



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Ana ŠKERJANEC

**VSEBNOST IN SESTAVA GLUKOZINOLATOV V
VRTNINAH IZ DRUŽINE KRIŽNIC (*Brassicaceae*)
GLEDE NA OKOLJSKE DEJAVNIKE IN
TEHNOLOGIJO PRIDELOVANJA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2018

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Ana ŠKERJANEC

**VSEBNOST IN SEŠTAVA GLUKOZINOLATOV V VRTNINAH IZ
DRUŽINE KRIŽNIC (*Brassicaceae*) GLEDE NA OKOLJSKE
DEJAVNIKE IN TEHNOLOGIJO PRIDELOVANJA**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**THE CONTENT AND COMPOSITION OF GLUCOSINOLATES IN
VEGETABLES OF THE CRUCIFEROUS FAMILY (*Brassicaceae*) IN
TERMS TO THE ENVIRONMENTAL FACTORS AND CULTIVATION
METHODS**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2018

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Kmetijstvo – agronomija – 1. stopnja. Projekt je bil opravljen na Katedri za sadjarstvo, vinogradništvo in vrtnarstvo.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega projekta imenovala izr. prof. dr. Nino Kacjan Maršič.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Metka HUDINA
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: izr. prof. dr. Nina KACJAN MARŠIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Robert VEBERIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
- DK UDK 582.683.2:635.3:631.524:547.99 (043.2)
- KG vrtnine, križnice, Brassicaceae, glukozinolati, sekundarni metaboliti, tehnologija pridelovanja, okoljski dejavniki
- AV ŠKERJANEC, Ana
- SA KACJAN MARŠIČ, Nina (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Univerzitetni študijski program prve stopnje Kmetijstvo - agronomija
- LI 2018
- IN VSEBNOST IN SESTAVA GLUKOZINOLATOV V VRTNINAH IZ DRUŽINE KRIŽNIC (Brassicaceae) GLEDE NA OKOLJSKE DEJAVNIKE IN TEHNOLOGIJO PRIDELOVANJA
- TD Diplomski seminar (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
- OP VI, 17 str., 4 sl., 20 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Glukozinolati so bioaktivne snovi, ki se nahajajo v rastlinah iz družine križnic (Brassicaceae). Pri poškodbi rastlinskega tkiva se aktivira sistem gluzinolat-mirozinaza, ki deluje kot obrambni mehanizem rastline. Razgradni produkti kot so izotiocianati so lahko toksični za nekatere patogene in škodljivce. Nasprotno temu, pa imajo produkti hidrolize lahko nekaj pozitivnih učinkov na zdravje človeka, saj zmanjšujejo tveganje za nastanek nekaterih vrst raka in imajo antioksidativno delovanje ter preprečujejo razvoj kardio-vaskularnih bolezni in diabetesa. Glukozinolati imajo vlogo tudi pri zatiranju različnih vrst plevelov, kar lahko prispeva k zmanjšanju uporabe sintetičnih herbicidov. Na vsebnost glukozinolatov v rastlinah vpliva več različnih dejavnikov okolja. Da bi dosegli čim večjo produkcijo bioaktivnih snovi, moramo te dejavnike upoštevati pri pridelavi zelenjave iz družine križnic. Na vsebnost glukozinolatov v križnicah vplivajo vrsta in sorta, izpostavljenost škodljivcem in patogenom, starost oziroma razvojna faza rastline ter tekmovalnost z drugimi rastlinskimi vrstami. Koncentracija glukozinolatov je odvisna tudi od različnih klimatskih faktorjev kot so temperatura, dostopnost vode, svetloba, letni časi in onesnažila. Na količino glukozinolatov v rastlinah vpliva razpoložljivost hranil v tleh in gnojenje, namakanje, način pridelovanja in še nekatere druge agronomske prakse.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 582.683.2:635.3:631.524:547.99 (043.2)
- CX vegetables, cruciferous plants, Brassicaceae, glucosinolates, secondary metabolites, cultivation methods, environmental factors
- AU ŠKERJANEC, Ana
- AA KACJAN MARŠIČ, Nina (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy, Academic Study Programme in Agriculture - Agronomy
- PY 2018
- TI THE CONTENT AND COMPOSITION OF GLUCOSINOLATES IN VEGETABLES OF THE CRUCIFEROUS FAMILY (Brassicaceae) IN TERMS TO ENVIRONMENTAL FACTORS AND CULTIVATION METHODS
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
- NO VI, 17 p., 4 fig., 20 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Glucosinolates are bioactive substances found in cruciferous plants (Brassicaceae). When injury to the plant tissue occurs, the glucosinolate-mirosynase system is activated and acts as a defensive mechanism of the plant. Degradation products such as isothiocyanates may be toxic for certain pathogens and pests. On the contrary, hydrolysis products may have some positive effects on human health, because they exhibit may reduce the risk of certain cancers and act as antioxidant. They also prevent cardio-vascular diseases and diabetes. Glucosinolates also play a role in controlling various types of weeds, which can contribute to reduced the use of synthetic herbicides. The level of glucosinolates in plants is influenced by several environmental factors. In order to achive the highest production of bioactive substances, these factors must be taken into account in the production of cruciferous plants. The content of glucosinolates in cruciferous plants is influenced by species and variety, exposure to pests and pathogens, age or delevopment phase of the plant, and competitiveness with other plant species. The concentration of glucosinolates depends also on various climate factors, such as temperature, accesibility of water, sunlight, season and pollutants. The level of glucosinolates in plants is furthermore affected by the availability of nutrients and fertilization, irrigation, cultivation methods and some other agronomic practices.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VI
1 UVOD	1
2 GLUKOZINOLATI	1
2.1 KEMIJSKA STRUKTURA	2
2.2 BIOSINTEZA GLUKOZINOLATOV	2
2.3 HIDROLIZA GLUKOZINOLATOV IN MIROZINAZA	4
2.4 POMEN GLUKOZINOLATOV ZA ČLOVEKA	5
2.4.1 Antikancerogena aktivnost	5
2.4.2 Antioksidativno delovanje	5
2.4.3 Negativni učinki glukozinolatov	6
2.5 FUNKCIJA GLUKOZINOLATOV V RASTLINAH	6
2.5.1 Protimikrobno delovanje	6
2.5.2 Zatiranje škodljivcev	7
2.5.3 Bioherbicidno delovanje	8
3 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA SINTEZO GLUKOZINOLATOV IN NJIHOVO VSEBNOST V RASTLINAH	8
3.1 BIOTSKI DEJAVNIKI	9
3.1.1 Vpliv vrste in sorte	9
3.1.2 Izpostavljenost škodljivcem in boleznim	9
3.1.3 Razvojna faza rastline in rastlinski organi	9
3.1.4 Tekmovalnost z drugimi rastlinskimi vrstami	10
3.2 KLIMATSKI DEJAVNIKI	10
3.2.1 Letni časi	10
3.2.2 Temperatura	10
3.2.3 Svetloba in sevanje	11
3.2.4 Dostopnost vode	11
3.2.5 Vpliv antropogenih onesnažil	11

3.3	AGRONOMSKE TEHNIKE	12
3.3.1	Gnojenje	12
3.3.2	Način pridelovanja	12
3.3.3	Vmesni posevki	13
3.3.4	Namakanje	13
3.3.5	Tretiranje z elicitorji	14
3.3.6	Skladiščenje kapusnic	14
3.3.7	Kulinarični postopki	14
4	SKLEPI	15
5	VIRI	16

KAZALO SLIK

Slika 1:	Osnovna struktura glukozinolatov (Verkerk in sod., 2008).	2
Slika 2:	Prva faza biosinteze glukozinolatov (Kovačič, 2015).	3
Slika 3:	Druga faza biosinteze glukozinolatov (Kovačič, 2015).	3
Slika 4:	Potek hidrolize glukozinolatov in produkti razgradnje (Kovačič, 2015).	4

1 UVOD

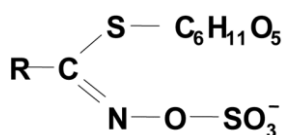
Nekoč so bile zelenjadnice iz družine križnic (Brassicaceae) pomembne samo s prehranskega in pridelovalnega vidika. Danes se je pridelava križnic povečala, s tem pa se je povečalo tudi zanimanje oziroma povpraševanje po novih sortah. Križnice so postale pomembne predvsem zaradi bioaktivnih snovi (glukozinolatov), ki jih vsebujejo, te pa imajo pomembno vlogo tako za zaščito rastlin, kot tudi za zdravje človeka. Glukozinolati so spojine, ki se nahajajo predvsem v rastlinah iz družine križnic in imajo mnoge zdravilne učinke. Najdemo jih v zelenjavi kot so zelje, cvetača, brstični ohrovt, brokoli, ohrovt, kolerabica in drugi. V diplomskem delu je predstavljen nastanek glukozinolatov in njihovih razgradnih produktov. Opisane so funkcije glukozinolatov v rastlinah iz družine križnic in različne študije o koristnosti v medicini. Glukozinolati in njihovi razgradni produkti imajo lastnosti kot so atikancerogena, antioksidativna, protiglivična, protibakterijska in insekticidna aktivnost. Kako intenzivno bodo te spojine delovale je odvisno od same vsebnosti le-teh v rastlinah, kar pa je povezano s številnimi dejavniki v okolju. Vsebnost glukozinolatov je odvisna tako od biotskih faktorjev (vrste in sorte rastlin, interakcija s škodljivci, prisotnost plevelov) kot tudi od klimatskih faktorjev (letni časi, svetloba, dostopnost vode, temperatura). Na koncentracijo glukozinolatov vplivajo tudi različne agronomske prakse (gnojenje, način pridelovanja). Ne smemo pa zanemariti dejstva, da so vplivi dejavnikov povezani med seboj in v večini primerov ne delujejo samostojno. V diplomskem projektu so opisani vplivi posameznih dejavnikov na vsebnost glukozinolatov.

2 GLUKOZINOLATI

Glukozinolati (β -tioglukozidni-N-hidroksisulfati) so pomembne spojine, ki jih uvrščamo v skupino sekundarnih metabolitov (Fahey in sod., 2001; Vig in sod., 2009). Prisotni so kar v šestnajstih družinah dvokaličnic, najbolj značilne rastlinske vrste pa spadajo v družino križnic (Brassicaceae) (Fahey in sod., 2001). Opisanih in izoliranih je bilo več kot 120 vrst glukozinolatov, vendar jih je le nekaj prisotnih v užitnih rastlinah (Tian in sod., 2005). Značilni predstavniki vrtnin iz družine Brassicaceae, kjer so glukozinolati prisotni so: brstični ohrovt (*Brassica oleracea* var. *gemmifera* L.), listnati ohrovt (*Brassica oleracea* var. *acephala* L.), zelje (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.), brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.), cvetača (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.), redkev (*Raphanus sativus* L.), kolerabica (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* L.), rukvica (*Eruca sativa* Mill.) in še nekatere druge. Glukozinolati se pojavljajo tudi v nekaterih poljščinah kot so na primer repa (*Brassica rapa* L.), oljna ogrščica (*Brassica napus* L.) in gorčica (*Brassica juncea* (L.) Czern.) (Verkerk in sod., 2008; Halkier in Gershenzon, 2006).

2.1 KEMIJSKA STRUKTURA

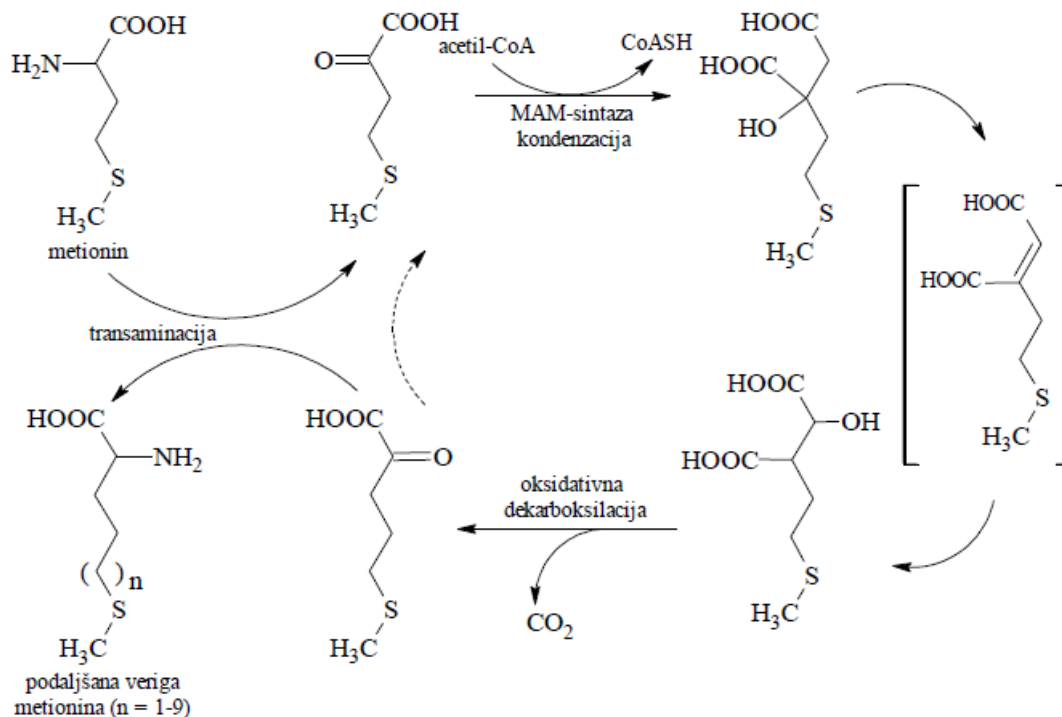
V osnovi so glukozinolati sestavljeni iz ostanka β -D-glukopiranoze, ki je preko žvepla vezan na (Z)-cis-N-hidroksiaminosulfatni ester (slika 1). Variabilna stranska veriga (R) lahko izvira iz ene izmed osmih aminokislin in vpliva na heterogeno strukturo (Halkier in Gershenzon, 2006) ter definira biološko aktivnost razgradnih produktov (Verkerk in sod., 2008). Na podlagi variabilne stranske verige (R) lahko glukozinolate razvrstimo v tri skupine: alifatske glikozinolate, ki izhajajo iz alanina, levcina, izolevcina, metionina ali valina; aromatske glukozinolate, katerih prekursorja sta fenilalanin ali tirozin in indolne (heterociklične) glukozinolate, ki so derivati triptofana (Halkier in Gershenzon, 2006; Jones in sod., 2006).



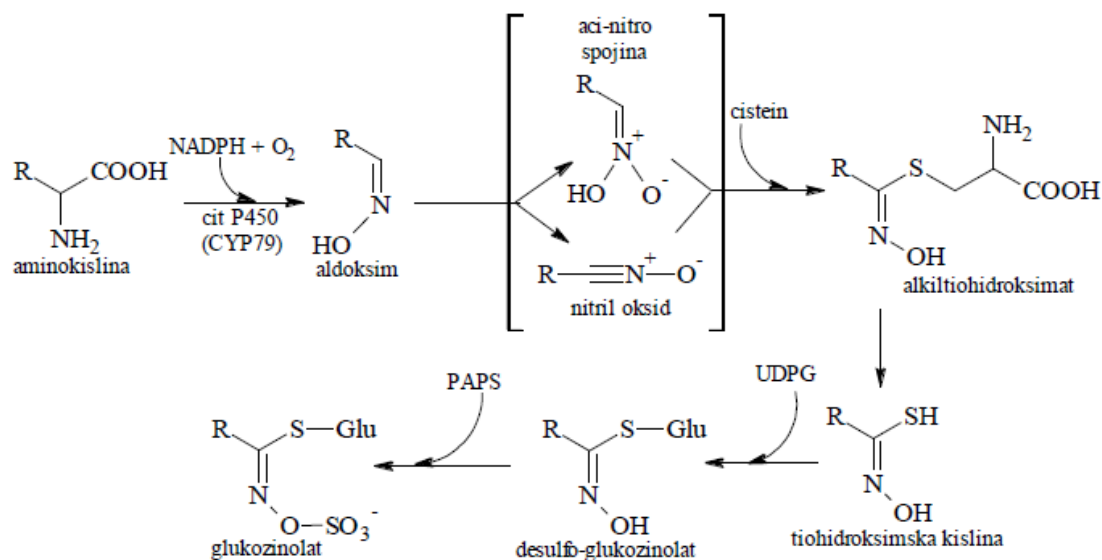
Slika 1: Osnovna struktura glukozinolatov (Verkerk in sod., 2008).

2.2 BIOSINTEZA GLUKOZINOLATOV

Tvorbo glukozinolatov lahko razdelimo na tri ločene faze. V prvi fazi (slika 2) pride do podaljševanja verig nekaterih alifatskih in aromatskih aminokislin, na podlagi vključevanja metilnih skupin v stransko verigo. Podaljševanje verig poteka v ciklih, v katere aminokislinske vstopijo z deaminacijo. Posamezen cikel podaljševanja verig aminokislin je sestavljen iz treh osnovnih korakov v sledečem zaporedju: kondenzacija z acetil koencimom A (acetil-CoA), izomerizacija in oksidativna dekarboksilacija. Nastane produkt, ki lahko izstopi iz cikla s transaminacijo in ali pa nadaljuje v naslednji cikel. V drugi fazi (slika 3) se aminokislinski del preoblikuje tako, da nastane jedro glukozinolatov. Prva v nizu reakcij nastanka jedra glukozinolatov je pretvorba aminokislin v aldoksim, ki jo katalizirajo citokromi P450 iz družine CYP79. Sledi pretvorba aldoksima v tihidroksimsko kislino preko dveh vmesnih produktov – domnevno aci-nitro spojine ali nitril oksida in S-alkil-tihidroksimata. S-glukoziltransferaza v naslednjem koraku katalizira reakcijo glikozilacije tihidroksimske kisline v desulfo-glukozinolat. Ta se s pomočjo sulfotransferaze pretvori v glukozinolat v zadnji reakciji sinteze glukozinolatnega jedra. V tretji fazi se prvotno oblikovani glukozinolati modificirajo preko t.i. sekundarnih transformacij. Te reakcije imajo tako biokemijski kot tudi biološki pomen, saj vplivajo na smer glukozinolatne hidrolize in s tem na aktivnost razgradnih produktov hidrolize (Halkier in Gershenzon, 2006; Travers-Martin in sod., 2008; Verkerk in sod., 2008).



Slika 2: Prva faza biosinteze glukozinolatov (Kovačič, 2015).



Slika 3: Druga faza biosinteze glukozinolatov (Kovačič, 2015).

2.3 HIDROLIZA GLUKOZINOLATOV IN MIROZINAZA

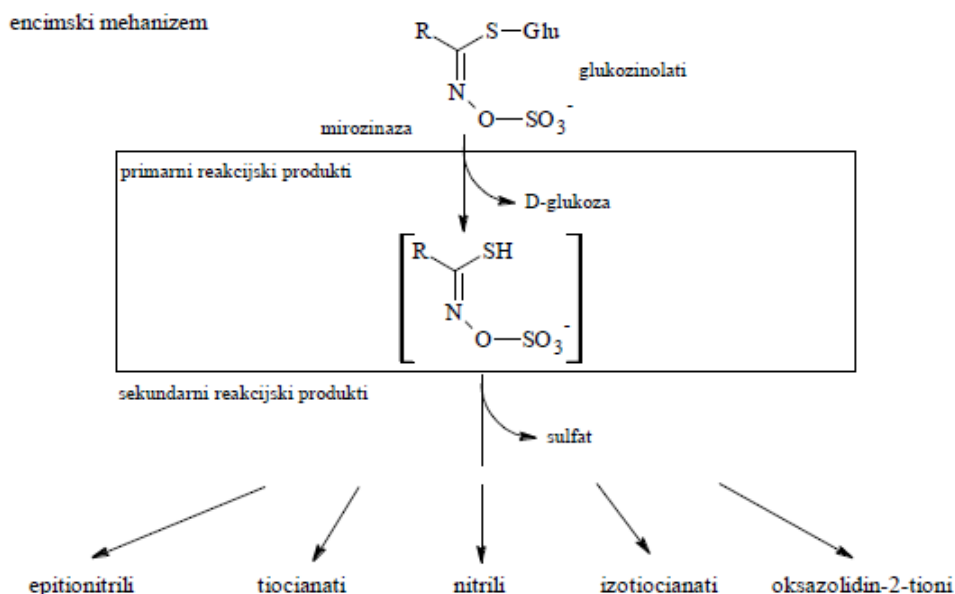
Pri poškodbi rastlinskega tkiva (rezanje ali žvečenje) se poškoduje struktura celic, kar omogoči sprostitvev encima mirozinaze in s tem hidrolizo glukozinolatov (Andréasson in sod., 2001; Travers-Martin in sod., 2008).

Mirozinaza je endogeni encim, ki spada med tioglukozidaze oz. β -tioglukozid glukohidrolaze in sodeluje pri razgradnji glukozinolatov. Mirozinaza je v rastlinskih celicah ločena od glukozinolatov. Navadno se nahaja v t.i. mirozinskih celicah, medtem, ko so glukozinolati skoncentrirani v S-celicah (Andréasson in sod., 2001).

Hidroliza glukozinolatov poteka v dveh fazah (slika 4). V prvi fazi se odcepi D-glukoza in nastanejo aglikoni (tiohidroksimat-O-sulfonati) kot primarni reakcijski produkti. V drugi fazi pa se nestabilni aglikoni razgradijo na sulfat in številne sekundarne reakcijske produkte kot so: izotiocianati, nitrili, tiocianati, epitionitrili ali oksazolidin-2-tioni (Travers-Martin in sod., 2008).

Verkerk in sod. (2008) poročajo, da na potek razgradnje vpliva več faktorjev. Eden izmed njih je pH raztopine vzorca med hidrolizo, ki vpliva na vrsto razgradnih produktov. Pri pH 5-7 se običajno tvorijo izotiocianati, pri nekoliko nižjem pH pa se tvorijo nitrili.

Sistem gluzinolati-mirozinaza deluje kot obrambni sistem v rastlinah in ima pomembno funkcijo. Razgradni produkti so lahko toksični za različne organizme, kot so na primer patogene bakterije in glive pa tudi žuželke in rastlinojede živali (Travers-Martin in sod., 2008).



Slika 4: Potek hidrolize glukozinolatov in produkti razgradnje (Kovačič, 2015).

2.4 POMEN GLUKOZINOLATOV ZA ČLOVEKA

Theis in Lerchau (2003, cit. po Björkman in sod., 2010) navajata, da so bili sekundarni metaboliti v medicini pomembni še pred odkritjem bioaktivnih spojin. V zadnjem obdobju se raziskovanju učinkov glukozinolatov in njihovih razgradnih produktov posveča precej pozornosti, saj imajo glukozinolati poleg obrambne funkcije pri rastlinah tudi velik pomen za zdravje človeka (Vig in sod., 2009; Tian in sod., 2005). Kot navajajo Forte in sod. (2008, cit. po Björkman in sod., 2010) so zdravilne lastnosti rastlin iz družine križnic, ki se uporabljajo za prehrano ljudi, povezane z manjšim tveganjem za pojav degenerativnih bolezni. Epidemiološke študije so pokazale, da lahko prehrana, bogata z zelenjadnicami iz družine križnic zmanjša tveganje za nastanek mnogih vrst raka (Tian in sod., 2005), bolezni srca in ožilja ter diabetesa (Björkman in sod., 2010).

2.4.1 Antikancerogena aktivnost

Produkti razgradnje glukozinolatov imajo mnogo pozitivnih učinkov na človeški organizem. Ena izmed funkcij glukozinolatov je močna antikancerogena aktivnost razgradnih produktov teh spojin (Halkier in Gershenzon, 2006). Produkti razgradnje glukozinolatov, kot so npr. izotiocianati so eni najpomembnejših komponent v križnicah, ki preko različnih mehanizmov lahko zavirajo nastanek tumorjev v različnih tkivih kot so npr. jetra, mehur, trebušna slinavka, debelo črevo, tanko črevo, prostata in drugi (Tian in sod., 2005; Vig in sod., 2009).

2.4.2 Antioksidativno delovanje

Vitamin C, vitamin E in karotenoidi so neposredni antioksidanti, saj nevtralizirajo proste radikale, ki lahko škodijo celicam. Glukozinolati in njihovi hidrolizni produkti so posredni antioksidanti, ker prostih radikalov ne nevtralizirajo neposredno, temveč to storijo z modulacijo ksenobiotskih metabolnih encimov (encimi faze I in faze II) (Holst in Williamson, 2004, cit. po Vig in sod., 2009).

Prosti radikali so zelo nestabilni zaradi prisotnosti prostih elektronov. Zato lahko pri oksidaciji pride do poškodb celičnega tkiva (proteinov, DNA, aminokislin in celičnih membran). Zaradi okvare pomembnih celičnih komponent se povečuje tveganje za različne bolezni. Glukozinolati zato predstavljajo pomemben obrambni mehanizem pred škodljivimi učinki prostih radikalov (Vig in sod., 2009).

2.4.3 Negativni učinki glukozinolatov

Čeprav so rastline iz družine križnic pomembne za zdravje ljudi, še vedno obstajajo različni vidiki negativnega delovanja. Verhoeven in sod. (1997, cit. po Björkman in sod., 2010) navajajo, da so glukozinolati in njihovi razgradni produkti, kot je na primer goitrin, znani po škodljivih učinkih na metabolizem ščitnice. To je zaskrbljujoče samo v primerih, kjer prehranske navade kažejo na vnos enormnih količin zelenjave iz družine križnic. Han in Kwon (2009, cit. po Björkman in sod., 2010) menita, da je celo v Koreji, kjer je dnevni vnos izotiocianatov visok, še vedno nižji od tistega, ki bi lahko povzročil negativne učinke.

2.5 FUNKCIJA GLUKOZINOLATOV V RASTLINAH

Danes so glukozinolati, med naravnimi proizvodi za zatiranje škodljivcev in patogenov, najprimernejša izbira v kmetijstvu. Biofumiganti na osnovi glukozinolatov so biološko razgradljivi in niso strupeni, zato so primerni za zatiranje škodljivcev v integrirani pridelavi. Potencial teh spojin v kmetijstvu in medicini bi morali bolj izkoriščati (Vig in sod., 2009).

2.5.1 Protimikrobno delovanje

Številne študije so pokazale, da glukozinolati in njihovi razgradni produkti lahko ščitijo rastlino pred patogenimi organizmi. V nekaterih primerih je odpornost rastline na patogene neposredno povezana z vsebnostjo glukozinolatov (Halkier in Gershenzon, 2009). Kot poročajo Mayton in sod. (1996, cit po Vig in sod., 2009) se različni produkti razgradnje glukozinolatov različno odzivajo na pojav različnih mikroorganizmov, v glavnem pa velja, da so izotiocianati glavni zaviralci mikrobne aktivnosti. Toksičnost in stopnja aktivnosti izotiocianatov sta odvisni tudi od variabilne R-skupine (Vig in sod., 2009). Halkier in Gershenzon (2009) menita, da obrambna vloga glukozinolatov ne more biti splošna, saj nekateri patogeni, predvsem biotrofni organizmi niso sposobni dovolj poškodovati rastlinskega tkiva, da bi se sprožil sistem glukozinolat-mirozinaza.

Glukozinolati in produkti hidrolize dajejo rastlinam iz družine križnic značilen okus, poleg tega pa imajo fungicidne in bakteriocidne lastnosti (Vig in sod., 2009).

Biofungicidi lahko delujejo na različne načine (Vig in sod., 2009):

- sprožijo obrambni mehanizem rastline (sistem glukozinolati-mirozinaza);
- tvorijo zaščitni sloj na območju korenin, ki škodljivim glivam prepreči vstop v rastlino;
- tvorijo toksine, ki ubijejo ciljne organizme.

Razgradni produkti glukozinolatov veljajo za močne zaviralce bakterij. Izotiocianate se pogosto uporablja kot zaščitne snovi v prehrabeni industriji. Tiedink in sod. (1991, cit. po Vig in sod., 2009) poročajo, da so nekateri produkti hidrolize citotoksični za bakterijo *Salmonella typhimurium*. Antibakterijsko delovanje izotiocianatov je bilo najprej omejeno le na človeške patogene (Vig in sod., 2009).

Kojima in Oawa (1971, cit. po Vig in sod., 2009) navajata, da je na voljo velik obseg literature v zvezi z protimikrobnim delovanjem razgradnih produktov glukozinolatov, vendar pa podatkov o mehanizmih delovanja primanjkuje. Po mnenju Zsolnai-a (1966, cit. po Vig in sod., 2009) hidrolitski produkti glukozinolatov delujejo tako, da inaktivirajo različne intracelularne encime v patogenu. Oviranje sinteze ATP v bakterijskih celicah preko neuskklajene oksidativne fosforilacije v mitohondrijih je še en način delovanja teh spojin (Vig in sod., 2009).

2.5.2 Zatiranje škodljivcev

Ker je uporaba sintetičnih insekticidov vse bolj omejena, obstaja vse večje zanimanje za alternativne metode zatiranja škodljivcev, kot je sajenje odpornih rastlin oziroma tistih, ki tvorijo dovolj sekundarnih metabolitov za zaščito pred napadom škodljivcev (Björkman in sod., 2010).

Kmetijsko pomembne rastline iz družine križnic (Brassicaceae) uporabljajo glukozinolate in njihove produkte za obrambo pred škodljivimi organizmi (Bohinc in sod., 2012). Brown in Morra (1995) sta mnenja, da produkti hidrolize glukozinolatov, ki delujejo kot biofumiganti za zatiranje škodljivcev, veljajo za bolj varne, saj so biološko razgradljivi in manj strupeni od sintetičnih insekticidov. Vrsta ali količina glukozinolata določata dovzetnost rastline za napad škodljivcev (Bohinc in sod., 2012).

Zatiranje škodljivcev poteka tako, da pride do povečanja dihanja. Organizem izgubi nadzor nad dihanjem. Ker se dihanje pospeši, potrebuje več energije v obliki ATP, hkrati pa blokira sintezo ATP. To povzroči izčrpanost virov energije, kar vodi v smrt organizma (Vig in sod., 2009).

Raziskave so pokazale, da lahko ista vrsta in koncentracija glukozinolata različno vplivata na različne vrste organizmov (spodbujanje ali odvrčanje hranjenja). Pri žvečenju rastlinskega tkiva se sprosti encim mirozinaza, ki sodeluje pri razgradnji glukozinolatov na izotiocianate, tiocianate in nitrile, ki lahko na organizem delujejo toksično (Bohinc in sod., 2012). Borek in sod. (1995, cit. po Vig in sod., 2009) so dokazali, da so aromatični izotiocianati toksični za jajčeca brazdastega trsnega rilčkarja (*Otiiorhynchus sulcatus*). Beekhuis (1975, cit. po Vig in sod., 2009) in Wood (1975, cit. po Vig in sod., 2009) poročata, da se organske tiocianate uporablja za zatiranje črnega žitnega žužka in letečih žuželk kot so na primer muhe. Smissman in sod. (1961, cit. po Vig in sod., 2009) trdijo, da nitrili prav tako inhibirajo rast in razvoj nekaterih škodljivcev. Insekticidne učinke izotiocianatov na predstavnike reda *Lepidoptera*

lahko primerjamo z učinkovitostjo sintetičnih insekticidov, medtem ko nitrili delujejo tako, da privabljajo naravne sovražnike (Bohinc in sod., 2012).

2.5.2.1 Nematocidna aktivnost

Nekateri viri poročajo o delovanju glukozinolatov in njihovih razgradnih produktov na nematode v tleh. Johnson in sod. (1992, cit. po Vig in sod., 2009) so dokazali, da je vključevanje rastlinskega tkiva oljne repice v tla (kot gnojilo) zmanjšalo populacije vrst *Meloidogyne incognita* in *Meloidogyne javanica*.

2.5.3 Bioherbicidno delovanje

Glukozinolati imajo lahko veliko vlogo pri zatiranju različnih vrst plevelov. Brown in Morra (1995) sta ugotovila, da rastlinska tkiva, ki vsebujejo glukozinolate lahko zavirajo kalitev semen. Rezultati raziskave so pokazali, da takšen način zatiranja plevelov lahko prispeva k zmanjšanju uporabe sintetičnih herbicidov (Vig in sod., 2009). Glukozinolati imajo tudi alelopatske lastnosti, kar pomeni, da lahko delujejo tako, da zavirajo rast rastlin, ki rastejo v bližini (Brown in Morra, 1995).

3 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA SINTEZO GLUKOZINOLATOV IN NJIHOVO VSEBNOST V RASTLINAH

Količina in vrsta spojin, kot so glukozinolati in karotenoidi v rastlinah iz družine križnic (Brassicaceae) je odvisna od vrste in sorte rastlin, starosti in rastlinskih organov, vrste tal, podnebja, tehnologije pridelovanja ter različnih agronomskih praks (Björkman in sod., 2010). Na vsebnost glukozinolatov vpliva tudi suša ter gnojenje z žveplom in dušikom (Ahuja in sod., 2010; Björkman in sod., 2010). Dejavniki, ki vplivajo na tvorbo glukozinolatov imajo velik pomen pri varstvu rastlin. Rastline izkoriščajo te spojine, da bi zmanjšale škodo, ki jo povzročajo škodljivci in patogeni. Pri gojenju zelenjave iz družine križnic je potrebno te dejavnike upoštevati, saj tako dosežemo kar največjo produkcijo in učinek bioaktivnih spojin, ki so pomembne tudi za zdravje človeka. Dejavniki na vsebnost glukozinolatov vplivajo v medsebojni kombinaciji in ne le samostojno. Raziskave o učinkih kombiniranega vpliva okoljskih dejavnikov so v pomoč tako ekologom, kot tudi pridelovalcem vrtnin in agronomom (Björkman in sod., 2010).

3.1 BIOTSKI DEJAVNIKI

3.1.1 Vpliv vrste in sorte

Vrsta in vsebnost glukozinolatov in njihovih hidrolitskih produktov se razlikuje po posameznih vrstah rodu *Brassica* (Björkman in sod., 2010; Fahey in sod., 2001). Meyer in Adam (2008, cit. po Björkman in sod., 2010) sta ugotovila, da v brokoliju prevladujejo glukorafanin, glukobrasicin in neo-glukobrasicin. Podobne količine glukorafanina in glukobrasicina so našli tudi v rdečem zelju (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra* L.), poleg tega pa so se pojavile tudi večje količine glukonapina, sinigrina in glucoerucina (Björkman in sod., 2010). Sulforafan, razgradni produkt glukorafanina, ki deluje antikancerogeno, se v velikih koncentracijah pojavlja tudi v redkvi (O'Hare in sod., 2008, cit. po Björkman in sod., 2010).

3.1.2 Izpostavljenost škodljivcem in boleznim

Raziskano je, da herbivori lahko izzovejo ekspresijo genov, ki poveča proizvodnjo nekaterih sekundarnih metabolitov, ki pa so hkrati zaščita rastline pred herbivori. Napad patogenov in škodljivcev lahko aktivira obrambni mehanizem rastline kot je sistem glukozinolat-mirozinaza. Pri tem se spremeni vsebnost glukozinolatov in mirozinaze, kar pa vpliva tudi na dovzetnost rastline za nadaljne napade škodljivcev in patogenov (Björkman in sod., 2010). Hranjenje škodljivcev na enem delu rastline lahko spodbudi tvorbo glukozinolatov na drugih delih (Björkman in sod., 2010; van Dam in sod., 2005).

3.1.3 Razvojna faza rastline in rastlinski organi

Koncentracija glukozinolatov se med različnimi rastlinskimi organi in razvojnimi stopnjami v rastlini precej razlikuje. Fahey in sod. (1997, cit. po Björkman in sod., 2010) so ugotovili, da 3 dni stari kalčki brokolija in cvetače vsebujejo 10 do 100-krat večjo koncentracijo glukorafanina, v primerjavi z zreliimi rastlinami. Študije so pokazale, da se je koncentracija alifatskih glukozinolatov v brokoliju, cvetači in zelju, v 7-dnevem obdobju kalitve zmanjšala, količina glukobrasicina pa je naraščala (Bellostas in sod., 2007; Björkman in sod., 2010). V raziskavah je bilo ugotovljeno, da je v koreninah večja koncentracija in raznolikost glukozinolatov kot v poganjkih rastlin. V različnih delih korenin je vsebnost glukozinolatov različna. Na celični ravni so bile v t.i. S-celicah odkrite visoke koncentracije glukozinolatov (Björkman in sod., 2010).

3.1.4 Tekmovalnost z drugimi rastlinskimi vrstami

Gostota sajenja rastlin in vmesni posevki vplivajo na vsebnost rastlinskih spojin v zelenjavi iz družine Brassicaceae. Björkman in sod. (2010) so ugotovili, da je sajenje belega zelja (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba* L.) v kombinaciji s črno deteljo (*Trifolium pratense*), v splošnem zmanjšalo količino glukozinolatov v listih in koreninah. Vpliv vmesnih posevkov na vsebnost sekundarnih metabolitov je povezan z vsemi dejavniki, ki so vključeni v medvrstno tekmovalnost (boj za svetlobo, vodo in hranila).

Alelopacija je vidik tekmovalnosti in je značilna za vrste iz družine Brassicaceae. Alelopatski učinki križnic na druge rastlinske vrste so pomembni predvsem za zatiranje plevelov, kako pa alelopatske lastnosti drugih rastlin vplivajo na vsebnost sekundarnih metabolitov v križnicah, pa še ni bilo dovolj raziskano (Björkman in sod., 2010).

3.2 KLIMATSKI DEJAVNIKI

3.2.1 Letni časi

Kljub temu, da je eksperimentalno težko določiti, kateri podnebni dejavnik vpliva na vsebnost spojin v rastlini, obstajajo poročila o različnih zelenjadnicah kot so repa, redkev, oljna ogrščica, gorčica in zelje, ki poročajo o koncentracijah glukozinolatov glede na obdobje rasti. Večina teh študij kaže, da imajo rastline, ki rastejo v spomladanskem obdobju in so pridelane pri zmernih temperaturah, z visoko intenziteto osvetlitve, pri daljših dnevih in suhih razmerah, najvišjo koncentracijo glukozinolatov. Nasprotno pa velja, da rastline, ki rastejo jeseni ali pozimi in so pridelane pri nižjih temperaturah, nižji intenziteti osvetlitve in krajših dnevih ter imajo na voljo več vode, vsebujejo manj glukozinolatov (Björkman in sod., 2010). Rosa in Rodrigues (2001) pa poročata o izjemah kot je na primer brokoli, ki ima v jesenski sezoni višjo koncentracijo glukozinolatov kot spomladi.

3.2.2 Temperatura

Raziskave so pokazale, da temperatura v obdobju rasti pri številnih vrstah iz družine Brassicaceae vpliva na vsebnost glukozinolatov. Več študij kaže, da rastline, ki so izpostavljene visokim ali nizkim temperaturam, proizvajajo višje ravni glukozinolatov, kot tiste, ki rastejo pri zmernih temperaturah. Pereira in sod. (2002, cit. po Björkman in sod., 2010) so ugotovili, da kalčki brokolija, ki se gojijo pri visokih (29 ali 33 °C) ali pri nizkih (11 ali 16 °C) temperaturah, vsebujejo več glukozinolatov kot kalčki, gojeni pri zmerni temperaturi (21,5 °C). Charron in Sams (2004, cit. po Björkman in sod., 2010) poročata, da velja podobno tudi v listih brokolija. Podobno rezultati se kažejo tudi pri drugih vrstah. Rosa in Rodrigues (1998, cit. po Björkman

in sod., 2010) poročata, da mlade rastline zelja pri višjih dnevni temperaturah (30 °C) proizvedejo več glukozinolatov kot pri zmernih (20 °C) temperaturah.

3.2.3 Svetloba in sevanje

Svetloba vpliva na fiziološke odzive rastlin, vpliv na vsebnost glukozinolatov pa je precej raznolik. Dolgi poletni dnevi pozitivno vplivajo na tvorbo glukozinolatov v rastlini. Charron in Sams (2004, cit. po Björkman in sod., 2010) sta ugotovila, da so koncentracije glukozinolatov pri kapusnicah (*Brassica oleracea*), ki imajo na voljo 18 do 24 ur svetlobe dnevno, višje v primerjavi s tistimi rastlinami, ki imajo na voljo le 12 ur svetlobe. Pérez-Balibrea in sod. (2008, cit. po Björkman in sod., 2010) navajajo, da je tudi pri brokoliju vsebnost glukozinolatov večja pri tistih rastlinah, ki rastejo na svetlobi, kot pa pri tistih, ki rastejo v temi. Bodnaryk (1992, cit. po Björkman in sod., 2010) poroča, da se je koncentracija glukobrasicina v sedemdnevni sadikah oljne ogrščice zmanjšala, ko so jih premaknili s svetlobe v temo za 24 ur.

Izpostavljenost UV-B sevanju lahko prav tako vpliva na vsebnost glukozinolatov. Majhno UV-B sevanje lahko poveča produkcijo glukozinolatov v kalčkih brokolija (Neugart in sod., 2017).

3.2.4 Dostopnost vode

Mnoge križnice, ki so gojene v bolj sušnih tleh proizvajajo več sekundarnih metabolitov, kot tiste, ki rastejo v ugodnih pogojih. Nizka razpoložljivost vode je eden od vzrokov za visoke koncentracije glukozinolatov v zelju, repu in redkvi, kot navajajo Ciska in sod. (2000). Razlog za to naj bi bilo povečanje sinteze aminokislin in sladkorjev zaradi sušnih razmer in dostopnosti žvepla, ki so osnova za biosintezo glukozinolatov (Björkman in sod., 2010).

3.2.5 Vpliv antropogenih onesnažil

V rastni dobi so zelenjadnice iz družine križnic izpostavljene številnim antropogenim onesnažilom, kot so ogljikov dioksid, ozon ali težke kovine, ki vplivajo na koncentracijo sekundarnih metabolitov (Neugart in sod., 2017).

Nekatere študije poročajo o učinkih CO₂ na tvorbo sekundarnih metabolitov. Karowe in sod. (1997, cit. po Björkman in sod., 2010) so ugotovili, da se je v listih gorčice količina glukozinolatov povečala ob dvigu CO₂, kar pa ne velja za redkev in repo. Schonhof in sod. (2007, cit. po Björkman in sod., 2010) poročajo, da se je vsebnost skupnih glukozinolatov v brokoliju, ob povišanju CO₂ v atmosferi povečala, kar je posledica povečanja glukorafanina in glukoiiberina. V nasprotju s tem pa se je zmanjšala koncentracija indolnih glukozinolatov, zaradi zmanjšanja vsebnosti glukobrasicina.

Khaling in sod. (2015, cit. po Neugart in sod., 2017) poročajo, da izpostavljenost večjim koncentracijam ozona (O₃) povzroča večjo produkcijo glukozinolatov v črni gorčici (*Brassica nigra* L.), medtem, ko se vsebnost glukozinolatov pri oljni ogrščici zmanjšuje.

Povečana koncentracija CO₂ in O₃ hkrati znižuje koncentracijo indolnih glukozinolatov v oljni ogrščici, medtem ko povečuje vsebnost aromatskih glukozinolatov (Himanen in sod., 2008, cit. po Neugart in sod., 2017).

3.3 AGRONOMSKE TEHNIKE

3.3.1 Gnojenje

Gnojenje z žveplom in dušikom ter razmerje med njima ima velik vpliv na koncentracijo glukozinolatov v rastlinah iz družine križnic. Povečana vsebnost žvepla je povezana z večjo vsebnostjo skupnih in posameznih glukozinolatov, kot so glukorafanin in glukorafasatin, sinigrin in drugi (Li in sod., 2007, cit. po Björkman in sod., 2010; Krumbein in sod., 2001, cit. po Björkman in sod., 2010). Li in sod. (2007, cit. po Björkman in sod., 2010) so ugotovili, da povečana oskrba z dušikom, ob povečani vsebnosti žvepla bistveno ne vpliva na skupno koncentracijo glukozinolatov, poveča pa se količina indolnih glukozinolatov, na osnovi triptofana in dušika. Dodajanje dušika ob nizki koncentraciji žvepla zmanjša vsebnost aromatskih in alifatskih glukozinolatov na osnovi metionina. Schonhof in sod. (2007, cit. po Björkman in sod., 2010) poročajo, da se v rastlinah brokolija, katerim primanjkuje dušika, tvorba glukozinolatov poveča, neodvisno od vsebnosti žvepla. V nasprotju s tem pa rastline, katerim primanjkuje žvepla, pri optimalni vsebnosti dušika, produkcijo glukozinolatov omejujejo.

Dubuis in sod. (2005, cit. po Björkman in sod., 2010) so ugotovili, da pomanjkanje žvepla v rastlini poveča občutljivost oljne repice na različne bolezni in glivične patogene. Zmanjšanje protibakterijske in protiglivične aktivnosti pa je povezano z nizko koncentracijo glukozinolatov v rastlinah. Oskrba rastlin s hranili lahko vpliva tudi na ovipozicijo ali prehrano nekaterih škodljivcev (Björkman in sod., 2010).

3.3.2 Način pridelovanja

Raziskovali so, kako način pridelovanja vpliva na vsebnost glukozinolatov v zelenjavi iz družine križnic. Vsebnost glukozinolatov v rastlinah, ki so pridelane ekološko, se povečuje, saj so takšne rastline bolj dovzetne za napad škodljivcev in so bolj občutljive na okoljske dejavnike kot je na primer sušni stres, kar v rastlini sproži proizvodnjo teh spojin (Vicas in sod., 2013).

Rezultati raziskave so pokazali kakšna je koncentracija glukozinolatov v brokoliju, cvetači, kolerabi, ter v belem in rdečem zelju. V brokoliju, ki je pridelan konvencionalno so našli več

indolnih glukozinolatov kot so glukorafanin, glukobrasicin in neo-glukobrasicin, kot v brokoliju, ki je pridelan ekološko. V cvetači je količina alifatskih glukozinolatov večja, če je pridelava ekološka. Vsebnost glukozinolatov v ekološko pridelani kolerabi je skoraj dvakrat večja kot pri konvencionalni pridelavi. V belem zelju je koncentracija glukozinolatov največja, če je pridelano konvencionalno, nasprotno, pa se v rdečem zelju pojavljajo največje koncentracije, če je pridelano ekološko. Sklepamo lahko, da ekološki način pridelave pozitivno vpliva na vsebnost glukozinolatov v cvetači, kolerabi in rdečem zelju, vendar v povezavi z ostalimi okoljskimi dejavniki (Vicas in sod., 2013).

3.3.3 Vmesni posevki

Vmesni posevki se lahko uporabljajo kot alternativa mineralnemu gnojenju in integrirani pridelavi v splošnem. Prispevajo k učinkovitejši rabi naravnih virov, zmanjšajo konkurenco s pleveli ter preprečijo izsuševanje tal in izpiranje hranil v globlje plasti tal. So pomembni dejavniki pri varstvu rastlin in okolja (Stavridou in sod., 2012).

Stavridou in sod. (2012) so raziskovali ali vmesni posevki vplivajo na vsebnost glukozinolatov v križnicah (Brassicaceae). Ugotovili so, da je visoka koncentracija glukozinolatov v brokoliju značilna za monokulturno pridelavo, medtem ko je nizka vsebnost le-teh povezana s pridelavo z vmesnimi posevki.

3.3.4 Namakanje

Na vsebnost bioaktivnih spojin v križnicah vpliva tudi čas namakanja v povezavi z razvojno stopnjo rastline. Radovich in sod. (2005, cit. po Björkman in sod., 2010) navajajo, da ima zelje, ki v času oblikovanja glave ni bilo namakano, višjo koncentracijo glukozinolatov kot zelje, ki je bilo namakano.

Sušni stres lahko vpliva na koncentracijo glukozinolatov v rastlinah iz družine Brassicaceae. Pri blagem sušnem stresu se je vsebnost glukozinolatov v oljni ogrščici in ohrovtu povečala, pri brokoliju pa se je zmanjšala. Radovich in sod. (2005, cit. po Björkman in sod., 2010) poročajo, da se je pri zmanjšani oskrbi z vodo hkrati omejila tudi rast rastlin, celo pri rastlinah, ki so tolerantne na sušo. Z načinom namakanja, kot je na primer deficitarno namakanje, dosežemo, da je rastlina ves čas v blagem sušnem stresu. Tong in sod. (2014, cit. po Neugart in sod., 2017) pa so dokazali, da z izmeničnim namakanjem lahko dosežemo povečano produkcijo glukozinolatov v gorčici, brez da bi pri tem omejili rast rastlin.

3.3.5 Tretiranje z elicitorji

Elicitorji so molekule, ki lahko sprožijo biosintezo sekundarnih metabolitov in neposredno vplivajo na koncentracije teh spojin v rastlini. Biosinteza glukozinolatov se sproži kot odziv na interakcijo med rastlino in škodljivcem (ob poškodbi rastlinskega tkiva). Ta proces lahko neposredno reguliramo z molekulami, ki so vključene v obrambni mehanizem rastline, z jasmonsko in salicilno kislino. Vpliv jasmonske in salicilne kisline na koncentracijo glukozinolatov je dobro proučen. Wiesner in sod. (2013, cit. po Neugart in sod., 2017) poročajo, da se je koncentracija glukozinolatov v oljni ogrščici po tretiranju z jasmonsko kislino dvakrat povečala, medtem, ko se je vsebnost glukozinolatov v pak choi-u (*Brassica rapa* subsp. *chinensis* L.) povečala kar za 25-krat. Poleg tega Pérez-Balibrea in sod. (2011, cit. po Neugart in sod., 2017) navajajo, da je povečala tudi količina indolnih glukozinolatov v brokoliju. V repi se je po tretiranju s salicilno kislino povečala raven indolnih glukozinolatov, vsebnost alifatskih glukozinolatov pa se pri tem ni bistveno spremenila (Neugart in sod., 2017).

3.3.6 Skladiščenje kapusnic

Čas, temperatura in vlaga so zelo pomembni dejavniki za ohranjanje kakovosti po obiranju zelenjave. Čas in temperatura med skladiščenjem zelenjadnic iz družine križnic (Brassicaceae) vplivata na vsebnost glukozinolatov na različne načine. Rodrigues in Rosa (1999, cit. po Verkerk in sod., 2008) sta proučevala koncentracije glukozinolatov v primarnih in sekundarnih socvetjih svežega brokolija. Rezultati so pokazali, da se je vsebnost glukozinolatov v socvetjih brokolija, ki so bila shranjena 5 dni pri 4 °C zmanjšala za 4% (v primarnih in sekundarnih socvetjih). Še večje znižanje koncentracije glukozinolatov pa so opazili, ko so pustili brokoli 5 dni na sobni temperaturi (20 °C). V primarnih socvetjih se je koncentracija znižala za 79%, v sekundarnih pa za 64%. Rangkadilok in sod. (2002, cit. po Verkerk in sod., 2008) poročajo, da se po sedmih dneh skladiščenja brokolija pri sobni temperaturi (20 °C) koncentracija glukozinolatov zmanjša za 50%, ne glede na to ali je shranjen v plastični vrečki ali ne. Skladiščenje pri 4 °C ni pokazalo sprememb pri vsebnosti glukozinolatov. Vallejo in sod. (2003, cit. po Verkerk in sod., 2008) pa so ugotovili, da se vsebnost glukorafanina zmanjša za 50%, če brokoli skladiščimo 7 dni pri temperaturi 1 °C.

3.3.7 Kulinarični postopki

V večini primerov se kapusnic ne uživa sveže ampak se jih toplotno predela ali skladišči, kar vpliva na vsebnost glukozinolatov v rastlinah. Oerlemans in sod. (2006, cit. po Björkman in sod., 2010) ter Vallejo in sod. (2002, cit. po Björkman in sod., 2010) navajajo, da kuhanje pod tlakom, vretje in uporaba mikrovalovne pečice negativno vplivajo na vsebnost glukozinolatov, medtem, ko kuhanje v sopari glukozinolate relativno ohrani. Juge in sod. (2007, cit. po Björkman in sod., 2010) poročajo, da se pri uživanju sveže zelenjave večina glukozinolatov

razgradi v nitrilne derivate namesto, da bi se v bioaktivne izotiocianate. Pri zmernem kuhanju je razgradnja glukozinolatov v izotiocianate skoraj 100%.

4 SKLEPI

Raziskave učinkov bioaktivnih spojin kot so glukozinolati, so prinesle napredek v varstvu rastlin pa tudi v medicini. Sintetični proizvodi, ki delujejo kot herbicidi, pesticidi in insekticidi so zaradi svojih škodljivih učinkov na okolje in zdravje ljudi vedno manj v uporabi. Razvoj različnih produktov na osnovi naravnih spojin kot so na primer glukozinolati je zato nujen.

Glukozinolati in njihovi razgradni produkti so značilni za rastline iz družine križnic, zato se je povečala pridelava le-teh. Križnice, ki se uporabljajo za prehrano ljudi (zelje, brstični ohrovt, repa, brokoli, cvetača idr.) imajo visoko koncentracijo glukozinolatov, katerih razgradni produkti zmanjšajo tveganje za nastanek mnogih vrst raka, bolezni srca in ožilja, diabetesa ter delujejo antioksidativno.

Rastline so s pomočjo glukozinolatov sposobne ustvariti zaščito proti škodljivcem. Sistem glukozinolat-mirozinaza se aktivira ob žvečenju rastlinskega tkiva (napad herbivorov). Na tak način rastlina odvrta škodljivce ali bolezni in zmanjša škodo ter tako ohrani večji pridelek. Križnice so uporabne tudi pri zatiranju plevelov – zaviranje kalitve ali alelopatija.

Da bi dosegli čim večjo vsebnost bioaktivnih spojin v rastlinah moramo dobro poznati dejavnike, ki na to vplivajo. Raziskujejo tudi kombinacije več različnih dejavnikov, ki hkrati vplivajo na koncentracijo glukozinolatov. Vsebnost glukozinolatov se razlikuje že med samimi vrstami in sortami. Določeni herbivori lahko sprožijo sistem glukozinolat-mirozinaza in na tak način vsebnost še povečajo. Na koncentracijo vpliva tudi starost rastline oziroma razvojna faza ter tekmovalnost za hranila, vodo in svetlobo z drugimi rastlinskimi vrstami. Vse to je povezano tudi s klimatskimi dejavniki. Znano je, da imajo rastline, ki imajo na voljo veliko svetlobe, zmerno temperaturo in zelo malo vode največjo vsebnost glukozinolatov. Izpostavljenost visokim koncentracijam onesnažil lahko količino glukozinolatov zmanjša. Optimalne razmere v tleh (pH in hranila) lahko pospešijo tvorbo glukozinolatov. Gnojenje z žveplom je načeloma povezano s porastom glukozinolatov, medtem, ko pomanjkanje žvepla lahko njihovo sintezo bistveno omeji. Ekološko pridelan pridelek križnic je večinoma bogatejši po vsebnosti glukozinolatov, kar daje takšnemu pridelku dodano vrednost.

5 VIRI

- Ahuja I., Rohloff J., Bones A.M. 2010. Defence mechanisms of Brassicaceae: implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 311-348
- Andréasson E., Bolt Jørgensen L., Höglund A., Rask L., Meijer J. 2001. Different myrosinase and idioblast distributin in *Arabidopsis* and *Brassica napus*. *Plant Physiology*, 127: 1750-1763
- Bellostas N., Kachlicki P., Sørensen J.C., Sørensen H. 2007. Glucosinolate profiling of seeds and sprouts of *B. oleracea* varieties used for food. *Scientia Horticulturae*, 114: 234-242
- Björkman M., Klingen I., Birch A. N. E, Bones A. M., Bruce T. J. A., Johansen T. J., Meadow R., Mølmann J., Seljåsen R., Smart L. E., Stewart D. 2010. Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health – Influences of climate, environment and agronomic practice. *Phytochemistry*, 72: 538-556
- Bohinc T., Ban S.G., Ban D., Trdan S. 2012. Glucosinolates in plant protection strategies: a review. *Archives of Biological Science*, 64, 3: 821-828
- Brown P. D., Morra M. J. 1995. Hydrolysis products of glucosinolates in *Brassica napus* tissues as inhibitors of seed germination. *Plant and Soil*, 181: 307-316
- Ciska E., Martyniak-Przybyszewska B., Kozłowska H. 2000. Content of glucosinolates in cruciferous vegetables grown at the same site for two years under different climatic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 2862-2867
- Fahey J.W., Zalcmann A.T., Talalay P. 2001. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56: 5-51
- Halkier B. A., Gershenzon J. 2006. Biology and Biochemistry of Glucosinolates. *The Annul Review of Plant Biology*. 57: 303-33
- Jones R.B., Faragher J.D., Winkler S. 2006. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) heads. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 1: 1-8
- Kovačič M. 2015. Vpliv tehnologije gojenja glede na vsebnost glukozinolatov pri tankolistnem dvoredcu (*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.) z različnih območij Slovenije: doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 81 str.
- Neugart S., Baldermann S., Hanschen F. S., Klopsch R., Wiesner-Reinhold M., Schreiner M. 2017. The intrinsic quality of brassicaceous vegetables: How secondary plant metabolites are affected by genetic, environmental, and agronomic factors. *Scientia Horticulturae*, 233: 460-478

- Rosa E., Rodrigues A.S. 2001. Total and individual glucosinolate content in 11 broccoli cultivars grown in early and late seasons. *Hortscience*, 36: 56–59
- Stavridou E., Kristensen H. L., Krumbein A., Schreiner M., Thorup-Kristensen K. 2012. Effect of Differential N and S Competition in Inter- and Sole Cropping of *Brassica* species and Lettuce on Glucosinolate Concentration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 6268-6278
- Tian Q., Rosselot R. A., Schwartz S. J. 2005. Quantitative determination of intact glucosinolates in broccoli, broccoli sprouts, Brussels sprouts, and cauliflower by high-performance liquid chromatography–electrospray ionization–tandem mass spectrometry. *Analytical Biochemistry*, 343: 93-99
- Travers-Martin N., Kuhlman F., Muller C. 2008. Revised determination of free and complexed myrosinase activities in plant extracts. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46: 506-516
- van Dam N.M., Raaijmakers C.E., van der Putten W.H. 2005. Root herbivory reduces growth and survival of the shoot feeding specialist *Pieris rapae* on *Brassica nigra*. *Entomology*, 115: 161–170
- Verkerk R., Schreiner M., Krumbein A., Ciska E., Holst B., Rowland I., De Schrijver R., Hansen M., Gerhauser C., Mithen R., Dekker M. 2008. Glucosinolates in *Brassica* vegetables: The influence of the food supply chain on intake, bioavailability and human health. *Molecular Nutrition and Food Research*, 53: 219-256
- Vicas S. I., Teusdea A.C., Carbunar M., Socaci S.A., Socaciu C. 2013. Glucosinolates Profile and Antioxidant Capacity of Romanian *Brassica* Vegetables Obtained by Organic and Conventional Agricultural Practices. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68: 313-321
- Vig A.P., Rampal G., Thind T.S., Arora S. 2009. Bio-protective effects of glucosinolates – A review. *LWT – Food Science and Technology*, 42: 1561-1572