

Suvremena proizvodnja i ljekovita svojstva rukole (Eruca vesicaria L.)

Slivonja, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:446730>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marija Slivonja

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Biljna proizvodnja

SUVREMENA PROIZVODNJA I LJEKOVITA SVOJSTVA RUKOLE

(Eruca vesicaria L.)

Diplomski rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marija Slivonja

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Biljna proizvodnja

SUVREMENA PROIZVODNJA I LJEKOVITA SVOJSTVA RUKOLE

(Eruca vesicaria L.)

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Dr.sc. Monika Tkalec Kojić, predsjednik
2. Izv.prof.dr.sc. Tomislav Vinković, mentor
3. Izv.prof.dr.sc. Miro Stošić, član

Osijek, 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. BOTANIČKA PRIPADNOST I KLASIFIKACIJA	2
3. BIOLOŠKA SVOJSTVA I UZGOJ RUKOLE	4
3.1. Priprema tla i sjetva.....	4
3.2. Hidroponski način proizvodnje.....	5
3.3. Njega nasada.....	7
3.4. Berba	7
3.5. Bolesti rukole.....	7
3.6. Skladištenje rukole i učinci na održavanje kvalitete.....	8
4. LJEKOVITA SVOJSTVA RUKOLE I UČINCI NA LJUDSKO ZDRAVLJE.....	10
4.1. Nutritivna svojstva	10
4.2. Vitamini i minerali	11
4.3. Pozitivni učinci na ljudsko zdravlje	14
4.3.1. Izotiocijanati	15
4.3.2. Glukozinolati	15
4.3.3. Glukosativini (eng. Glucosativin).....	21
4.3.4. Kempferol.....	21
4.3.5. Sulforafan	22
5. ZAKLJUČAK	24
6. POPIS LITERATURE.....	25
7. SAŽETAK	28
8. SUMMARY	29
9. POPIS TABLICA.....	30
10. POPIS SLIKA	31
11. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	32
12. BASIC DOCUMENTATION CARD	33

1. UVOD

Rukola je biljka iz porodice kupusnjača (Brassicaceae) koja se na području Mediterana uzgaja već stoljećima. Cilj ovog preglednog diplomskog rada je prikazati suvremene proizvodne tehnike te ljekovita svojstva rukole, odnosno pozitivne aspekte konzumacije rukole i utjecaj na ljudsko zdravlje.

U prvom dijelu rada prikazano je podrijetlo i klasifikacija rukole, nakon čega slijedi pregled bioloških svojstava te više o suvremenoj proizvodnji iste koja uključuje pripremu tla i sjetvu, njegu nasada, berbu, bolesti rukole te skladištenje rukole. U drugom dijelu rada su detaljnije obrađena nutritivna svojstva rukole kroz prikaz kemijskog sastava i ljekovitih svojstava.

Rad je izrađen korištenjem kombinacije kvalitativnih i kvantitavnih istraživačkih metoda koje se nadopunjuju kroz rad. Kroz deduktivnu metodu iz teorijskih su izvora domaćih i stranih autora izvedeni zaključci o suvremenim metodama proizvodnje te ljekovitim svojstvima i utjecaju na ljudsko zdravlje koji su dokazani brojnim relevantnim i recentnim istraživanjima koje su većinom proveli strani znanstvenici i istraživači.

2. BOTANIČKA PRIPADNOST I KLASIFIKACIJA

Rukola (lat. *Eruca vesicaria*) pripada porodici Brassicaceae odnosno kupusnjača, a poznata je još iz doba starih Egipćana i Rimljana. Tada je bila cijenjena i zbog navodnih afrodizijačkih svojstava, a u nekim dijelovima zbog istih razloga navodno i zabranjivana. Biljka ima pomalo ljutkast okus koji se veže i uz podrijetlo imena biljke koja dolazi od grčke riječi *ereugomai* što znači povraćati dok riječ *sativa* znači sijati, kultivirati.

Na stranim jezicima rukola se dosta različito naziva pa su tako poznati nazivi salad rocket (eng.), garten-senfrauke (njem.), roquette (fra.), ruchetta, rucola, ruca (tal.). Iz istog razloga i u hrvatskom se jeziku često koriste različiti nazivi poput rikula, riga, povrtna riga i slično, a najčešće se naziva rukola. Tablica 1. prikazuje botaničku klasifikaciju rukole.

Tablica 1. Botanička klasifikacija rukole

Kategorija	Naziv
Carstvo	Plantae
Divizija	Magnoliophyta
Razred	Magnoliopsida
Red	Brasicales
Porodica	Brassicaceae
Rod	<i>Eruca</i>
Vrsta	<i>Eruca vesicaria</i> L.

Izvor: <https://hirc.botanic.hr/>



Slika 1. Rukola - listovi rukole

Izvor: <https://www.plantea.com.hr/rikula>

Slika 1 prikazuje biljku rukole i njene manje nazubljene listove. Listovi su na kratkim peteljka, lirasti, više ili manje nazubljeni ili urezani do 20 cm dugački i 6 cm široki. Pri višim temperaturama i dugom danu potjera stabljiku, koja na vrhovima nosi grozdaste cvatove te naraste do visine 60 cm. Stabljika je uglasta i u gornjem dijelu razgranata. Na skraćenoj stabljici u vegetativnoj fazi razvije rozetu lišća. Cvjetovi rukole su bijele ili svijetložute boje s ljubičastim žilicama na laticama. Plod je komuška sa sitnim okruglim sjemenom. Sjeme je težine oko 2 g (Lešić i sur., 2002.).

Rukola je biljka koja se uspješno uzgaja i na našem području, a moguće ju je pronaći i na tržnicama te maloprodaji iako ostaje dojam da mnogi ljudi nisu posve upoznati s mnogobrojnim korisnim učincima na zdravlje ove biljke iz porodice kupusnjača.

3. BIOLOŠKA SVOJSTVA I UZGOJ RUKOLE

Rukola je jednogodišnja ili dvogodišnja zeljasta biljka skromnih zahtjeva prema uvjetima sredine. Vrlo je aromatična i bogata mineralnim solima te vitaminom C. Listovi rukole su pikantno-gorkog okusa i što su stariji to su gorči. Koriste se najčešće u salatama u različitim varijacijama ili kao začini. Mladi listovi sadrže 130-190 mg vitamina C i oko 7 mg beta karotena. Sjeme se također može koristiti kao začini i za izradu senfa, a u pučkoj medicini sjemenom se liječe tegobe nastale prilikom uboda škorpiona (Grlić, 1990.).

3.1. Priprema tla i sjetva

Priprava sjetvene površine predviđa duboko oranje od 25-30 cm ili ručno štihanje s kojim se preokreću slojevi tla. Kako bi ovaj postupak osigurao bolje miješanje tla, morat će biti izveden još jednom u razmaku od 1-2 tjedna. Zatim se vrši čišćenje površinskih slojeva tla pomoću opreznog čupanja i kasnijeg grabljanja u slučaju ručne pripreme tj. pomoću sjetvospremača i kasnije rotofreze u slučaju upotrebe mehanizacije.

Naročita pozornost treba biti posvećena kompaktnim ili teškim tlima gdje je dobro izbjeći udubljenja ili depresije kako ne bi došlo do pojave stajaćih voda. Preporučljivo je izraditi povišene gredice visine 10 cm u odnosu na razinu polja. Rukola se sije tijekom čitave godine iako će u najhladnijim razdobljima trebati podići zaštitni tunel ili ju uzgajati u zaštićenim prostorima.

Sjetva se obavlja etapno u razmaku od 30-40 dana razbacivanjem sjemena kada se koristi oko 0,7-1,2 g sjemena (400-550 sjemena/g) po m². Ipak se preporuča sjetva rukole u trakama/crtama sa sjemenkama međusobno udaljenim 10-12 cm. Nakon sjetve, sjeme se lagano zagreće tlom do dubine 1-2 cm. Samo kod sjetve u najtoplijim razdobljima godine potrebno je redovno navodnjavati rukolu.



Slika 2. Primjer pripreme tla kombiniranim strojem (gredičar, rotofreza)

Izvor: <http://www.maservice-vrbovec.hr>

Sama priprema tla može se vršiti na više načina od kojih je najpogodnija priprema frezanjem pošto je tlo rahlo i pogodno za sjetvu sjemena ili sadnju presadnica. Rukola se može uzgajati u prilično širokom rasponu od veljače do rujna na otvorenom, a u grijanim plastenicima i duže tj. tijekom cijele godine. Sjetva se odvija na međuredni razmak od 15-30 cm, a unutar reda na 5-10 cm. Dubina sjetve mora biti oko 1 cm (Mirecki i sur., 2011.).

3.2. Hidroponski način proizvodnje

Postoje i drugi načini da se uzgoji rukola i slične biljke, a jedan od njih je hidroponski način proizvodnje. Ovaj način uzgoja ima mnoge prednosti kao što su iskorištavanje svih elemenata proizvodnje, manje onečišćenje okoliša, manji troškovi gnojiva te općenito neovisnost o velikoj zemljišnoj površini, plodoredu itd. Međutim, ovaj način proizvodnje u našim je krajevima vrlo rijedak zbog visokih početnih ulaganja koje si mnogi ne mogu priuštiti.

U hidroponskom uzgoju u Europi prednjači Nizozemska. Pošto su oni površinski mali našli su način kako se prilagoditi tome i pretvoriti nedostatak u prednost. U Hrvatskoj se hidroponski uzgoj počeo širiti oko 2000. godine. Kao što je navedeno, za hidroponski uzgoj nije potrebno imati tlo, nego bazene

u slučaju plutajućeg hidropiona ili neplodne površine na kojima se podiže određeni tip hidroponske proizvodnje. Hranjiva otopina koja se koristi pri hidroponskom uzgoju treba biti izrađena prema određenoj recepturi za lisnato povrće, a najvažnije je prilagoditi pH i EC vrijednosti te omjer određenih hranjiva. Na ovaj način, biljke se mogu proizvoditi u više turnusa i ostvaruju se veći prinosi te biljka brže raste (Lamešić, 2017.).

Postoji nekoliko vrsta hidroponskog uzgoja:

- a) Uzgoj na kokosovom tresetu
- b) Uzgoj na piljevini
- c) Plutajući hidroponski uzgoj
- d) Uzgoj na običnom tresetu



Slika 3. Prikaz hidroponskog uzgoja rukole i špinata

Izvor: Vinković, 2019.

3.3. Njega nasada

Ograničava se na povremeno odstranjivanje korovnih vrsta i eventualno prorjeđivanje u slučaju odličnog klijanja (ne više od 300-350 biljaka/m²). Natapanje će biti redovito za ljetnu sjetvu tj ljetnu proizvodnju. Zbog praktičnosti je vrlo zanimljivo i uzgajanje rukole u posudama tj. loncima.

3.4. Berba

Lešić i sur., (2002.) navode kako se rukola može brati 40 do 60 dana nakon sjetve. Lisne rozete se čupaju, operu te se prodaju u vezicama ili se listovi režu i prodaju slično kao matovilac. Na 1 m² može se postići prinos do 2 kg. Kada biljke dostignu visinu od 8-12 cm, pristupa se berbi rukole pomoću noža i radnih rukavica. Rez će biti izveden na takav način da sačuva srčiku biljke gdje se nalazi vegetacijski vrh, kako bi odrezanim biljkama dopustili da odmah nastave rasti. Rez na visini 2 cm iznad zemlje smatra se idealnim. Savjetuje se rukolu rezati kada su listovi suhi. Može se obaviti 3-5 berbi u jednom ciklusu.

Za kulture s malim sjemenom kao što je rukola potreban je zahvat temeljitog čišćenja tla od korova i rezidua biljnog materijala i to nakon dubokog štihanja ili oranja. Na ovaj način, dolazi do boljeg kontakta sjemena i tla te ujednačenijeg klijanja i nicanja.

3.5. Bolesti rukole

Na rukoli se od biljnih bolesti najčešće pojavljuju vrste gljiva *Pythium spp.* i *Sclerotinia spp.* i to na mladim klijanjima. *Pythium spp.* je polifagna gljiva koja živi u tlima koja su bogata organskim tvarima. Fakultativni parazit ima dvije vrste micelija vanjski ili epifitni i unutarnji ili endofitni. Micelij je bijele boje, jednostaničan i dobro razgranat.

Bolesne biljke pri površini tla poliježu, a jedan od razloga koji pogoduje razvoju gljive i time bolesti jest slaba osvjetljenost, površinska vlažnost, nepravilna gnojidba itd. Jedan od načina zaštite uz pravilnu gnojidbu i pravilno zalijevanje te dovoljan protok zraka i svijetla jest uzgoj u tlima koja ne sadrže sklerocije.

3.6. Skladištenje rukole i učinci na održavanje kvalitete

Tek u posljednjih nekoliko godina provedena su značajnija istraživanja kada je u pitanju utjecaj skladištenja rukole na njen fitokemijski sadržaj. Poznato je da neke metode kuhanja i pripreme mogu negativno utjecati na nutritivne vrijednosti biljaka (Deng i sur., 2015.), no rukola se obično koristi sirova pa nije bila predmetom istraživanja degradacije kvalitete prilikom toplinske obrade. Pretpostavlja se da koncentracije utvrđene prilikom žetve perzistiraju tijekom cijelog lanca opskrbe dok ne dođu do potrošača. Međutim, postoje mnogi čimbenici koji mogu utjecati na degradaciju fitoaktivnih komponenti u rukoli, kao što su faktori prije sakupljanja tj. berbe, pranje, sušenje, pakiranje te vrijeme trajanja i temperatura skladištenja. Ti kombinirani učinci vjerojatno će odrediti sadržaj zdravstveno korisnih sastojaka i opću kvalitetu rukole.

Jedna od studija modeliranja roka trajanja *D. tenuifolia* provedena u simuliranim uvjetima otkrila je da povećanje temperature skladištenja negativno utječe na izgled i koncentraciju vitamina C (Amodio i sur., 2015).

Ostale studije (Luca i sur., 2016; Luca i sur., 2017.) pružile su detaljne eksperimentalne podatke o učincima modificiranog atmosferskog pakiranja na koncentraciju nestabilnih i hlapivih organskih spojeva oslobođenih iz lišća rukole. Ove su studije potvrdile da je razina kisika ispod donje granice kisika (gdje dominira anaerobno disanje) najveći ograničavajući faktor roka trajanja gdje se ponajviše gubi karakteristična aroma. Suprotno tome, ako je razina kisika iznad gornje granice kisika, ograničavajući faktor je izgled. Ova su zapažanja u skladu s modeliranjem koje su izveli Amodio i sur. (2015). Stoga je očigledno da se pri korištenju modificiranog atmosferskog pakiranja za rukolu mora postići fini balans kako bi se izbjeglo stvaranje neugodnih mirisa i/ili požutjelog lišća (Nielsen i sur., 2008).



Slika 4. Pakiranje rukole u maloprodaji

Izvor: <https://hr.blabto.com>

Slikom 4. prikazano je standardno pakiranje rukole u maloprodajnim centrima gdje se ona skladišti u plastične posudice obložene prozirnomo plastičnom vrećicom tj. folijom, a preporučuje se skladištenje na nižim policama hladnjaka i blizu drugog povrća. U takvom obliku rukola se najčešće čuva u periodu do tjedan dana, no kako je već navedeno, za održavanje nutritivnih vrijednosti, ali i vanjskog izgleda svježine jako je važan proces skladištenja između berbe i dolaska do maloprodajnih polica.

4. LJEKOVITA SVOJSTVA RUKOLE I POZITIVNI UČINCI NA LJUDSKO ZDRAVLJE

Ljudi su od davnina bili svjesni ljekovitih svojstava raznoga bilja i pozitivnih učinaka koje mogu imati na ljudsko zdravlje. Razvojem znanosti ta su saznanja bivala sve jasnijima i za sve veći broj biljnih vrsta. Jedna od tih vrsta je i rukola, a brojni su dokazani pozitivni učinci koje ima na ljudsko zdravlje zahvaljujući raznim vitaminima i mineralima.

4.1. Nutritivna svojstva

Lisnato povrće iz roda *Eruca* postaju sve važnijim lisnatim usjevima salata širom svijeta. Posljednjih godina objavljeni su brojni znanstveni istraživački radovi koji opisuju potencijalne zdravstvene koristi povezane s fitokemikalijama sadržanim u lišću rukole, poput flavonoida i izotiocijanata. (Bell, 2019). Tablica 2. prikazuje nutritivnu vrijednost rukole u 100 g namirnice.

Tablica 2. Nutritivna vrijednost rukole

Nutritivna vrijednost rukole u 100 g namirnice	Energija 25 kcal
Proteini	3 g
Dijetalna vlakna	1.6 g
Vitamin A	2373 IU
Vitamin C	15 mg
Vitamin K	109 µg
Vitamin E	0.4 mg
Željezo	1.5 mg
Kalcij	160 mg
Magnezij	12 %

Izvor: <http://www.adiva.hr/>

4.2. Vitamini i minerali

Tablicom 3. prikazana je zastupljenost raznih vitamina i minerala koji se nalaze u sastavu rukole.

Tablica 3. Zastupljenost vitamina i minerala u rukoli

Kalcij	160
Željezo	1.46
Magnezij	47
Fosfor	52
Kalij	369
Natrij	27
Cink	0.47
Bakar	0.076
Mangan	0.321
Vitamin C	15
Tiamin	0.044
Riboflavin	0.086
Niacin	0.305
Pantotenska kiselina	0.437
Vitamin B6	0.073
Folati	97
Vitamin A	119
Vitamin K	108.6

Izvor: Bell i Wagstaff (2019.)

Iz priložene tablice može se vidjeti kako rukola obiluje vitaminima A, C, K te nekim od B skupine vitamina, od kojih svakako treba izdvojiti folnu kiselinu koja je nužna u prehrani trudnica radi sprječavanja oštećenja neuralne cijevi ploda. Ostatak vitamina B skupine također je dobro zastupljen, a koji reguliraju pravilan rad enzimatskog sustava u stanicama te kod probave.

Slično kao i dobar dio narančastog voća i povrća, rukola sadrži otprilike 1424 pikograma beta karotena koji se transformira u vitamin A koji, osim opće poznatog blagotvornog učinka na zdravlje očiju, također štiti od raka kože, pluća kao i usne šupljine (Rolland, 2017.).

Rukola je odličan izvor C vitamina koji je povijesno gledano poglavito imao ulogu protiv skorbuta, a danas je najviše na cijeni zbog toga što podiže imunitet i antioksidativni odgovor te tako što štiti od nakupljanja slobodnih radikala u organizmu. Možda i najvažnija nutritivna komponenta rukole je visok sadržaj vitamina K gdje u samo 100 grama rukole možemo naći oko 90 % dnevnog preporučenog unosa ovog često zanemarenog vitamina koji je gotovo jednako važan u razvoju kostiju kao i kalcij, a druga važna uloga mu je sprječavanje oštećenja neuralnih veza gdje na taj način neposredno štiti od raznih neuroloških poremećaja, na primjer Alzheimerove bolesti. Od mikroelemenata u rukoli, znatne su količine cinka i mangana (Harvard Medical School, 2018.).

Tablica 4. prikazuje kemijski sastav rukole.

Tablica 4. Kemijski sastav rukole

Masti	0.66
Zasićene masne kiseline	0.086
Višestruko nezasićene masne kiseline	0.319
Jednostruko nezasićene masne kiseline	0.049
Ugljikohidrati	3.65
Šećeri	2.05
Proteini	2.58
Voda	91.71

Izvor: Bell i Wagstaff (2019.)

S aspekta nutritivnih vrijednosti rukole, daleko najveći dio otpada na vodu: više od 90 posto ukupne mase iste pripisuje se vodi. Ipak, nasuprot nekim vrstama povrća, poglavito korjenastom, rijetko tko bi okarakterizirao rukolu kao vodenastu. Tako je iz nekoliko razloga, prije svega zbog toga što rukola dolazi iz redova krstašica ili kupusnjača. Iako izgledom više podsjeća na nekakvu minijaturnu verziju zelene salate ili na maslačak, njezini rođaci su biljke poput kupusa, brokule, cvjetače, prokulica i slično. Za razliku od tog povrća, koje se obrađuje bilo termički (kuhanje

brokule, cvjetače), bilo kemijski (kiseljenje kupusa), rukola se najčešće priprema i konzumira svježa. Kako je rukola domaća biljka Mediterana, kroz povijest je često činila glavni sastojak salata narodima Turske, Egipta, Maroka ili Portugala, a vjerojatno najširu primjenu rukole danas popularizirali su Talijani stavljajući je na pizzu. Jedna konstanta koja je gotovo uvijek pratila jela s rukolom jest da je upravo ona dominirala svojim specifičnim okusom. Neutralni sastojci kombinirani s rukolom odlično pašu zajedno, stoga je sir jedna od glavnih namirnica kada rukolu treba upariti s nečime. S obzirom da je cijelo mediteransko, ali i šire Europsko područje poznato po proizvodnji raznih vrsta sireva, ne čudi kako je rukola očuvala svoju reputaciju sve do danas. Treba napomenuti kako veliku većinu masti čine 'dobre', višestruko nezasićene masne kiseline, kao uostalom i u većini namirnica biljnog podrijetla. Otprilike dvije trećine ugljikohidrata otpada na šećere. Iako na prvi pogled dva i pol grama proteina možda djeluje puno za povrće, ta brojka je relativna i osoba teško može zadovoljiti nutritivne potrebe za proteinima kroz prehranu rukolom ili nekom drugom povrćarskom vrstom. Ono po čemu su kupusnjače puno poznatije i korisnije jest njihova uloga u borbi protiv nastanka raznih vrsta slobodnih radikala koji utječu na razvoj tumora tj. karcinoma. Rukola tu nije izuzetak te spada u kategoriju jednih od najboljih namirnica za prevenciju potonjih. Osim izvanredne moći antikancerogenog djelovanja, rukola je posebno cijenjena radi velikih količina vitamina K. Rukolu se zaista može okarakterizirati kao čuvara kostiju, jer osim što je jedan od glavnih povrtnih izvora ranije spomenutog vitamina koji igra izrazito važnu ulogu u ugradnji minerala u kostima, također sadrži i relativno visoke količine kalcija. Uključujući rukolu u prehranu dakle znači i neposredan benefit za kosti, odnosno povećanje njihove otpornosti. To je naročito povoljno za žene koje su prirodno u većem riziku od razvijanja bolesti krhkih kostiju, poput osteoporoze. Jedan od razloga zašto je rukolu dobro kombinirati s hranom ako je cilj povećavanje unosa željeza leži u činjenici da je rukola također dobar izvor vitamina C. Razlog zašto je to važno jest zato što vitamin C prirodno potiče veću iskoristivost željeza u organizmu, poglavito onog željeza koji nije animalnog podrijetla. Od ostalih minerala i vitamina vrijedi spomenuti kalij i mangan, te folate i vitamin A. U starijih osoba vrlo često javlja anemija povezana s nedostatkom folne kiseline kojom rukola obiluje pa se posebno preporučuje i konzumacija rukole starijim osobama.

4.3. Pozitivni učinci na ljudsko zdravlje

Konzumiranje zelenog lisnatog povrća povezano je sa smanjenjem rizika od nekoliko vrsta raka i kardiovaskularnih bolesti. Ovi korisni učinci se pripisuju nizu fitokemikalija uključujući flavonoide i glukozinolate koji se nalaze u visokim razinama u porodici kupusnjača. Rukola je opći naziv koji se pripisuje kultivarima *Eruca sativa* i *Diplotaxis tenuifolia* tj. salati rukole i divljoj rukoli. Dokazano je da različite vrste svjetla tijekom razdoblja uzgoja usjeva imaju utjecaj na razinu flavonoida prisutnih u biljkama tijekom berbe s više od 15 puta ostvarenog povećanja u kvercetin, izoharmentin i cijanid u uvjetima jake osvjetljenosti. Nakon branja, skladištenje dodatno utječe na razinu tih flavonoida i glukozinolata, dok cijanid raste tijekom skladištenja. Glukozinolati se smanjuju tijekom istog skladišnog perioda. Tijekom pokusa *in vitro* na stanicama ljudskog debelog crijeva, dokazano je da rukola bogata ekstraktima glukozinolata, posjeduje jak antioksidativni kapacitet dajući lišću kemoprotektivna svojstva (Jing Jin i sur., 2009.).

Ulje rukole ima obećavajuće farmakološke učinke i jamči prisutnost bioaktivnih komponenti odgovornih za blagotvorne učinke. Znanstvena otkrića podržavaju primjenu ulja rukole u tradicionalnoj medicini kao antimikrobnog agensa te naglašavaju potencijal ovog ulja za moguću kliničku upotrebu (Khoobchandani i sur., 2010.).

Iako je rukola kao i većina ostalog zeleno – lisnatog povrća relativno siromašna kalorijski, ona obiluje blagotvornim mikronutrijentima poput fitokemikalija, antioksidansa, vitamina i minerala. Upravo neke fitokemikalije zaslužne su za jedinstven okus rukole koji katkad može varirati od gorkog, kiselkastog i ljutog pa čak do slatkastog, dok je velik dio njih također odličan u prevenciji raznih vrsta rakova, od kojih su izraženi rak dojke i ovarija, stoga je rukola izuzetno poželjna u prehrani žena (Jing Jin i sur., 2009.). U eksperimentu iz 2014. godine jedan od glavnih izotiocijanata, erucin, pokazao se uspješnim u borbi protiv razvoja stanica raka interferirajući između mikrotubula tijekom mitoze. Prema procjenama, smatra se da je erucin čak i do 1000 puta snažniji u tretiranju nekih vrsta rakova od svojih sintetičkih rođaka, tableta poput eribulina, s jednom bitnom razlikom, a to je da erucin nema toksičnih djelovanja kada se uzima u regularnoj prehrani.

4.3.1. Izotiocijanati

Izotiocijanat ima antibakterijski učinak na nekoliko bakterija koji može biti povezan s antikancerogenim učinkom kao što je *Helicobacter pylori*, jednim od uzroka karcinoma želuca. Izotiocijanat može uzrokovati i oksidativni stres, oštećenje DNA i poticanje rasta stanica kod bakterija, a potrebno je provesti daljnja istraživanja kako bi se utvrdio mehanizam kojim izotiocijanat djeluje kao antibakterijsko sredstvo. Osim antibakterijskog, izotiocijanat posjeduje i antiprotozoalne i antifungalne aktivnosti čiji se mehanizmi djelovanja također istražuju (Nielsen i Rios, 2000.).

Iako se izotiocijanat smatra oksidansom, doze koje uzrokuju navedene efekte su u puno većoj koncentraciji (najmanje 200-400 mikrograma/kg tjelesne težine u istraživanjima na životinjama pokazuju djelovanje izotiocijanata kao oksidansa) (Valgimigli i Iori, 2009.) od normalnih doza za ljude s prosječnom količinom od manje od 1 mg/dan u slučaju izotiocijanata (Zhang, 2010.), (Guo i sur., 1992.).

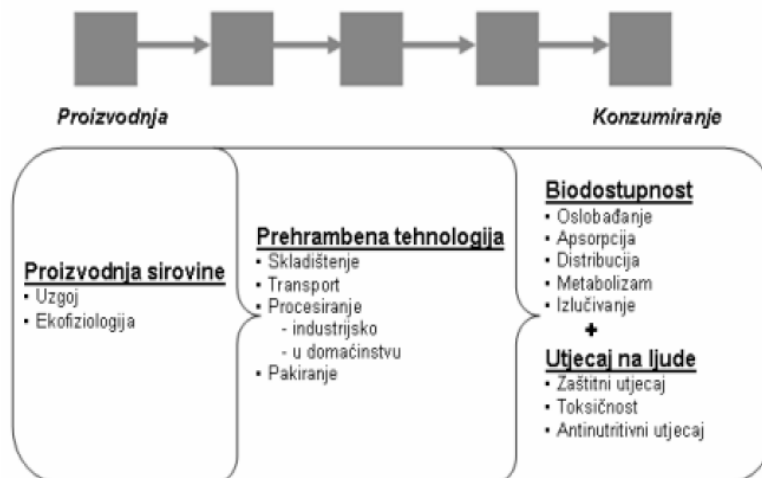
-N=C=S grupa alil izotiocijanata reagira s Cu i vodikovim peroksidom gdje kao rezultat nastaje superoksid (Murata i sur., 2000.), a koji može oštetiti DNA i tako potaknuti formiranje 8-okso-7,8-dihidro-2-dezoksigvanozina, velikog produkta u oksidaciji DNA (Murata i sur., 2000.), koji se nalazi u stanicama leukemije kod čovjeka tretiranih alil-izotiocijaninom.

Kao što je prethodno spomenuto, reakcija spajanja s glukozinolatom događa se tijekom difuzije izotiocijanata u stanicu što smanjuje unutarstanični tiol. Navedene činjenice mogu rezultirati iscrpljivanjem unutarstaničnog tiola što može utjecati na normalno funkcioniranje stanice ili potaknuti apoptozu zdravih stanica (Valgimigli i Iori, 2009.).

4.3.2. Glukozinolati

Glukozinolati (eng. *Glucosinolate*) su jedinstvena i važna skupina sekundarnih metabolita u nekim vrstama biljaka, a ubrajaju se u specifičnu skupinu kemijskih spojeva tzv. 'fitokemikalija' te imaju brojna pozitivna djelovanja na ljudsko tijelo: antifungalno, antibakterijsko, antioksidativno, antimutageno i antikancerogeno (Kopjar, 2012.).

Slikom 5. prikazani su koraci u lancu hrane koji utječu na sadržaj glukozinolata u povrću, a to mogu biti razni čimbenici okoliša među kojima sastav tla, klimatski uvjeti, gnojidba, genetske varijacije i sl. (Kushad i sur., 1999; Kim i sur., 2003.).



Slika 5. Koraci u lancu hrane koji utječu na sadržaj glukozinolata u povrću

Izvor: Verker i sur., 2009.

Sadržaj glukozinolata, dakle, može jako varirati ovisno o brojnim faktorima njegova uzgoja što sa znanstvenog aspekta može prilično otežati mogućnost utvrđivanja opće razine glukozinolata jer će ona u pravilu biti različita ovisno o proizvođaču, tj. nabrojanim vanjskim faktorima, počevši od tla do klimatskih uvjeta, obrade itd. Bez obzira na to, pozitivno djelovanje glukozinolata je neupitno pa mnogobrojne epidemiološke studije koje povezuju oboljenja od karcinoma s načinom prehrane, su dokazala da je smanjena pojava karcinoma kod ljudi koji konzumiraju kupusnjače (Moreno i sur., 2006). Također, glukozinolati i njihovi razgradni produkti se smatraju indirektnim antioksidansima s obzirom da ne blokiraju slobodne radikale direktno već modificiraju aktivnost kancerogenih tvari tako što utječu na aktivnost enzima metabolizma (enzimi Faze I i Faze II) (Juge i sur., 2007.).

Biosintetski put glukozinolata gotovo je u cijelosti razjašnjen uglavnom vrstom *Arabidopsis thaliana*. Glukozinolati su biosintetizirani iz aminokiselina. Tri podtipa glukozinolata imaju odgovarajuće prekursore. Alifatski glukozinolati dobivaju se iz alanina, leucina, izoleucina, valina i metionina. Indolni glukozinolati i aromatski glukozinolati dobivaju se iz triptofana i fenilalanina ili tirozina. Biosintetski putevi glukozinolata sastoje se od tri neovisna koraka: faza produženja

lanca, formiranje jezgrene glukozinolatne strukture i sekundarna modifikacija. Alifatski glukozinolati imaju različite bočne lance različitih duljina određenih koracima produženja lanca. Prvi postupak produljenja lanca je deaminacija aminokiselina, poput metionina, na odgovarajuće 2-okso kiseline pomoću aminotransferaze razgranatog lanca, aminotransferaze (BCAT). 2-okso kiseline su prekursori reakcije izduživanja metilenskom skupinom. Izdvajanje se odvija metiltioalkilmalat sintazom (MAM), izopropilmalat izomerazom (IPMI) i izopropilmalat dehidrogenazom (IPMDH).

Konačno, izdužene 2-okso kiseline BCAT-om transformiraju se u odgovarajuće aminokiseline. Ovo produženje lanca također se odvija u biosintezi aromatskih glukozinolata, ali ne nastaje u stvaranju indolnih glukozinolata. Aminokiseline, uključujući one izdužene, zatim podliježu sljedećem koraku: formiranje jezgrene glukozinolatne strukture. Citokromi P450 (CYP79) pretvaraju aminokiseline u aldoksime, koji se zatim oksidiraju u aktivirane oblike pomoću CYP83. Aktivirani oblici se transformiraju u tiohidroksimate putem glutation-konjugacije i reakcije C-Sliza (SUR1). Tiohidroksimati se konačno pretvaraju u glukozinolatnu strukturu pomoću S-glukoziltransferaze iz porodice UGT74 i SOT-sulfotransferaze. Nakon stvaranja strukture glukozinolata, bočni se lanci modificiraju oksigenacijom, hidroksilacijom, alkenilacijom, benzoilacijom i metoksililacijom. S-oksigenacija alifatskih glukozinolata uobičajena je modifikacija koju provode flavinske monooksigenaze FMOGS-OXs. Soksigenirani alifatični glukozinolati, poput glukoraphanina, nalaze se u velikom povrcu Brassicaceae. Alkenil glukozinolati, poput sinigrina, proizvedeni su 2-oksoglutaratom ovisnim dioksigenazama AOP iz S-oksigeniranih glukozinolata. Glukobrassicin, koji je uobičajeni indolni glukozinolat, hidroksilira se CYP81F2 u Arabidopsisu. Metoksilacija se može dogoditi neidentificiranom O-metiltransferazom. Razina i profil glukozinolata, određeni su u Arabidopsisu transkripcijskim faktorima kao što su MYB28, MYB29 i MYB76 za alifatske glukozinolate i MYB34, MYB51 i MYB122 za indolne glukozinolate (Sonderby i sur. 2010).

Glukozinolate hidroliziraju tioglukozidaze nazvane mirozinaze u izotiocijanate, tiocijanate, nitrila, epitionitrila itd., Koji su bioaktivni spojevi. Pretpostavlja se da se glukozinolati samo lagano hidroliziraju u netaknutim uvjetima, u kojima se mirozinaze odvajaju od mjesta glukozinolata. Međutim, kad se tkiva mehanički oštete, mirozinaze intenzivno hidroliziraju glukozinolate. Ta se reakcija hidrolize naziva glukozinolat-mirozinazni sustav. Iako su izotiocijanati glavni proizvodi reakcije mirozinaze, nitrili / epitionitrili i tiocijanati mogu se proizvesti, asocijacijom proteina

epitiospecifikatora i proteina koji formira tiocijanate. Protein epitiospecifikatora određuje sastav produkata hidrolize u svakom usjeva Brassicaceae. Za razliku od vrsta Brassica, kod *Sinapis alba* ili *R. sativus* nije detektiran protein epitiospecifikatora, koji stvaraju malo nitrila / epitionitrila. Glukozinolat, progoitrin, hidrolizira mirozinaze da bi tvorio ciklički tiokarbamata goitrin koji je antinutritivni spoj koji smanjuje proizvodnju hormona štitnjače. Proizvodi hidrolize glukozinolata vezani su uz stvaranje pigmenta. Karbolinski spojevi dobiveni iz 4-metiltio-3-butenil izotiocijanata, koji je hidrolizacijski spoj dehidroerucina, nužni su faktori za stvaranje žutih pigmenta u slanim korijenima rotkvice (Bones i Rossiter, 1996). Nadalje, ovaj je sustav glukozinolat-mirozinaza opisan kao povezan s interakcijama biljaka-insekata i biljaka-patogena. Neke studije implicira proizvode razgradnje glukozinolata u obrani biljaka protiv insekata, patogena i biljojeda (Hopkins i sur. 2009). Mirozinaze su lokalizirane u mirozin stanicama, koje su idioblasti bogati proteinima koji se nalaze uglavnom u tkivima upijanih sjemenki. Međutim, takve su stanice mirozina primijećene u vegetativnim organima usjeva Brassicaceae. Mirozinaza je bila lokalizirana u epidermi i vaskularnom kambiju tarenata rotkvice i repa i rizoma japanskog hrena (wasabi)). Ova distribucija mirozinaza, nazvana "dvostruka struktura zida dvorca" vjerojatno je česta među povrćem iz porodice Brassicaceae. U cvjetnoj stabljici *Arabidopsis*, mirozinaze su izražene i u stanicama floema i u zaštitnim stanicama, ali glukozinolati se akumuliraju u S-stanicama koje su susjedne stanicama floema. Zapravo, prostorno odvajanje mirozinaza od glukozinolata je osnova glukozinolat-mirozinaznog sustava (Hara i sur. 2001). Akumulacija alifatskih glukozinolata u *B. rapa* poboljšana je opskrbom niskim dušikom i visokim sumporom. Biosinteza alifatične glukozinolatne glukoze u *Arabidopsisu* promovirana. Razina glukozinolata u *B. napusu* povišena je ranjavanjem, metil jasmonatom i gljivičnim infekcijama. Dobiveni su neki intrigantni rezultati za odnos između visokotemperaturnog stresa i sinteze glukozinolata. Poznato je da izlaganje povrća *Brassicaceae* visokim temperaturama povećava sadržaj alifatskih glukozinolata. *Arabidopsis* mutant s nedostatkom glukozinolata pokazao je temperaturnu osjetljivost i manju ekspresiju proteina toplinskog šoka (HSP) 90 nakon visokotemperaturnog stresa. Nadalje, egzogena primjena izotiocijanata u *Arabidopsisu* pojačala je njegovu termotoleranciju i izazvala ekspresiju HSP gena. Ovi rezultati sugeriraju da je izotiocijanat signalna molekula koja potiče termotoleranciju u biljkama (Pereira i sur. 2002). Kako bi glukozinolati mogli biti funkcionalni, odnosno kako bi se aktivirao njihov biološki utjecaj potrebna je njihova razgradnja. To se odvija u već spomenutom glukozinolat-mirozinaza sustavu

kada dolazi do hidrolize glukozinolata na biološki aktivne spojeve. Glukozinolati su u stanicama kemijski stabilni i biološki neaktivni spojevi koji su aktivirani prilikom napada štetočine, branja, procesiranja, žvakanja ili sjeckanja biljaka. Razgradnja glukozinolata može biti enzimska putem mirozinaze i neenzimska pod utjecajem visoke temperature. Kod neenzimske razgradnje važnu ulogu ima pH vrijednost otopine u kojoj se odvija pri čemu se glukozinolati u jako kiselom mediju razgrađuju na karboksilne kiseline i glukoze, dok se u lužnatom mediju razgrađuju na aminokiseline i tioglukoze (Antolović, 2019). Jedan od najvažnijih biljnih hormona, indol-3-octena kiselina, sintetizira se djelovanjem različitih enzima od svojeg prekursora, indol glukozinolata. Indol glukozinolat hidrolizira se do indol acetonitrila kojeg nitrilaza hidrolizira do indol-3-octene kiseline. Sustav glukozinolat-mirozinaza ima ulogu u obrani od insekata i fitopatogena. Glukozinolati i produkti hidrolize su toksični za velik broj insekata koji su nespecijalizirani nametnici, dok specijalizirane nametnike koji rastu na biljkama privlače djelujući kao signal za stimulaciju njihovog hranjenja ili nošenja jaja. Istraživanja su pokazala kako se nakupljanjem glukozinolata biljke brane od velikom broja nespecijaliziranih nametnika poboljšavajući tako sposobnost preživljavanja. Provedena istraživanja pokazala su kako se kod određene sorte *Brassica napus*, koje imaju veću količinu glukozinolata, pojavljuju veća oštećenja biljaka od strane specijaliziranih kukaca, a manja oštećenja kad su kukci nespecijalizirani. Specijalizirani kukac *Psylliodes chrysocephala* potaknut je na hranjenje što je veći stupanj produžetka lanca i hidroksilacija bočnog lanca alifatskih glukozinolata. Hlapljivi produkti hidrolize glukozinolata mogu privući parazite nespecijaliziranih kukaca i tako indirektno pomoći u obrani biljke. S druge strane, jedan od mehanizama obrane specijaliziranog kukca *Plutella xylostella* od djelovanja glukozinolata je enzim sulfataza. Taj enzim katalizira uklanjanje sulfatne skupine u glukozinolatima i tada desulfoglikozinolati ne mogu reagirati s enzimom mirozinazom. Vrsta kukaca *Pieris rapae* sadrži nitril-specifične proteine koji prilikom hidrolize glukozinolata daju manje toksične nitrile, a ne izotiocijanate.

„Prijelaznim kulturama“ nazivaju se biljke iz roda *Brassica* zato što glukozinolati i produkti hidrolize koji su otpušteni u tlo inhibiraju patogene prirodno prisutne u tlu. Pojedina istraživanja provedena na poljima utvrdila su kako prirodno prisutni mikroorganizmi u tlu razlikuju od drugih zahvaljujući biljkama koje sadrže glukozinolate. Tako je pokazano da pšenica posijana nakon indijske gorušice i uljane repice ima bolji prinos nego nakon neke druge vrste iz plodoreda. Neki sojevi mikoriznih gljiva zbog prisutnosti produkata hidrolize indolnih glukozinolata pokazuju bolji

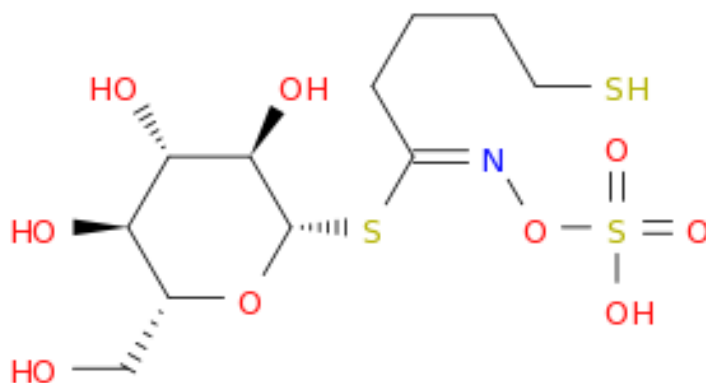
rast. U *in vitro* istraživanjima potvrđeno je kako različito fungitoksično djelovanje produkata hidrolize glukozinolata ovisi o njihovoj strukturi. Toksičnost produkata razgradnje alifatskih glukozinolata prema gljivicama raste porastom duljine bočnog lanca, a produkti hidrolize aromatskih glukozinolata pokazuju jače fungitoksično djelovanje od alifatskih. U eksperimentu s mutantama *Arabidopsis* biljke utvrđeno je da pojedini produkti hidrolize glukozinolata imaju mogućnost obrane samo od određenih plijesni. Poznata bolest kupusna kila povezana je s indolnim glukozinolatima koji se prevode u indol-3-acetonitril i nakon toga do indol-3-octene kiseline, auksina, koji zajedno sa citokininima dovodi do ubrzane diobe i produljivanja stanica biljke. Pretpostavlja se da plijesni imaju mehanizam obrane od sustava glukozinolati-mirozinaza tako da ih pretvaraju u netoksične, manje toksične ili tijekom patogeneze daju produkte koji inhibiraju hidrolizu glukozinolata (Radojčić Redovniković i sur., 2016.).

Hlapljivi spojevi izotiocijanati, tiocijanati, indoli i nitrili koji su produkti hidrolize glukozinolata pokazuju antibakterijska, antioksidativna, antivirusna, antikancerogena, protuupalna svojstva i koriste jačanju imunološkog sustava. Količina tih biološki aktivnih spojeva ovisi o vrsti biljke, uvjetima u kojima biljka raste, aktivnosti mirozinaze i tehnologiji prerade sjemena (Divić, 2019). Biodostupnost tvari odnosi se na količinu koja se oslobađa u određenom dijelu probavnog puta iz neke prehrambene namirnice i time postaje dostupna za apsorpciju. Istraživanja o glukozinolatima i njihovoj biodostupnosti u ljudskom organizmu pokazala su da je biodostupnost izotiocijanata, produkta razgradnje glukozinolata, tri puta veća kod svježih brokule nego kod kuhane što ukazuje na to da se kuhanjem smanjuje mogući pozitivan učinak na zdravlje čovjeka. Oboljenja od karcinoma povezuju se i s načinom prehrane, a mnogobrojne studije pokazala su kako je pojava karcinoma kod ljudi koji se hrane s kupusnjačama smanjena. Glukozinolati i produkti razgradnje utječu na aktivnost enzima koji predstavljaju prvu obrambenu liniju u organizmu protiv kancerogenih tvari, a to su enzimi Faze I i Faze II. Uz to, utvrđeno je da inhibiraju rast tumorskih stanica i potiču programiranu smrt stanica (apoptozu). Glukozinolati i produkte njihove hidrolize svrstavaju se u indirektni antioksidansi zato što ne blokiraju slobodne radikale već modificiraju aktivnosti enzima, tako da enzimi Faze I budu inhibirani, a enzimima Faze II aktivnost je povećana. Izotiocijanati i drugi produkti razgradnje glukozinolata povećavaju transkripciju gena s elementima antioksidacijskog odgovora čime se povećava aktivnost enzima Faze II koji su veoma važni za detoksifikaciju elektrofila i zaštitu od oksidativnog stresa. Uz modifikaciju aktivnosti enzima Faze II, izotiocijanati djeluju na različite stadije nastajanja karcinoma tako da modificiraju

i staničnu signalizaciju, induciraju apoptozu, kontroliraju stanični ciklus i smanjuju infekciju uzrokovanu bakterijom *Helicobacter* (Kopjar i sur., 2012). Karcinom želuca može biti uzrokovan bakterijom *Helicobacter pylori* i pritom se antikancerogena i antibakterijska svojstva izotiocijanata isprepliću. Primjerice, alil izotiocijanat može oštetiti bakterijsku DNA, uzrokovati oksidativni stres i poticati rast bakterijske stanice (Nielsen i Rios, 2000).

4.3.3. Glukosativini (eng. *Glucosativin*)

Glukosativin (eng. *Glucosativin*) je sastavni dio rukole odgovoran za njenu specifičnu aromu, a doprinosi i nekim pozitivnim učincima na ljudsko zdravlje od kojih se posebno ističu učinci na gastrointestinalni trakt i na zdravlje kardiovaskularnog sustava. Duži period unosa povrća i lišća biljaka iz porodice *Brassicaceae* ima dokazano blagotvoran utjecaj na ljudsko zdravlje, međutim velik dio svjetske populacije ne konzumira je dovoljno kao što je istaknuto u nekoliko studija (Bell i sur., 2014.).



Slika 6. Kemijska struktura glukosativina

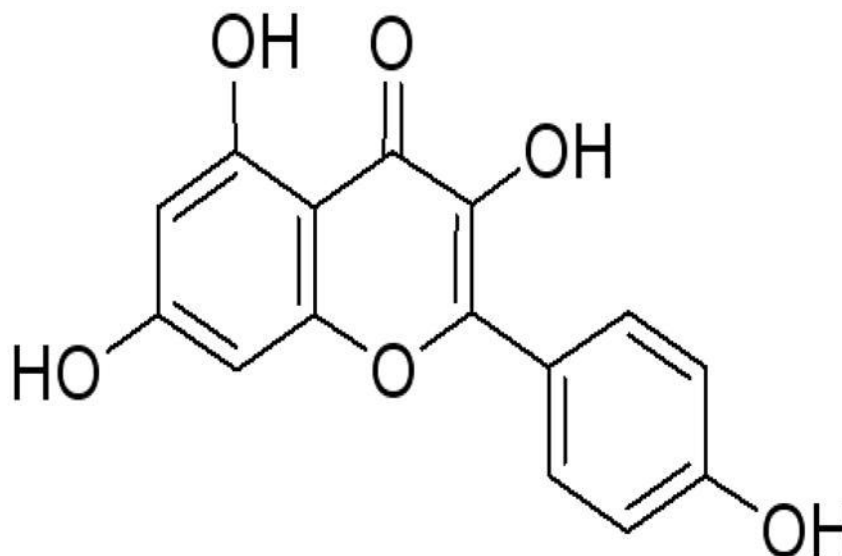
Izvor: <https://www.chemessen.com>

4.3.4. Kempferol

Kempferol (eng. *Kaempferol*) je polifenolski antioksidans koji se nalazi u voću i povrću. Mnoga su istraživanja opisala pozitivne učinke kempferola u prehrani i smanjenju rizika od kroničnih bolesti, posebno raka. Epidemiološke studije pokazale su obrnutu vezu između unosa kempferola i raka. Kempferol može pomoći pojačavanjem tjelesne antioksidativne obrane od slobodnih

radikala. Na molekularnoj razini, zabilježeno je da kempferol modulira niz ključnih elemenata u staničnim putevima transdukcije signala povezanih s apoptozom, angiogenezom, upalom i metastazama. Značajno je da kempferol inhibira rast stanica karcinoma i angiogenezu i inducira apoptozu stanica karcinoma, ali s druge strane, čini se da kempferol čuva normalnu održivost stanica, u nekim slučajevima imajući zaštitni učinak (Chen, 2012.).

Kempferol također zbog svojstva inhibiranja lipoproteina niske gustoće (LDL) utječe na prevenciju arterioskleroze, a smatra se također da inhibira i agregaciju trombocita u krvi te razvoj malignih stanica.



Slika 7. Kemijska struktura kempferola

Izvor: Chen i Chen (2012.)

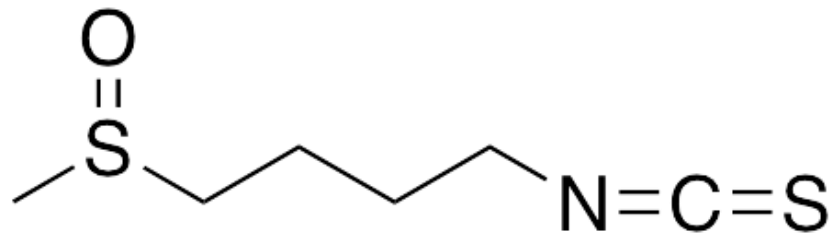
4.3.5. Sulforafan

Sulforafan (eng. *Sulforaphane*) je aktivan biljni spoj koji snažno preventivno djeluje u sprječavanju raka, promiče zdravlje srca, potiče bolju funkciju mozga kod autizma, usporava starenje i djeluje kao snažan nootropik, zaustavljajući razne upalne čimbenike u tijelu.

Sulforafan se pokazao učinkovitim kemoprotektivnim sredstvom u staničnim kulturama, karcinogeno induciranim i genetskim modelima karcinoma životinja, kao i u ksenografskim modelima karcinoma. Rano istraživanje usredotočilo se na "blokirajuću aktivnost" sulforafana putem fazne indukcije enzima, kao i na inhibiciju enzima koji sudjeluju u aktivaciji kancerogena,

ali raste interes za druge mehanizme kemoprotekcije sulforafanom. Nedavne studije sugeriraju da sulforafan nudi zaštitu od razvoja tumora tijekom faze "post-inicijacije", a mehanizmi za suzbijanje učinaka sulforafana, uključujući zaustavljanje staničnog ciklusa i indukciju apoptoze, od posebnog su interesa (Clarke, 2008.).

Također, istraživanje kojega su na štakorima proveli Noorafshan i sur. (2012.) dokazalo je da sulforafan učinkovito sprječava neka strukturna oštećenja bubrega kod modela izravne opstrukcije.



Slika 8. Kemijska struktura sulforafana

Izvor: <https://lktlabs.com>

5. ZAKLJUČAK

Rukola (*Eruca sativa* L.) je jednogodišnja jestiva biljka koja pripada porodici kupusnjača (lat. Brassicaceae) te rodu *Eruca*. Iako je laka za uzgojiti te se u mediteranskim krajevima može pronaći još od razdoblja starog Egipta, ostaje dojam kako mnogi ljudi i dalje nisu dovoljno dobro upoznati s pozitivnim učincima te naviknuti na konzumaciju ove biljke kao kada je riječ o salati (lat. *Lactuca sativa* L.). Listovi rukole su na kratkim peteljčkama, lirasti, više ili manje nazubljeni ili urezani do 20 cm dugački i 6 cm široki. Aromatična je biljka bogata mineralnim solima i vitaminom C, a naraste do visine 60 cm. Riječ je o biljci koja nije zahtjevna za uzgoj i brzo raste pa mnogi znanstvenici smatraju da upravo od tuda dolazi engleski naziv 'rocket salad'.

Konzumiranje zelenog lisnatog povrća kao što je rukola povezano je sa smanjenjem rizika od nekoliko vrsta raka i kardiovaskularnih bolesti. Ovi korisni učinci se pripisuju nizu fitokemikalija uključujući flavonoide i glukozinolate koji se nalaze u visokim razinama u porodici kupusnjača. Ulje rukole ima odlične farmakološke učinke i jamči prisutnost bioaktivnih komponenti odgovornih za blagotvorne učinke na ljudsko zdravlje. Znanstvena otkrića podržavaju primjenu ulja rukole u tradicionalnoj medicini kao antimikrobnog agensa te naglašavaju potencijal ovog ulja za moguću kliničku upotrebu. Rukola obiluje vitaminima A, C, K te nekim od vitamina B skupine, od kojih svakako treba izdvojiti folnu kiselinu koja je nužna u prehrani trudnica radi sprječavanja oštećenja neuralne cijevi ploda.

Rukola je odličan izvor C vitamina koji je povijesno gledano poglavito imao ulogu protiv skorbuta, između ostalog, a danas se najviše cijeni zbog toga što podiže imunitet tako što štiti od nakupljanja slobodnih radikala u organizmu, ali i općenito je dobar antioksidant. Možda i najvažnija nutritivna komponenta rukole leži u visokom sadržaju vitamina K koji ima značajnu ulogu u ljudskom organizmu. Zbog svega navedenog može se zaključiti kako je rukola biljka čija konzumacija zbog kemijskog sastava biljke izuzetno pozitivno djeluje na ljudski organizam.

6. POPIS LITERATURE

1. Amodio, M.L., Derossi, A., Mastrandrea, L., Colelli, G. (2015.): A study of the estimated shelf life of fresh rocket using a non-linear model. *Journal of Food Engineering*, 150(1): 19-28.
2. Antolović, N. (2019.): Gastrointestinalna stabilnost izotiocijanata iz mikrovalnog ekstrakta biljke dragoljub (*Tropaeolum majus* L.) nakon dvofaznog silmuliranog modela probave. Diplomski rad. Split: Kemijsko-tehnološki fakultet, Split.
3. Bell, L., Oruna-Concha, M.J., Wagstaff, C. (2014.): Identification and quantification of glucosinolate and flavonol compounds in rocket salad (*Eruca sativa*, *Eruca vesicaria* and *Diplotaxis tenuifolia*) by LC-MS: highlighting the potential for improving nutritional value of rocket crops. *Food Chemistry*, 172(1): 852-861.
1. Bell, L., Wagstaff, C. (2019.): Rocket science: A review of phytochemical & health-related research in *Eruca* & *Diplotaxis* species. *Food Chemistry*, 10(1).
2. Bones, A.M., Rossiter, J.T. (1996.): The myrosinase-glucosinolate system, its organisation and biochemistry. *Physiol. Plantarum* 97: 194–208.
3. Chen, A.Y., Chen, Y.C. (2012.): A review of the dietary flavonoid, kaempferol on human health and cancer chemoprevention. *Food Chem.* 138(4): 2099–2107.
4. Clarke, J.D., Dashwood, R.H., Ho, E. (2008.): Multi-targeted prevention of cancer by sulforaphane. *Cancer Letters*, 269 (2): 291-304.
5. Deng, Q., Zinoviadou, K.G., Galanakis, C.M., Orlien, V., Grimi, N., Vorobiev, E. (2015.): The effects of conventional and non-conventional processing on glucosinolates and its derived forms, isothiocyanates: Extraction, degradation, and applications. *Food Engineering Reviews*, 7: 357-381.
6. Divić, J. (2019.): Antiproliferativna aktivnost mikrovalnih ekstrakata sjemenki crne (*Brassica nigra* L.) i smeđe (*Brassica juncea* L.) gorušice. Završni rad. Split: Kemijsko tehnološki fakultet, Split.
7. Guo, Z., Smith, T.J., Wang, E., Sadrieh, N., Ma, Q., Thomas, P.E., Yang, C.S. (1992.): Effects of phenethyl isothiocyanate, a carcinogenesis inhibitor, on xenobiotic-metabolizing enzymes and nitrosamine metabolisms in rats. *Carcinogenesis*, 13: 2205-2210.
8. Grlić, Lj. (1990.): Enciklopedija samoniklog jestivog bilja, Zagreb: August Cesarec.

9. Hara, M., Eto, H., Kuboi, T. (2001.): Tissue printing for myrosinase activity in roots of turnip and Japanese radish and horseradish: a technique for localizing myrosinases. *Plant Sci.* 160: 425–431.
10. Harvard Medical School (2018.): Salad greens: Getting the most bang for the bite. *Harvard Health Letter*.
11. Hopkins, R.J., van Dam, N.M. and van Loon, J.J. (2009.): Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 54: 57–83.
12. Jin, J., Koroleva, O. A., Gibson, T., Swanston, J., Magan, J., Zhang, Y., Rowland, I. R., Wagstaff, C. (2009.): Analysis of phytochemical composition and chemoprotective capacity of rocket (*Eruca sativa* L. and *Diplotaxis tenuifolia*) leafy salad following cultivation in different environments, *J. Agric. Food Chem.*, 57(12): 5227-5234.
13. Juge, N., Mithena, R.F., Traka, M. (2007.): Molecular basis for chemoprevention by sulforaphane: a comprehensive review. *Cellular and Molecular Life Sci*, 64:1105-1127.
14. Khoobchandani, M., Ojeswi, B. K., Ganesh, N., Srivastava, M. M., Gabbanini, S., Matera, R., Iori, R., Valgimigli, I. (2010.): Antimicrobial properties and analytical profile of traditional *Eruca sativa* seed oil: Comparison with various aerial and root plant extracts. *Food Chemistry*, 120: 217-224.
15. Kim, S.J., Kawaguchi, S., Watanabe, Y. (2003.): Glucosinolates in vegetative tissues and seeds of twelve cultivars of vegetable turnip rape (*Brassica rapa* L.). *Soil Sci Plant Nutr* 49:337–346.
16. Kopjar, M., Šubarić, D., Piližota, V. (2012.): Glukozinolati: biodostupnost i utjecaj na zdravlje ljudi. *Hrana u zdravlju i bolesti: znanstveno-stručni časopis za nutricionizam i dijetetiku*, 1(1).
17. Kushad, M.M., Brown, A.F., Kurilich, A.C., Juvik, J.A., Klein, B.P., Wallig, M.A., Jeffery, E.H. (1999.): Variation of Glucosinolates in Vegetable Crops of *Brassica oleracea*. *J Agric Food Chem* 47: 1541-1548.
18. Lamešić, D. (2017.): Ekonomski i tehnološki pokazatelji proizvodnje rukole, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
19. Lešić, R., Borošić, J., Buturac, I., Herak-Ćustić, M., Poljak, M., Romić, D. (2004.): Povrčarstvo. Zrinski d.d., Čakovec.
20. Luca, A., Mahajan, P., Edelenbos, M. (2016.): Changes in volatile organic compounds from wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.) during modified atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 114: 1-9.

21. Luca, A., Kjær, A., Edelenbos, M. (2017.) :Volatile organic compounds as markers of quality changes during the storage of wild rocket. *Food Chemistry*, 232: 597-1586.
22. Mirecki, N., Wehinger, T., Jaklič, M. (2011.): Priručnik za organsku proizvodnju.
23. Moreno, D.A., Carvajal, M., López-Berenguer, C., García-Viguera, C. (2006.): Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *J Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 41:1508–1522.
24. Murata, M., Yamashita, N., Inoue, S., Kawanishi, S. (2000.): Mechanism of oxidative DNA damage induced by carcinogenic allyl isothiocyanate. *Free Radic. Biol. Med.*, 28: 797-805.
25. Nielsen, T., Bergstrom, B., Borch, E. (2008.): The origin of off-odours in packaged rucola (*Eruca sativa*). *Food Chemistry*, 110: 96-105.
26. Nielsen, P.S., Rios, R. (2000.): Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs, and the possible application in active packaging, with special emphasis on mustard essential oil. *Int. J. Food Microbiol.*, 60: 219–229.
27. Pereira, F.M., Rosa, E., Fahey, J.W., Stephenson, K.K., Carvalho, R., Aires, A. (2002.): Influence of temperature and ontogeny on the levels of glucosinolates in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) sprouts and their effect on the induction of mammalian phase 2 enzymes. *J Agric. Food Chem.* 50: 6239–6244.
28. Radojčić Redovniković, I. , Cvjetko Bubalo, M., Panić, M., Radošević, K. (2016.): Uloga glukozinolata u obrani biljaka od nametnika. *Glasnik zaštite bilja*. 39: 22-26.
29. Rolland, M. (2017.). *Arugula Health Benefits: Superfood for Cancer Prevention*
30. Sønderby, I.E., Geu-Flores, F. and Halkier, B.A. (2010.) Biosynthesis of glucosinolates—gene discovery and beyond. *Trends Plant Sci.* 15: 283–290.
31. Valgimigli L., Iori R. (2009.): Antioxidant and pro-antioxidant capacities of ITCs. *Environ. Mol. Mutagen.*, 50: 222-237.
32. Verkerk, R., Schreiner, M., Krumbein, A., Ciska, E., Holst, B., Rowland, I., De Schrijver, R., Hansen, M., Gerhäuser, C., Mithen, R., Dekker, M. (2009.): Glucosinolates in Brassica vegetables: The influence of the food supply chain on intake, bioavailability and human health. *Mol Nutr Food Res*, 53:219 –265.
33. Zhang, Y. (2010.): Allyl isothiocyanate as cancer chemopreventive phytochemical. *Mol. Nutr. Food Res.*, 54: 127-135.

7. SAŽETAK

Rukola je jestiva jednogodišnja biljka iz porodice kupusnjača koja se koristi kao lisnato povrće poznato po svojem svježem, gorkastom i paprikastom okusu. Vrste rukole (*Eruca spp.* i *Diplotaxis spp.*) postaju sve značajnije salatno povrće diljem svijeta. Brojna znanstvena istraživanja objavljena posljednjih godina potvrdila su blagotvorne zdravstvene učinke povezane s fitokemikalijama sadržanim u lišću rukole, kao što su flavonoidi, izotiocijanati i glukozinolati. Iako se broj ovakvih istraživanja svakim danom povećava, nekim studijama nedostaje dubinsko poznavanje komercijalnih uzgoja i uzgojnih praksi, što otežava tumačenje i primjenu rezultata u praksi. Ipak, treba naglasiti da je rukola zbog svog kemijskog sastava iznimno vrijedno lisnato povrće.

Ključne riječi: rukola, uzgoj, zdravlje

8. SUMMARY

Arugula (Rocket salad) is an edible annual plant from the Brassicaceae family that is used as a leafy vegetable known for its fresh, bitter and peppery taste. Arugula species (*Eruca spp.* and *Diplotaxis spp.*) are becoming an increasingly important leafy vegetable around the world. Numerous scientific studies published in recent years have confirmed the beneficial health effects associated with phytochemicals contained in arugula leaves, such as flavonoids, isothiocyanates and glucosinolates. Although the number of such studies is increasing daily, some studies lack in-depth knowledge of commercial production methods and practices, which makes it difficult to interpret and apply the results in practice. However, it should be emphasized that rocket is an highly valuable leafy vegetable due to its chemical composition.

Key words: arugula, cultivation, health

9. POPIS TABLICA

Tablica 1. Botanička klasifikacija rukole	2
Tablica 2. Nutritivna vrijednost rukole	10
Tablica 3. Zastupljenost vitamina i minerala u rukoli	11
Tablica 4. Kemijski sastav rukole.....	12

10. POPIS SLIKA

Slika 1. Rukola - listovi rukole	3
Slika 2. Primjer pripreme tla kombiniranim strojem (gredičar, rotofreza)	5
Slika 3. Prikaz hidroponskog uzgoja rukole i špinata.....	6
Slika 4. Pakiranje rukole u maloprodaji	9
Slika 5. Koraci u lancu hrane koji utječu na sadržaj glukozinolata u povrću	16
Slika 6. Kemijska struktura glukosativina.....	21
Slika 7. Kemijska struktura kempferola	22
Slika 8. Kemijska struktura sulforafana	23

11. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij, smjer Biljna proizvodnja

Diplomski rad

Suvremena proizvodnja i ljekovita svojstva rukole (*Eruca vesicaria* L.)

Marija Slivonja

Sažetak: Rukola je jestiva jednogodišnja biljka iz porodice kupusnjača koja se koristi kao lisnato povrće poznato po svojem svježem, gorkastom i paprikastom okusu. Vrste rukole (*Eruca spp.* i *Diplotaxis spp.*) postaju sve značajnije salatno povrće diljem svijeta. Brojna znanstvena istraživanja objavljena posljednjih godina potvrdila su blagotvorne zdravstvene učinke povezane s fitokemikalijama sadržanim u lišću rukole, kao što su flavonoidi, izotiocijanati i glukozinolati. Iako se broj ovakvih istraživanja svakim danom povećava, nekim studijama nedostaje dubinsko poznavanje komercijalnih uzgoja i uzgojnih praksi, što otežava tumačenje i primjenu rezultata u praksi. Ipak, treba naglasiti da je rukola zbog svog kemijskog sastava iznimno vrijedno lisnato povrće.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: izv.prof.dr.sc. Tomislav Vinković

Broj stranica: 33

Broj grafikona i slika: 8

Broj tablica: 4

Broj literaturnih navoda: 33

Broj priloga:

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: rukola, uzgoj, zdravlje

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. Dr.sc. Monika Tkalec, predsjednik
2. Izv.prof.dr.sc. Tomislav Vinković, mentor
3. Izv.prof.dr.sc. Miro Stošić, član

Rad je pohranjen u: Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, sveučilište u Osijeku, Vladimira Preloga
1, Osijek, Hrvatska

12. BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
University Graduate Studies, Plant production

Graduate thesis

Modern production technology and medicinal properties of Arugula (*Eruca vesicaria* L.)

Marija Slivonja

Abstract: Rocket or arugula is an edible annual plant in the family Brassicaceae used as a leaf vegetable for its fresh, bitter, and peppery flavor. Rocket species (*Eruca* spp. and *Diplotaxis* spp.) are becoming increasingly important leafy salad crops across the world. Numerous scientific research papers have been published in recent years surrounding the potential health benefits associated with phytochemicals contained in leaves, such as flavonoids and isothiocyanates. While research into these aspects is increasing, some studies lack cohesion and in-depth knowledge of commercial breeding and cultivation practices that makes interpretation and application of results difficult. However, due to its chemical composition rocket salad has an extremely positive effect on the human body.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: PhD Tomislav Vinković

Number of pages: 33

Number of figures: 8

Number of tables: 4

Number of references: 33

Number of appendices:

Original in: Croatia

Key words: Arugula, cultivation, health

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. PhD. Monika Tkalec- chair member
2. PhD. Tomislav Vinković, associate professor- mentor
3. PhD. Miro Stošić, associate professor – member

Thesis deposited at: Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1, Osijek, Croatia