

POMEN GLUKOZINOLATOV V VARSTVU KRIŽNIC (*Brassicaceae*) PRED ŠKODLJIVCI: PREDSTAVITEV REZULTATOV DOMA IN RAZISKAV

Tanja BOHINC¹, Stanislav TRDAN²

^{1,2}Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za fitomedicino, kmetijsko tehniko,
poljedelstvo, pašništvo in travništvo, Ljubljana

IZVLE EK

Poljski poskus, v katerem smo preu evali obseg poškodb kapusovih bolha ev (*Phyllotreta* spp.) in kapusovih stenic (*Eurydema* spp.) v odvisnosti od vsebnosti glukozinolatov, smo izvedli v letu 2010. Vsebnost glukozinolatov smo analizirali v dveh različnih genotipih zelja in v treh različnih vrstah gojenih križnic; oljni redkvi, beli gorjušici in krmni ogršici. Ugotovili smo, da se je vsebnost glukozinolatov spreminjala med različnimi križnicami in med rastlinskimi organi. Na vsebnost glukozinolatov v križnicah so vplivali tudi okoljski dejavniki in razvojni stadij rastline. Glukobrasicin je bil izmed ugotovljenih glukozinolatov prisoten v vseh rastlinskih vrstah. Ugotavljamo, da je pri okoljsko sprejemljivih na inih varstva rastlin (privabilni posevki, vmesni posevki idr.) pomembno, da izberemo ustrezno rastlinsko vrsto, ki bo škodljivce privabljala/odvrnila bolj kot je to sposoben glavni posevek.

Ključne besede: glukozinolati, kapusovi bolha i, kapusove stenice, privabilni posevki, zelje

ABSTRACT

THE ROLE OF GLUCOSINOLATES IN PROTECTION OF BRASSICAS (*Brassicaceae*) AGAINST THE PESTS: PRESENTATION OF RESEARCH RESULTS FROM SLOVENIA

Field experiment, in which we studied the level of injuries caused by cabbage flea beetles (*Phyllotreta* spp.) and cabbage stink bugs (*Eurydema* spp.) in connection to glucosinolate content, was performed in 2010. Content of glucosinolates was analyzed in two different cabbage genotypes and in three different cultivated brassicas; oil radish, white mustard and oil rape. We have established that glucosinolate content differs between different brassicas, as well as between different plant organs. Glucosinolate's content was also influenced by environmental factors and plant's developmental stage. Glucosinolate glucobrassicin was detected in all samples. Due to variability of our results, we can conclude that choice of suitable plant species for the purpose of attracting/deterring insects is very important agricultural measure in environmentally acceptable (trap cropping, intercropping etc.) food production.

Key words: glucosinolates, cabbage flea beetles, cabbage stink bugs, trap crops, cabbage

1 UVOD

Pomen sekundarnih metabolitov (Kliebenstein *et al.*, 2001) je pogosto omenjen pri obrambi rastlin pred različnimi dejavniki stresa, ki so biotični in abiotični (Björkman *et al.*, 2011; Winde in Wittstock, 2011). Glukozinolati so sekundarni metaboliti, ki so zastopani predvsem v družini križnic (*Brassicaceae*) (Branca *et al.*, 2002). Glede na izvor (iz katere aminokisljine nastanejo) uvrščamo glukozinolati v tri skupine (razrede) – alifatski, indolni in aromatski

¹ dr., Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-mail: tanja.bohinc@bf.uni-lj.si

² prof. dr., prav tam

(Padilla *et al.*, 2007). Prisotni so tudi v rastlinah iz družin Capparaceae in Caricaceae (Fahey *et al.*, 2001).

Omenjene rastline so pomembne iz agronomskega (Blaževi and Masteli, 2009) in ekonomskega vidika (Vaughn in Berhow, 2005). Glukozinolati sestojijo iz -D-tioglikozidne skupine, funkcionalne skupine sulfirinirane oksima in spremenljive stranske verige (Beekwilder *et al.*, 2008). Vsebnost glukozinolatov pa variira med posameznimi rastlinskimi organi (Winde in Wittstock, 2011), med rastlinskimi vrstami (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011) ter med razvojnimi fazami (de Villena *et al.*, 2007; Cartea *et al.*, 2008). Odvisna je tudi od vremenskih razmer (Velasco *et al.*, 2007; Winde in Wittstock, 2011).

Namen naše raziskave je bil ugotoviti vsebnost glukozinolatov v razli nih vrstah križnic, z namenom prakti ne uporabe v varstvu zelja pred kapusovimi stenicami (*Eurydema* spp.) in kapusovimi bolha i (*Phyllotreta* spp.). Povezava med obsegom poškodb zaradi omenjenih škodljivcev na zelju in vsebnostjo glukozinolatov v tej križnici namre doslej še ni bila preu evana, prav tako pred našo raziskavo še ni bil preu en pomen vsebnosti glukozinolatov v krmni ogrš ici, beli gorjušici in oljni redkvi, ki smo jih v pri ujo i raziskavi uporabili za privabljanje kapusovih stenic, da bi jih na ta na in odvrnili od zelja.

2 MATERIALI IN METODE DELA

2.1 Lokacija poljskih poskusov in ocenjevanje poškodb

Vzor enje glukozinolatov je potekalo v sklopu dveletnega poljskega poskusa (2009-2010), ki je potekal na dveh razli nih lokacijah. V obravnavanem poljskem poskusu smo preu evali pomen privabilnih posevkov pri varstvu zelja pred dvema skupinama škodljivcev, kapusovimi stenicami (*Eurydema* spp.) in kapusovimi bolha i (*Phyllotreta* spp.). V poskusu smo kot privabilne posevke uporabili belo gorjušico (*Sinapis alba* [L.], cv. Zlata (dobavitelj: Semenarna Ljubljana, d. d., Ljubljana, Slovenija), krmno ogrš ico (*Brassica napus* [L.] ssp. *oleifera* f. *biennis*), cv. Daniela (dobavitelj: Semenarna Ljubljana, d. d., Ljubljana, Slovenija) in oljno redkev (*Raphanus sativus* [L.] var. *oleiformis*), cv. Apoll (dobavitelj: Semenarna Ljubljana, d. d., Ljubljana, Slovenija).

Kot glavni posevek smo posadili dva razli na kultivarja zelja, zgodnjega ('Tucana F1'; rastna doba: 60 dni; dobavitelj: Semenarna Ljubljana, d.d., Ljubljana, Slovenija) in srednje poznega ('Hinova F1'; rastna doba: 120 dni; dobavitelj: Bejo Seeds, Inc., Warmenhuizen, Nizozemska).

Shema in lokaciji poljskega poskusa sta opisani v Bohinc in Trdan (2012). Poškodbe kapusovih bolha ev in kapusovih stenic smo ocenjevali v približno 10-dnevnih intervalih. Ocenjevanje poškodb kapusovih bolha ev (*Phyllotreta* spp.) je potekalo s 5-stopenjsko lestvico EPPO (OEPP/EPPO, 2002), medtem ko smo ocenjevanje poškodb kapusovih stenic izvedli s 6-stopenjsko lestvico Stonerjeve in Sheltona (1998). Najvišja ocena na lestvici, ki je bila namenjena ocenjevanju poškodb kapusovih bolha ev, predstavlja ve kot 25 % poškodovane listne površine, medtem ko je ve kot 50 % poškodovane listne površine po lestvici Stonerjeve in Sheltonona ovrednoteno kot ocena 6.

2.2 Vzor enje rastlinske materiala in analiza glukozinolatov

Rastlinski material za analizo glukozinolatov smo vzor ili samo na Gorenjskem v razli nih asovnih terminih. Vzor enje rastlin je potekalo v letu 2010, v razli nih asovnih terminih. Zelje smo vzor ili v petih razli nih terminih, in sicer 26. maja, 16. junija, 4. julija, 29. julija in 17. avgusta. Vzor enje rastlin krmne ogrš ice je potekalo v petih razli nih terminih (19. maja, 8. junija, 3. julija., 31. julija in 31. avgusta), rastline oljne redkve smo vzor ili v štirih terminih (19. maja, 8. junija, 25. junija, 31. julija), medtem ko smo rastline bele gorjušice vzor ili 19. maja, 8. junija, 25. junija in 3. julija.

Znotraj posameznega termina ocenjevanja smo nabrali 4 vzorce posamezne rastlinske vrste. Posamezen vzorec (dolo en del rastlinske vrste) je predstavljal reprezentativni vzorec rastlin znotraj enega bloka. Pri analizi glukozinolatov smo analizo posameznega vzorca ponovili dvakrat. Določanje glukozinolatov je potekalo po standardu ISO 9167:1 (1992), ki je opisan v Bohinc *et al.* (2013).

2.3 Statistična analiza rezultatov

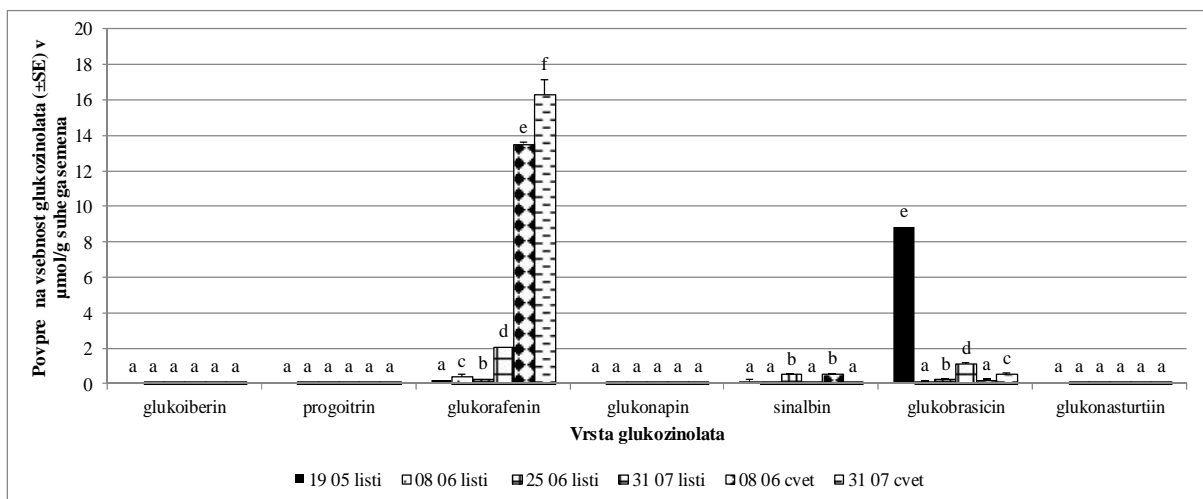
Omenjene analize smo izvedli s programom Statgraphics Centurion XVI (Statgraphics Centurion, 2009). Razlike v vsebnosti glukozinolatov med posameznimi rastlinskimi vrstami smo ovrednotili z analizo variance (ANOVA) in Duncanovim preizkusom mnogoterih primerjav ($P < 0,05$). Med obsegom poškodb obravnavanih škodljivih vrst in vsebnostjo glukozinolatov smo izračunali korelacijski koeficient (r).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Vsebnost glukozinolatov v privabilnih posevkih

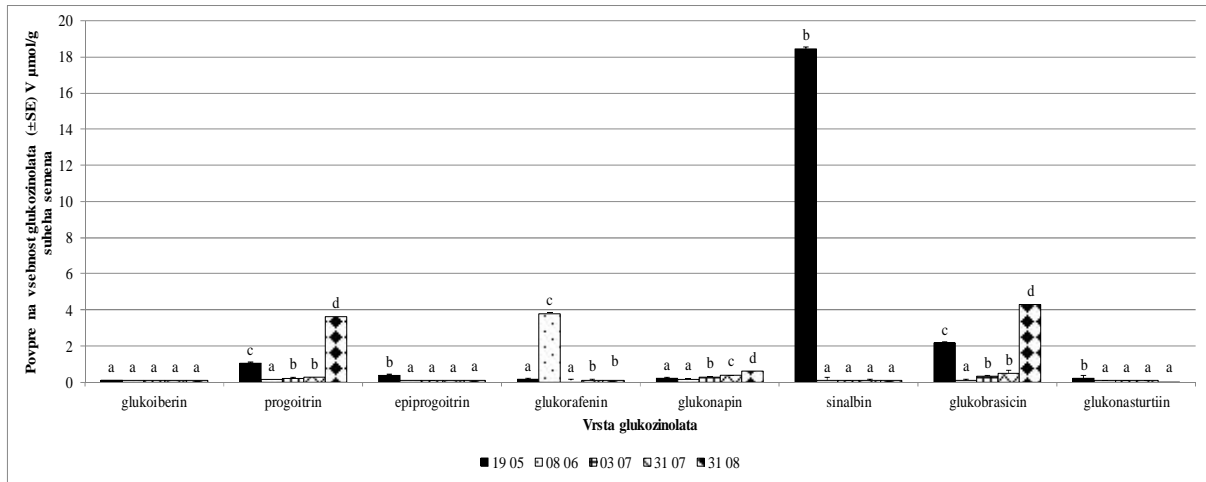
V vzorcih olje redkve (slika 1) smo zaznali vsebnost sinalbina, glukonasturtiina, glukobrasicina, glukorafenina, progoitrina in glukoiberina. Ugotovili smo, da na vsebnost glukobrasicina v vzorcih oljne redkve signifikatno vpliva razvojni stadij preu evanih rastlin oziroma termin ocenjevanja ($F=8,68$; $Df=3$; $P=0,0005$). Povprečna vrednost glukobrasicina je bila najvišja v prvem terminu ocenjevanja ($8,84 \pm 0,65 \mu\text{mol/g}$ suhega semena), v zadnjem terminu ocenjevanja pa je bila vsebnost $0,84 \pm 0,18 \mu\text{mol/g}$ suhega semena. Vrednost glukorafenina ni bila pogojena s termini ocenjevanja ($F=1,10$; $Df=3$; $P=0,3755$), v povprečju pa je znašala $8,66 \pm 1,81 \mu\text{mol/g}$ suhega semena. Vpliva termina ocenjevanja na vsebnost sinalbina v vzorcih nismo ugotovili ($F=0,37$; $Df=2$; $P=0,7193$).

111



Slika 1: Povprečna vsebnost glukozinolatov v vzorcih oljne redkve (v $\mu\text{mol/g}$ suhega semena) ($\pm\text{SE}$)

Pri analizi vzorcev krmne ogršice smo ugotovili 8 različnih glukozinolatov, in sicer progoitrin, epiprogoitrin, glukonapin, glukoiberin, glukorafenin, glukobrasicin, glukonasturtiin in sinalbin (slika 2).



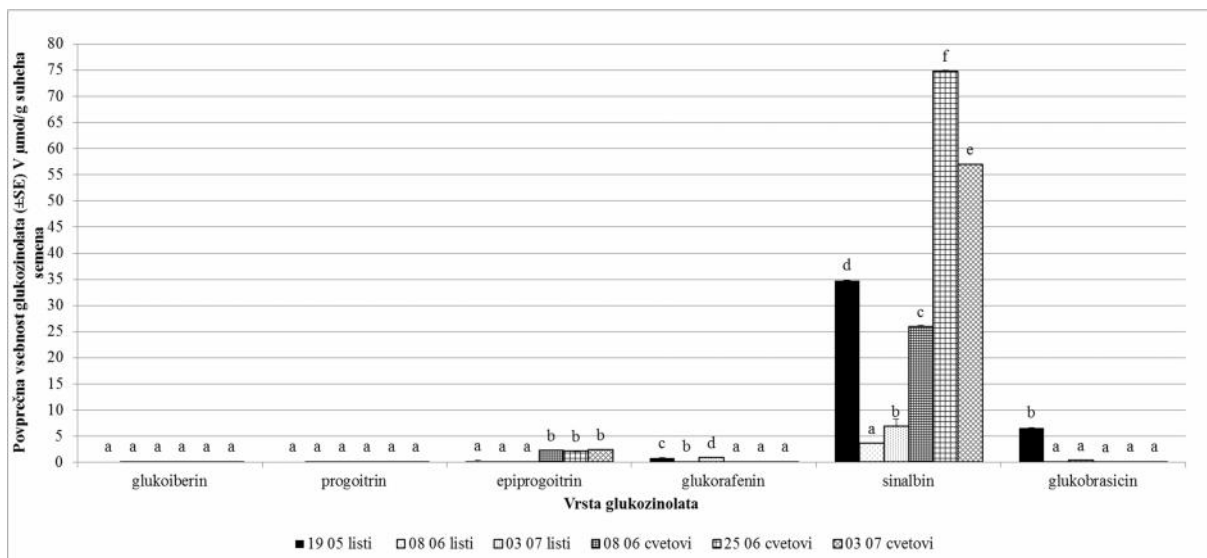
Slika 2: Povpre na vsebnost glukozinolatov v vzorcih krmne ogrš ıce (v µmol/g suhega semena) (±SE)

112

Med aromatskimi glukozinolati je bil najpogosteje zastopan glukonasturtiin ($0,13 \pm 0,04$ µmol/g suhega semena), na katerega razli ni termini ocenjevanja niso imeli signifikantnega vpliva ($F=96,33$; $Df=1$; $P=0,0646$). Ugotovili smo, da na vsebnost glukobrasicina v vzorcih krmne ogrš ıce signifikatno vpliva razvojni stadij ($F=6,19$; $Df=4$; $P=0,0044$). Medtem ko je bila vsebnost glukobrasicina v vzorcih oljne redkve signifikatno najvišja v prvem terminu ocenjevanja, pa je vsebnost glukobrasicina v vzorcih krmne ogrš ıce signifikatno najnižja v zadnjem terminu ($4,30 \pm 0,80$ µmol/g suhega semena). Ugotovili smo, da je vsebnost glukonapina v vzorcih pogojena s termini ocenjevanja ($F=3,76$; $Df=4$; $P=0,0365$). Vsebnost glukonapina je bila signifikatno najnižja v prvem ($0,22 \pm 0,01$ µmol/g suhega semena) in drugem ($0,20 \pm 0,04$ µmol/g suhega semena), najvišja pa je bila v zadnjem terminu ocenjevanja ($0,60 \pm 0,07$ µmol/g suhega semena). Vsebnost sinalbina v vzorcih krmne ogrš ıce ni pogojena s termini ocenjevanja ($F=2,63$; $Df=1$; $P=0,2035$). Signifikantnega vpliva terminov vzor enja na vsebnost glukorafenina v vzorcih krmne ogrš ıce nismo ugotovili ($F=0,76$; $Df=4$; $P=0,5729$).

Ugotovili smo, da vsebnost epiprogoitrina v rastlinskih vzorcih variira glede na termin vzor enja ($F=782,29$; $Df=1$; $P=0,0013$). Signifikatno najvišjo vsebnost epiprogoitrina smo ugotovili v vzorcih, ki so bili nabrani 19. maja oziroma v prvem terminu ocenjevanja ($0,37 \pm 0,01$ µmol/g suhega semena), medtem ko je bila vrednost omenjenega glukozinolata v zadnjem terminu ocenjevanja signifikatno najnižja ($0,13 \pm 0,03$ µmol/g suhega semena). Pri analizi vzorcev krmne ogrš ıce smo ugotovili signifikanten vpliv asa vzor enja na vsebnost progoitrina v rastlinskem tkivu krmne ogrš ıce ($F=219,78$; $Df=4$; $P<0,001$). Kljub temu, da vsebnost omenjenega glukozinolata v rastlini variira, je bila signifikatno najvišja v zadnjem terminu ocenjevanja ($3,64 \pm 0,12$ µmol/g ds). Glukoiberin je bil prisoten v sledovih ($<0,1$ µmol/g ds).

V vzorcih bele gorjušice (slika 3) smo ugotovili šest glukozinolatov. Med alifatski glukozinolati je bilo najve sinalbina in je bil pogojen s termini ocenjevanja ($F=4,43$; $Df=3$; $P=0,0168$). Prav tako smo signifikanten vpliv terminov vzor enja ugotovili na vsebnost glukobrasicina ($F=5,23$; $Df=3$; $P=0,0096$;) ter epiprogoitrina ($F=13,30$; $Df=3$; $P=0,0008$). Vsebnost epiprogoitrina je bila signifikatno najvišja v prvem terminu ocenjevanja ($6,59 \pm 2,91$ µmol/g suhega semena), najnižja pa v prvem terminu vzor enja ($0,25 \pm 0,12$ µmol/g suhega semena).

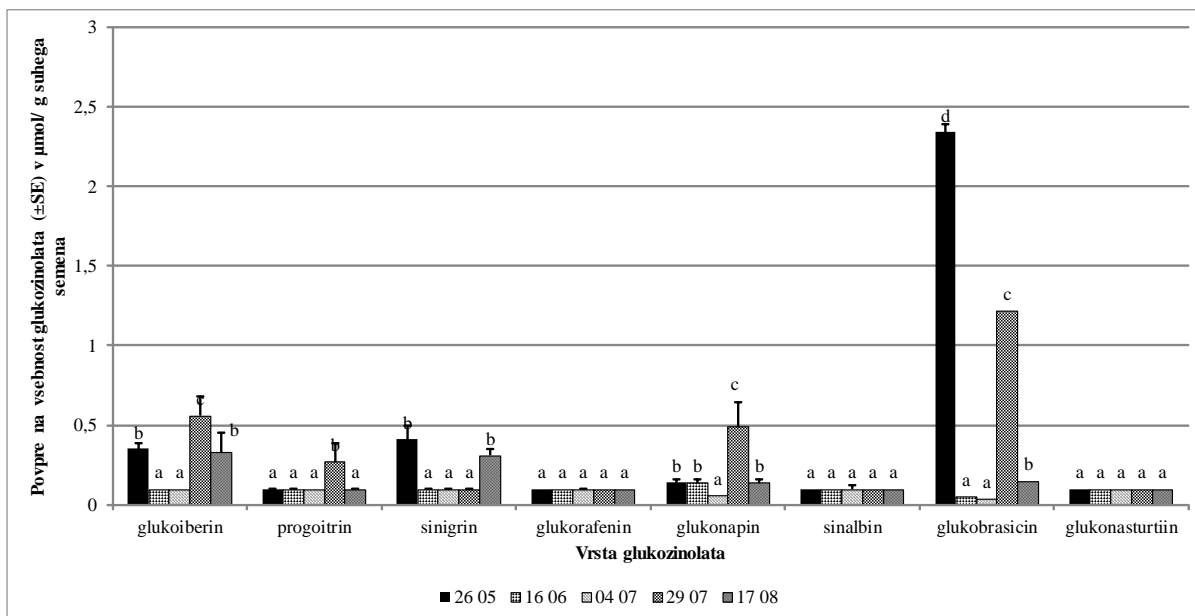


Slika 3: Povpre na vsebnost glukozinolatov v vzorcih bele gorjušice (v $\mu\text{mol/g}$ suhega semena) ($\pm\text{SE}$)

3.2 Vsebnost glukozinolatov v rastlinah glavnega posevka

V vzorcih zgodnjega hibrida zelja (slika 4) smo preverjali smo ugotovili vse analizirane glukozinolats. Sinalbin, glukonasturtiin, glukorafenin in epiprogoitrin smo ugotovili v sledovih. Ugotavljamo, da se vsebnost glukobrasicina spreminja glede na termine ocenjevanja ($F=5,82$; $Df=4$; $P=0,0056$).

113

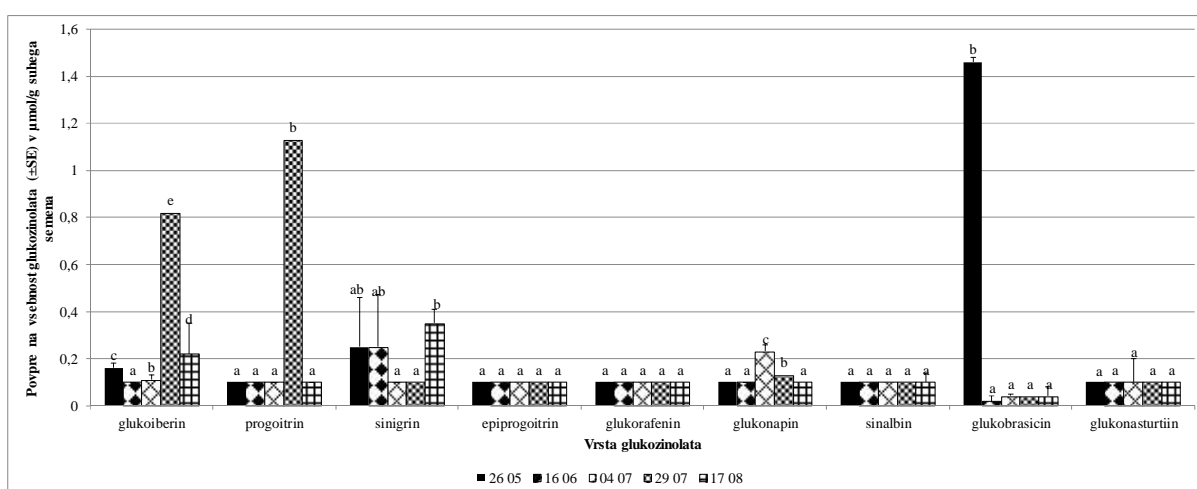


Slika 3: Povpre na vsebnost glukozinolatov v vzorcih zgodnjega hibrida zelja (v $\mu\text{mol/g}$ suhega semena) ($\pm\text{SE}$)

Povpre na vrednost je bila signifikantno najvišja v vzorcih, ki smo jih nabrali v prvem terminu vzor enja ($2,34\pm 0,37 \mu\text{mol/g}$ suhega semena). Vsebnost omenjenega glukozinolats skozi rastno dobo variira, ob koncu rastne dobe pa je povpre na vrednost znašala $0,15\pm 0,02 \mu\text{mol/g}$ suhega semena. Povpre na vrednost skozi celotno rastno dobo je znašala $0,79\pm 0,27 \mu\text{mol/g}$ suhega semena. Prav tako termini ocenjevanja signifikatno ne vplivajo na vsebnost

sinigrina ($F=0,61$; $Df=1$; $P=0,4628$) in glucoiberina ($F=0,45$; $Df=2$; $P=0,6575$) v vzorcih zelja. Vsebnost sinigrina je variirala od $0,41 \pm 0,06$ $\mu\text{mol/g}$ suhega semena v prvem terminu ocenjevanja do $0,30 \pm 0,12$ $\mu\text{mol/g}$ suhega semena v ocenjevanju v drugi dekadi avgusta ($0,30 \pm 0,12$ $\mu\text{mol/g}$ suhega semena).

Vzorci srednje poznega hibrida smo analizirali na 9 glukozinolatov. Ugotovili smo, da je vsebnost glucoiberina odvisna od terminov ocenjevanja oziroma vsebnost skozi rastno dobo variira ($F=12,13$; $Df=3$; $P=0,0016$). Sinigrin, katerega vsebnost ni pogojena s termini vzor enja ($F=3,63$; $Df=1$; $P=0,1054$), je bil v hibridu zastopan od $0,25 \pm 0,03$ $\mu\text{mol/g}$ suhega semena v prvem terminu vzor enja do $0,36 \pm 0,05$ $\mu\text{mol/g}$ suhega semena v terminu ocenjevanja sredi avgusta. Signifikantnega vpliva terminov vzor enja na vsebnost glukonapina prav tako nismo ugotovili ($F=2,88$; $Df=1$; $P=0,1648$). Ugotavljamo, da je bila vsebnost glukobrasicina v vzorcih hibrida 'Hinova' tudi asovno pogojena ($F=28,83$; $Df=4$; $P=0,0000$).



Slika 4: Povpre na vsebnost glukozinolatov v vzorcih srednje poznega hibrida zelja (v $\mu\text{mol/g}$ suhega semena) ($\pm\text{SE}$)

3.3 Povezava med vsebnostjo glukozinolatov in obsegom poškodb kapusovih bolha ev (*Phyllotreta* spp.)

Ugotovili smo, da obstaja zelo visoka negativna koncentracija med vsebnostjo glukonasturtiina v vzorcih krmne ogrš ica in obsegom poškodb na krmni ogrš ici ($r=-0,99$). Nizko negativno korelacijo smo ugotovili med vsebnostjo glukorafenina v vzorcih krmne ogrš ica in obsegom poškodb ($r=-0,22$). Stimulativen vpliv epiprogoitrina na prehranjevanje bolha ev smo ugotovili v vzorcih bele gorjušice ($r=0,56$), medtem ko je vsebnost epiprogoitrina negativno vplivala na prehranjevalne navade omenjene skupine škodljivcev na krmni ogrš ici ($r=-0,80$). Rezultati statistične analize kažejo stimulativen vpliv glukobrasicina na prehranjevanje vrst *Phyllotreta* spp. na krmni ogrš ici ($r=0,39$), medtem ko je višja vsebnost glukobrasicina v vzorcih oljne redkve ($r=-0,32$) in bele gorjušice ($r=-0,64$) negativno vplivala na intenzivnost prehranjevanja kapusovih bolha ev. Zmerno pozitivno korelacijo smo ugotovili med vsebnostjo glucoiberina v vzorcih srednje poznega hibrida in obsegom poškodb kapusovih bolha ev ($r=0,52$).

3.4 Povezava med vsebnostjo glukozinolatov in obsegom poškodb kapusovih stenic (*Eurydema* spp.)

Ugotovili smo, da obstaja zmerna negativna korelacija med vsebnostjo glukobrasicina ($r=-0,54$) v vzorcih bele gorjušice in povpre nim indeksom poškodb kapusovih stenic. Medtem, ko med vsebnostjo glukobrassicina v vzorcih krmne ogrš ice in obsegom poškodb kapusovih stenic obstaja nizka korelacija ($r=0,24$), med vsebnostjo glukobrasicina v vzorcih oljne redkve in obsegom poškodb kapusovih stenic ($r=-0,30$) in med vsebnostjo glucobrassicina ($r=-0,29$) v vzorcih zgodnjega hibrida zelja ter obsegom poškodb vrst *Eurydema* spp. Z naraš anjem vsebnosti sinalbina v vzorcih bele gorjušice ($r=0,36$) in oljne redkve ($r=0,40$) se je pove eval tudi obseg poškodb preu evane skupine škodljivcev, medtem ko je naraš anje vsebnosti sinalbina v vzorcih krmne ogrš ice negativno vplivalo na obseg poškodb kapusovih stenic ($r=-0,68$).

Kar so že navajali Moyes *et al.* (2000), namre , da je vsebnost omenjenih sekundarnih metabolitov razli na pri posameznih rastlinskih vrstah, se je pokazalo tudi v naši raziskavi. V vzorcih preu evanih vrst križnic smo prisotnost samo enega od glukozinolatov, glukobrasicina, zabeležili v vseh rastlinskih vrstah. Ugotovili smo, da je vsebnost glukobrasicina v vzorcih oljne redkve negativno vplivala na preu evani skupini škodljivih organizmov, tako kapusovih bolha ev kot kapusovih stenic. Kljub temu, da je bila povezava med vsebnostjo glukobrasicina in obsegom poškodb kapusovih bolha ev ($r=-0,30$) in kapusovih stenic ($r=-0,32$) negativna, pa o identi nem vplivu skozi celo rastno dobo ne moremo govoriti. To je posledi no pogojeno z dejstvom, da je vsebnost glukozinolatov v križnicah variirala tako med rastno dobo, kot tudi med posameznimi rastlinskimi organi. Zanimiva je tudi ugotovitev, da smo v cvetovih oljne redkve dolo ili ve glukobrasicina kot v listih.

Smallegange *et al.* (2007) navajajo višje vsebnosti petih različnih glukozinolatov v cvetovih rne gorjušice (*Brassica nigra*) kot v listih omenjene rastlinske vrste. V naši raziskavi omenjena trditev velja za glukobrasicin in glukorafenin v vzorcih oljne redkve in za sinalbin ter epiprogoitrin v vzorcih bele gorjušice. Ahuja in sod. (2010) poro ajo, da vsebnost glukozinolatov lahko variira tudi znotraj posameznih genotipov iste rastlinske vrste, kar se je izkazalo tudi v naši raziskavi. Med izbranima hibridoma zelja smo namre ugotovili statistično značilne razlike v vsebnosti progoitrina in glukobrasicina. V vzorcih hibrida 'Hinova' smo ugotovili ve progoitrina, medtem ko je bil višji delež glukobrasicina prisoten v hibridu 'Tucana'. Od 9 glukozinolatov, ki smo jih analizirali v rastlinah glavnega posevka, smo v obeh hibridih zelja prisotnost štirih (sinalbina, glukonasturtina, glukorafenina in progoitrina) potrdili le v sledovih (pod mejo detekcije).

Visoke koncentracije alifatskih glukozinolatov v križnicah so lahko pomemben dejavnik odpornosti omenjenih rastlin pred škodljivimi organizmi (Beekwilder *et al.*, 2008). Ugotovljeno pa je tudi bilo, da je progoitrin v oljni redkvi in beli gorjušici pod mejo detekcije, to pa omogo a širši spekter uporabnosti teh rastlinskih vrst, saj lahko omenjeni alifatski glukozinolat povzro a negativne u inke pri prehrani živali (Padilla *et al.*, 2007).

Kljub predhodno dokazanemu nematocidnemu delovanju sinigrina (Branca *et al.*, 2002), pa je v našem poskusu ta glukozinolat v srednje poznem hibridu zelja na hranjenje kapusovih stenic deloval stimulatивно, s tem pa je vplival na ve ji obseg poškodb. Ker je bila vsebnost progoitrina v vzorcih krmne ogrš ice najvišja v zadnjem terminu ocenjevanja (31. avgusta), avtorji ugotavljajo, da lahko ta snov potencialno negativno vpliva na živino, e krmno ogrš ico uporabimo kot krmno (Padilla *et al.*, 2007). Izrazita preferenca različnih škodljivcev do krmne ogrš ice (v našem primeru velja za obe leti poskusa) pa velikokrat botruje dejstvu, da se kmetje ne odlo ajo za pridelavo omenjene rastlinske vrste (Vallantin-Morison *et al.*, 2007).

Glede na rezultate naše raziskave lahko sklepamo, da bi bila vsebnost progoitrina v hibridih zelja v prihodnje lahko pomemben dejavnik izbire hibridov za pridelavo zelja v naših razmerah. V raziskavi, ki so jo izvedli na Nizozemskem (van Doorn *et al.*, 1999) so

ugotovili, da vsebnost sinigrina in progoitrina vpliva na okus brsti nega ohrovta. S tem namenom je bilo veliko dela vložene v zmanjšanje vsebnosti omenjenih glukozinolatov oziroma žlahtnjenje (van Doorn *et al.*, 1999). Kljub temu, da poročajo o negativnem vplivu progoitrina v krmi za živino, pa o negativnem vplivu glukozinolatov omenjenega glukozinolata in ostalih glukozinolatov na prehrano ljudi ne moremo govoriti (Sun *et al.*, 2011). Prav tako so v preteklosti obstajali sumi tudi o negativnem delovanju glukozinolatov na prehrano ljudi (Hill *et al.*, 2003), pa so bili ti pozneje ovrženi (Sun *et al.*, 2011).

Potencialni negativni vpliv glukobrasicina na prehranjevanje kapusovih bolha ev smo ugotovili v vseh rastlinskih vrstah, razen v krmni ogršici. Na eni strani ima tako ta glukozinolat negativen vpliv na vrste iz rodu *Phyllotreta*, na drugi strani pa ima pozitiven (antikarcinogen) vpliv na zdravje ljudi (Sun *et al.*, 2011). To sta zato »dobri« lastnosti tega sekundarnega metabolita. Kljub temu pa se je glukobrasicin izkazal za zelo podvženega okoljskim dejavnikom, kar izpostavljam v nadaljevanju naše razprave.

Vsebnost sinalbina je bila med obravnavanimi rastlinskimi vrstami križnic najvišja v vzorcih bele gorjušice ($30,12 \pm 5,52 \mu\text{mol/g}$ mase suhega semena) in krmne ogršice ($11,16 \pm 6,50 \mu\text{mol/g}$ mase suhega semena). Glede na zgornjo ugotovitev, da se vsebnost glukozinolatov med posameznimi vrstami križnic razlikuje, ugotavljamo, da med vrstami križnic obstajajo tudi razlike glede njihove ustreznosti za prehrano kapusovih bolha ev in kapusovih stenic. Medtem ko smo pri hibridih 'Tucana' in 'Hinova' ter beli gorjušici in oljni redkvi ugotovili negativen vpliv glukobrasicina na obseg poškodb kapusovih stenic, pa smo v vzorcih krmne ogršice ugotovili pozitiven vpliv glukobrasicina na obseg poškodb. Glukonapin je tudi eden od glukozinolatov, ki so v naši raziskavi stimulirali hranjenje vrst iz rodu *Eurydema*.

3.5 Vpliv podnebnih dejavnikov na vsebnost glukozinolatov

Rezultati naše raziskave kažejo, da je vsebnost glukobrasicina (indolnega glukozinolata) pogojena z povprečno dnevno in najvišjo temperaturo. Okoljski dejavniki so signifikantno najbolj vplivali na vsebnost indolnih glukozinolatov, manj pa na vsebnost alifatskih oziroma aromatskih glukozinolatov.

4 SKLEPI

Razlika na preferenca preučenih skupin škodljivcev je pogojena tudi z naravno odpornostjo rastlin. Eden od dejavnikov naravne odpornosti križnic je tudi vsebnost glukozinolatov. Glukozinolati so se v naši raziskavi pokazali za pomembni, a variabilni dejavniki naravne odpornosti križnic na napad kapusovih bolha ev in kapusovih stenic. Ugotovili smo, da je variabilnost glukozinolatov pogojena z rastlinsko vrsto, vsebnost teh snovi pa se precej razlikuje tudi med različnimi organi iste rastlinske vrste. V naši raziskavi je prišla do izraza tudi variabilnost v vsebnosti glukozinolatov med posameznimi genotipi iste rastlinske vrste, tj. med posameznimi genotipi zelja. V vzorcih oljne redkve smo ugotovili največ glukorafenina ($8,66 \pm 1,81 \mu\text{mol/g}$ mase suhega semena), v vzorcih krmne ogršice in bele gorjušice pa je bilo signifikantno največ sinalbina. Kljub temu, da je analiza potrdila sinalbin kot najbolj pogost glukozinolat v vzorcih bele gorjušice, pa nadaljnja analiza podatkov kaže na šibko korelacijo ($r=0,36$) med njegovo vsebnostjo v križnicah in obsegom poškodb zaradi kapusovih stenic na njih.

Vzorčenje različnih rastlinskih delov je pokazalo, da je vsebnost določenih glukozinolatov, na primer glukobrasicina in glukorafenina v cvetovih oljne redkve ali sinalbina in epiprogoitrina v cvetovih bele gorjušice, veliko višja kot v listih preučenih rastlinskih vrst. Ugotovili smo, da so se kapusovi bolha ev v času cvetenja zelo intenzivno prehranjevali na rastlinah bele gorjušice in oljne redkve.

Ugotavljamo, da na vsebnost glukozinolatov v rastlinah vplivajo predvsem temperaturni ekstremi. Rezultati dosedanjih raziskav delovanja teh sekundarnih metabolitov govorijo v prid delovanja, ki je specifično za posamezno skupino teh sekundarnih metabolitov; vendar smo ugotovili, da tudi znotraj posameznih skupin glukozinolatov prihaja do razlik v delovanju. Glukobrasicin, edini zaznavni glukozinolat v vseh preučevanih rastlinskih vrstah, spada med indol glukozinolate. Ugotavljamo, da na obseg poškodb vrst iz rodov *Phyllotreta* in *Eurydema* ta glukozinolat v oljni redkvi deluje negativno. Omenjena snov spada v skupino tistih, na katere so signifikantno najbolj vplivali okoljski parametri, predvsem povprečna dnevna in najvišja temperatura zraka. Glukonasturtiin in epiprogoitrin sta v krmni ogršici na obe preučevani skupini škodljivcev delovala negativno., sinalbin pa je na prehranjevanje kapusovih stenic v vzorcih krmne ogršice deloval negativno, na kapusove bolha e pa je imel stimulatívno delovanje.

Pridobljeni podatki na dveh različnih lokacijah so pokazali, da lahko obseg poškodb kapusovih bolh ev uspešno nadziramo z uporabo mešanih posevkov križnic, ki smo jih uporabili v našem poskusu. Omenjena kombinacija rastlinskih vrst bi bila glede na naše ugotovitve ustrezna za obe lokaciji, na katerih smo izvajali poskus, pa tudi za druga območja, na katerih v Sloveniji pridelujejo zelje in kjer se pridelovalci srečujejo s škodljivci, ki smo jih preučevali v naši raziskavi. S tem, ko smo v obeh letih poskusa rastline privabilnih posevkov sejali pred glavnim posevkom, smo v precejšnji meri vplivali na to, da so se poškodbe vrst iz rodov *Phyllotreta* in *Eurydema* najprej pojavile na privabilnih posevkih.

5 ZAHVALA

Prispevek je nastal v okviru CRP projekta V4-1067, ki sta ga finančno podprli Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS in Ministrstvo za kmetijstvo in okolje. Del raziskav je bil opravljen v okviru strokovnih nalog s področja zdravstvenega varstva rastlin, ki jih financira Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin.

6 LITERATURA

- 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.
- Beekwilder, J., van Leeuwen, W., van Dam, N. M., Betrossi, M., Grandi, V., Mizzi, L., Solowiev, M., Szabados, L., Molthoff, J. W., Schipper, B., Verbocht, H., de Vos, R. C. H., Morandini, P., Aarts, M. G. M., Bovy, A. 2008. The impact of the absence of aliphatic glucosinolates on insect herbivory in *Arabidopsis*. *Plos One*, 3: e2068. doi:10.1371/journal.pone.0002068.
- Blaževič, I., Masteli, J. 2009. Glucosinolate degradation products and other bound and free volatiles in the leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Chemistry*, 113: 96-102.
- Branca, F., Li, G., Goyal, S., Quiros, C. 2002. Survey of aliphatic glucosinolates in Sicilian wild and cultivated Brassicaceae. *Phytochemistry*, 59:717-724.
- Björkman, M., Klingenberg, 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. 2011. Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health – Influences of climate, environment and agronomic practice. *Phytochemistry*, 72: 538-556.
- Bohinc, T., Trdan, S. 2012. Trap crops for reducing damage caused by cabbage stink bugs (*Eurydema* spp.) and flea beetles (*Phyllotreta* spp.) on white cabbage: fact or fantasy? *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10, 2: 1365-1370.
- Bohinc, T., Hrastar, R., Košir, I.J., Trdan, S. 2013. Association between glucosinolate concentration and injuries caused by cabbage stink bugs *Eurydema* spp.(Heteroptera: Pentatomidae) on different Brassicas. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35: 1-8.
- Cartea, M. E., Velasco, P., Obrégon, S., Padilla, G., de Haro, A. 2008. Seasonal variation in glucosinolate content in *Brassica oleracea* crops grown in northwestern Spain. *Phytochemistry*, 69: 403-416.

- de Villena, F. A., Fritz, V. A., Cohen, J. D., Hutchison, V. D. 2007. Changes in gluconasturtiin concentrations in chinese cabbage with increasing cabbage looper density. *Hort Science*, 42: 1337-1340.
- Fahey, J. W., Zalcmann, A. T., Talalay, P. 2001. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56:5-51.
- ISO 9167-1. Rapeseed – determination of glucosinolates content. Part 1: Method using high-performance liquid chromatography. 1992: 9 str.
- Kliebenstein, D. J., Gershenzon, J., Mitchell-Olds, T. 2001. Comparative quantitative trait loci mapping of aliphatic, indolic and benzylic glucosinolate production in *Arabidopsis thaliana* leaves and seeds. *Genetics*, 159: 359-370.
- Moyes C.L., Collin H.A., Britton G., Raybould A.F. 2000. Glucosinolates and differential herbivory in wild populations of *Brassica oleracea*. *Journal of Chemical Ecology*, 26: 2625-2641.
- OEPP/EPPO. 2002. Guidelines for the efficiency evaluation of insecticides. *Phyllotreta* spp. on rape. OEPP/EPPO Bulletin, 32: 361-365.
- Padilla, G., Cartea, M. E., Velasco P., de Haro A., Ordás A. 2007. Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica rapa*. *Phytochemistry*, 68: 536-545
- Smallegange R.C., van Loon J.J.A., Blatt S.E., Harvey J.A., Agerbirk N., Dicke M. 2007. Flower vs. leaf feeding by *Pieris brassicae*: Glucosinolate-rich flower tissues are preferred and sustain higher growth rate. *Journal of Chemical Ecology*, 33: 1831-1844.
- Stoner, K.A., Shelton, A.M. 1988. Effects of planting date and timing of growth stage on damage to cabbage by onion thrips (*Thrips tabaci*). *Journal of Economic Entomology*, 91: 329-333.
- Sun, B, Liu, N, Zhao, Y, Yan, H., Wang, Q. 2011. Variation of glucosinolates in three edible parts of Chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey) varieties. *Food Chemistry*, 124: 941-947
- Valantin-Morison, M., Meynard, J.M., Doré, T. 2007. Effects of crop management and surrounding field environment on insect incidence in organic winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Crop Protection*, 26: 1108-1120.
- Van Doorn, J.E., van der Kruk, G.C., van Holst, G.J., Schoofs, M., Broer, J.B., Nijs, J.J.M. 1999. Quantitative inheritance of the progoitrin and singrin content in Brussels sprouts. *Euphytica*, 108: 41-52.
- Vaughn, S. F., Berhow, M. A. 2005. Glucosinolate hydrolysis products from various plant sources: Ph effects, isolation, and purification. *Industrial Crops and Products*, 21: 693-202.
- Velasco, P., Cartea, M. E., Gonzalez, C., Vilar, M., Ordas, A. 2007. Factors affecting the glucosinolate content of kale (*Brassica oleracea acephala* group). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55:955-962.
- Winde, I., Wittstock, U. 2011. Insect herbivore counteradaptions to the plant glucosinolate-myrosinase system. *Phytochemistry*. 72: 1566-1575.