesame oil unsaponifiable matter as a natural antioxidant. Food Chemistry, 77, 371-376

15. Özdemir, M., Yildiz, M., Gürcan, T.: (2000): Chemical cornposition of oils from hazelnuts (Corylus avellana L.) varieties cu1tivated in Turkey, (Unpublished).
16. Pospišil, M. (1993): Sezam, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
17. Ritz, T. (1997): Osnovi uskladištenja ratarskih proizvoda, Liber, Zagreb
18. Rozman, V., Liška, A. (2011)**:** Skladištenje ratarskih proizvoda, Poljoprivredni fakultet Osijek 56-57
19. Sanders, H. T., Vercelotti, H. L., Blankenship, D. P., Crippen, K.L., Civille, G.V. (1989). Effect of maturity on roast color and descriptive flavor peanuts. Journal of Food Science. 54 (2): 1066-1069.
20. Sito, S. (1993): Utjecaj uvjeta sušenja zrna kukuruza na promjenu njegovog volumena, Magistarski rad. Agronomski fakultet Sveučilište u Zagrebu. Zagreb.
21. Šimić, B., Krizmanić, M., Liovic. L, Mijić, A., Bilandžić, M., Popović, R., (2006): Utjecaj tretmana sjemena na sadržaj ulja u zrnu. Sjemenarstvo 23 (2), 109-114.
22. Vratarić, M. (2004.): Suncokret (Helianthus annuus L.), Poljoprivredni institut Osijek, 53.-67.
23. Vujević, P. (2010): Pomološke i nutritivne značajke ploda lijeske (Corylus spp.) uzgajanih u agroekološkim uvjetima Orehovice, Doktorska disertacija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
24. Yoshida, H. (1999): Antioxidative effects of sesamol and tocopherols at various concentrations in oil during microwave heating. Journal of Science and Food Agricultural ,75, 19-26
25. Metode za određivanja kemijskog sastava sjemenki sezama:
    - Udio vlage: CEN/TS 14774-2:2004
    - Udio pepela: CEN/TS 14775:2004
    - Udio škroba: HRN ISO 6493:2001
    - Udio sirovih masti: HRN ISO 6492:2001
    - Udio dušika: HRN ISO 13878: 2004
    - Udio ugljika: HRN ISO 10694: 2004
    - Udio sumpora: HRN ISO 15178: 2005

26. Web literatura:

    http://faostat.fao.org

    www.hčjz.hr

www.pharma.hr

www.scielo.br

www.bpm.hr

Slike:

http://depts.ttu.edu

http://eprints.grf.unizg.hr

http://sesamegrowers.org

http://waynesword.palomar.edu

8. ŽIVOTOPIS

Tea Mavričić rođena je 10. srpnja 1990. godine u Zagrebu. Nakon završetka osnovne škole 2005. godine upisuje Poljoprivrednu školu u Zagrebu, smjer Agroturistički tehničar koju završava 2009. godine i te iste godine upisuje preddiplomski studij Poljoprivredna tehnika na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Preddiplomski studij je završila 2013. godine, a zatim upisuje diplomski studij Poljoprivredna tehnika – Mehanizacija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.