

Reakcije populacija korovskog suncokreta (*Helianthus annuus* L.) na imazamoks i nikosulfuron

Maja Ilić¹, Đorđe Bastajić¹, Jovan Lazarević¹, Dejan Nedeljković², Teodora Tojić¹

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Beograd-Zemun, Srbija

²Bayer d.o.o., Omladinskih brigada 88b, Beograd

e-mail: tojicteodora@gmail.com

REZIME

Korovski suncokret, *Helianthus annuus* L., je ekonomski veoma značajna, invazivna vrsta koja je rasprostranjena u mnogim delovima sveta, posebno u oblastima gde se intenzivno gaje tolerantni hibridi suncokreta na ALS inhibitoru. Otkriće i razvoj nove tehnologije gajenja suncokreta povećalo je rizik od nastanka rezistentnih biotipova usled velikog selekcionog pritiska i spontane hibridizacije (transfer gena odgovornih za tolerantnost iz useva u divlje srodnike).

U radu je ispitivana reakcija dve populacije korovskog suncokreta (HELAN 1 i HELAN 2) na imazamoks i nikosulfuron u biotestu sprovedenom u uslovima staklenika. Ogljed je obuhvatao pet tretmana sa različitim količina primene imazamoksa (12, 24, 48, 96 i 192 g ha⁻¹) i nikosulfurona (10, 20, 40, 80 i 160 g ha⁻¹) koji su primenjeni kada su biljke bile u fazi 2-3 para razvijenih listova. Pored vizuelne ocene oštećenja biljaka koja je izvedena 7, 14, 21 i 28 dana nakon primene herbicida, mereni su i sledeći parametri: sveža i suva masa. Dobijeni rezultati ukazuju na promene u osetljivosti ispitivanih populacija korovskog suncokreta na ALS inhibitoru. Manja osetljivost populacije HELAN 1 na imazamoks i HELAN 2 na nikosulfuron sugerise na moguću razvoj rezistentnosti kod populacija korovskog suncokreta na području Surčina.

Ključne reči: korovski suncokret, rezistentnost, imazamoks, nikosulfuron.

UVOD

Brz razvoj molekularnog inženjeringa i tehnologija ukrštanja doprineli su uvođenju transgenih (genetski modifikovanih useva) i tolerantnih useva na herbicide u poljoprivrednu proizvodnju. Zbog stranooplodnje i sklonosti ka hibridizaciji, suncokret dugo nije bio uključen

u procese selekcije. Međutim, činjenica da korovi značajno umanjuju prinos suncokreta upravo zbog nedostatka dovoljno efikasnih herbicida za suzbijanje širokolosnih korova nakon nicanja useva, među oplemenjivačima je inicirala rad na stvaranju tolerantnih hibrida suncokreta na herbicide iz grupa imidazolinona i sulfonilurea (Malidža i sar., 2004). Prvi hibridi suncokreta tolerantni na imidazolinone (RIMI hibridi) stvoreni su 2003. u SAD-u, a od 2004. gaje se u Srbiji (Jocić i sar., 2008) u tzv. Clearfield® i Clearfield® Plus sistemima proizvodnje. Kasnije su stvoreni i hibridi tolerantni na aktivnu supstancu tribenuron-metil iz grupe sulfonilurea (SUMO hibridi), što je proširilo izbor herbicida koji se mogu koristiti u usevu suncokreta nakon nicanja (Malidža i sar., 2006). Za tolerantnost hibrida suncokreta na ove herbicide zaslužne su specifične mutacije na AHAS genu koji kodira ALS enzim. Tolerantnost na imidazolinone determinisana je mutacijom Ala205Val (Bruniard, 2001), dok je za tribenuron-metil odgovorna mutacija Pro197Leu (Kolkman et al., 2004). Gajenje tolerantnih hibrida omogućilo je efikasno suzbijanje korova u kasnijim fenofazama razvoja useva suncokreta, ali u isto vreme povećalo rizik za nastanka rezistentnih biotipova korovskog suncokreta. Spontanoj hibridizaciji i učestalijoj pojavi AHAS gena u korovskim populacijama suncokreta doprinosi i veliki selekcionni pritisak usled uzastopne upotrebe herbicida istog mehanizma delovanja (Tranel and Wright, 2002). Kao rezultat transfera gena prilikom spontane hibridizacije useva i samoniklih i korovskih formi nastaju hibridi usev-korov (tzv. superkorovi) rezistentni na herbicide. Suzbijanje hibridnih formi divljeg suncokreta može predstavljati veliki problem za poljoprivrednu proizvodnju, a njihovo prisustvo dovesti do ozbiljnih ekonomskih i ekoloških posledica. Prenošenje gena odgovornih za tolerantnost na herbicide najčešće se odvija putem polena u okviru iste ili različitih populacija. Utvrđeno je da usled transfera gena sa gajenih hibrida suncokreta na korovski suncokret, zastupljenost hibrida usev-korov u F1 generaciji može iznositi od 10-33% (Burke et al., 2002), iako taj udeo najviše zavisi od međusobne udaljenosti jedinki i poklapanja perioda cvetanja. Takođe, potvrđena je hibridizacija gajenog hibrida suncokreta tolerantnog na tribenuron-metil sa korovskim, ali zbog kraćeg perioda poklapanja faze cvetanja hibridizacija između useva tolerantnog na imazamoks i korovskog suncokreta je izostala (Božić i sar., 2012). Božić i sar. (2015) utvrdili su transfer gena na rastojanju od 1 m u 11,5% slučajeva, a u 5% slučajeva primećen je transfer gena na rastojanju od 5 m. Pored navedenih faktora, spontanoj hibridizaciji i transferu gena između gajenog suncokreta i divljih srodnika doprinosi i prisustvo zajedničkih oprašivača, samoinkompatibilnost vrsta, diploidnost i nivo stranooplodnosti (Hvarleva et al., 2009; Božić i sar., 2015).

Vrsta *H. annuus* se može javiti u nekoliko različitih formi (gajeni hibridi, atipične biljke, divlje forme, samonikle biljke i korovski suncokret), od kojih najveći značaj u pogledu štetnosti po usev ima korovski suncokret (*weedy sunflower*), odnosno hibridne forme divljeg suncokreta koje su nastale procesima spontane hibridizacije između gajenih hibrida, samoniklih, divljih i podivljalih populacija ove vrste (Vrbničanin i sar., 2014). Protok gena između različitih formi vrste *H. annuus*, obezbeđuje pojavu populacija sa bogatim genofond, što rezultuje visokim stepenom varijabilnosti, odnosno pojavom biljaka sa boljim fitnessom od roditelja. Korovski suncokret se jasno morfološki razlikuje od gajenih hibrida i samoniklih formi:

jako razgranat izdanak, mnogobrojne sitne glavice, prisustvo antocijana u raznim delovima biljke, crveno-ljubičasta do crna boja glavica i prošaranost ahenija (Vrbničanin i sar., 2010; 2014; Stojićević i sar., 2016). Najveće štete nanosi okopavinskim usevima, a može se javiti i u strnim žitima, voćnjacima i vinogradima. Masovno prisustvo korovskog suncokreta u usevu gajenog suncokreta može prepолоviti prinos (Muller et al., 2009), a pored toga može u velikoj meri uticati i na kvalitet prinosa jer seme korovskog suncokreta odlikuje znatno niži sadržaj ulja ($<270 \text{ g kg}^{-1}$) (Seiler, 1983). U šećernoj repi u uslovima visoke zakorovljenosti ovom korovskom vrstom zabeležen je gubitak od 28-31%, u soji 17-19%, a u pšenici 5-33% (Novák, 2009). Takođe, može načiniti štete i u duvanu, lucerki, paradajzu i pasulju (Presotto et al., 2011). Korovski suncokret je na našim prostorima u invaziji, što ga čini pretnjom za očuvanje biodiverziteta i ekološke ravnoteže u agroekosistemima (Vrbničanin i sar., 2004).

Primena herbicida nezaobilazan je korak u efikasnom suzbijanju korova u intenzivnoj poljoprivredi. Međutim, prekomerna upotreba herbicida uz izostanak preventivnih i nehemijskih mera dovela je do razvoja rezistentnih biotipova kod brojnih korovskih vrsta (Travlos et al., 2020). Nakon otkrića sulfonilurea, herbicidi iz grupe ALS inhibitora masovno su počeli da se upotrebljavaju zahvaljujući ispoljavanju odlične efikasnosti u suzbijanju širokog spektra korovskih vrsta, niskim količinama primene i povoljnim toksikološkim i ekotoksikološkim osobinama (Schmidt et al., 2004). Mehanizam delovanja zasniva se na inhibiciji enzima acetolaktat sintetaze (ALS) koji katališe početne reakcije u biohemijском putu sinteze tri esencijalne aminokiseline iz piruvata – valina, leucina i izoleucina (Shaner et al., 1984). Primena herbicida dovodi do inhibicije procesa sinteze proteina u mladim biljnim delovima, inhibicije ćelijske deobe i rasta biljaka, zbog čega se efekti delovanja ove klase herbicida ispoljavaju kasnije (Janjić i sar., 2004). Imazamoks je aktivna supstanca iz hemijske grupe imidazolinona koja se koristi za suzbijanje jednogodišnjih širokolisnih i nekih uskolisnih korova uglavnom u usevima leguminoza (soja, grašak, pasulj, lucerka), kao i usevu hibrida suncokreta koji je tolerantan na imazamoks (RIMI hibridi). Nikosulfuron pripada hemijskoj grupi sulfonilurea i primenjuje se u usevu kukuruza posle nicanja u fazi 2-6 listova za suzbijanje jednogodišnjih i višegodišnjih travnih i nekih širokolisnih vrsta. Rezistentnost korova na herbicide ALS inhibitore relativno je brzo evoluirala. Do 1996. godine zabeleženo je 28 rezistentnih korovskih vrsta, a samo dve godine kasnije čak 50 (Whitcomb, 1999). Trenutno je na ovu grupu herbicida detektovana rezistentnost kod ukupno 170 korovskih vrsta od kojih je 105 širokolisnih, a 65 uskolisnih (Heap, 2022).

MATERIJAL I METODE

U biotestu sa celim biljkama ispitivana je reakcija dve populacije korovskog suncokreta na imazamoks i nikosulfuron. Semena ispitivanih populacija (HELAN 1 i HELAN 2) sakupljena su početkom oktobra 2021. godine u usevima kukuruza na lokalitetu Surčin-Jakovo u čijoj su blizini ranijih godina detektovane populacije sa smanjenom osetljivošću na herbicide ALS inhibitore. Biljke su zasejane u saksije sa smešom zemlje i supstrata u odnosu 1:1, a potom

gajene u uslovima staklenika. Primena herbicida obavljena je kada su biljke bile u fenofazi 2-3 razvijena prava lista (BBCH 12-13) uz pomoć komore za automatizovanu primenu herbicida (Lab Spreyer, ElektroShop, Indija). Ogljed je obuhvatao tretmane sa različitim količinama primene imazamoksa (12, 24, 48, 96 i 192 g ha⁻¹) i nikosulfurona (10, 20, 40, 80 i 160 g ha⁻¹). Kontrolne biljke tretirane su vodom. Svi tretmani rađeni su u četiri ponavljanja.

Vizuelna ocena tretiranih biljaka obavljena je u četiri navrata i to 7, 14, 21 i 28 dana nakon primene herbicida (DNPH). U odnosu na netretiranu kontrolu, efikasnost herbicida je ocenjena vizuelno prema skali od 0 (nema vizuelnih oštećenja) do 100 (totalno oštećenje). Nakon poslednje vizuelne ocene merena je sveža masa biljaka, a suva masa je izmerena nakon sušenja biljaka na sobnoj temperaturi (25±0,5°C) u trajanju od dve nedelje.

Dobijeni podaci su statistički obrađeni u softverskom paketu STATISTIKA® 8.0. (StatSoft, Inc. (2007) STATISTICA, data analysis software system, www.statsoft.com). Za poređenje srednjih vrednosti merenih parametara korišćena je jednofaktorijalna analiza varijanse. U varijantama kada su F vrednosti bile statistički značajne (p<0,05) poređenje tretmana rađeno je pomoću LSD testa. Na osnovu dobijenih rezultata za oba herbicida su izračunate efektivne koncentracije (EC₅₀) i grafički predstavljene pomoću „R“ softvera (R Development Core Team, 2011) i drc paketa (Ritz and Streibig, 2005), pri čemu je korišćen log-logistic model koji su opisali Seefeldt i sar. (1995):

$$Y = C + [(D - C) / \{1 + \exp(B(\log X - I_{50}))\}] \quad [1]$$

gde su:

X - primenjena količina herbicida,

B - nagib krive,

C - donji limit,

D - gornji limit,

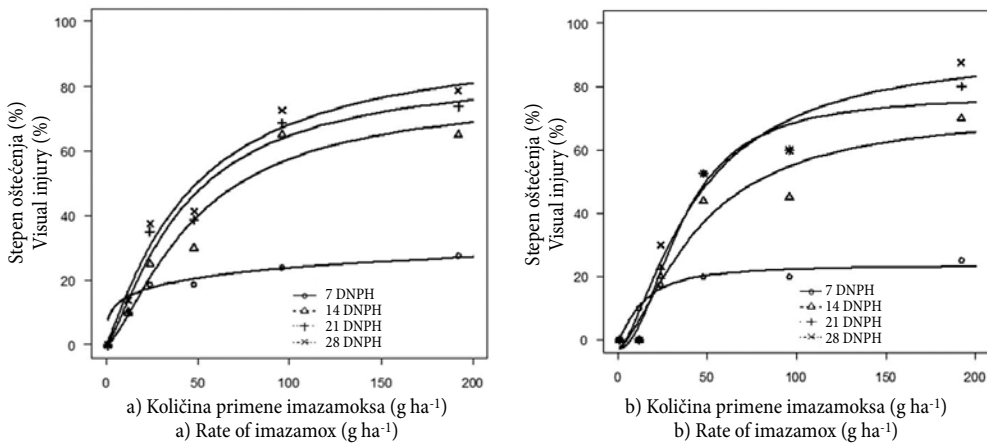
I₅₀ (EC₅₀) - inhibicija merenog parametra za 50%.

REZULTATI I DISKUSIJA

Efikasnost imazamoksa na populacije korovskog suncokreta. Rezultati vizuelne ocene efikasnosti imazamoksa kod populacija HELAN 1 i HELAN 2 prikazani su kao procenti oštećenja biljaka (Tabela 1). Najbolji efekti su zabeleženi pri najvećim količinama primene (192 g ha⁻¹), gde se procenat oštećenja kod HELAN 1 kretao u opsegu od 27,5-78,75%, odnosno od 25-87,50% kod populacije HELAN 2. Efikasnost imazamoksa se kod svih tretmana srazmerno povećavala pri svakoj narednoj vizuelnoj oceni i spram primenjenih količina herbicida, s tim da su primetne razlike zabeležene već 14 DNPH kod populacije HELAN 1 u tretmanima sa 96 g ha⁻¹ i 192 g ha⁻¹, a kod HELAN 2 pri primeni 192 g ha⁻¹ u odnosu na ostale tretmane (Grafik 1). Stepent oštećenja pri poslednjoj vizuelnoj oceni (28 DNPH) se kretao od 13,75-78,75% kod populacije HELAN 1, a kod populacije HELAN 2 od 0,00-87,50%.

Tabela 1. Vizuelna ocena efikasnosti (%) imazamoksa kod populacija korovskog suncokreta**Table 1.** Visual assessment of efficiency (%) of imazamox in weedy sunflower populations

Tretmani Treatments	Populacija korovskog suncokreta Weedy sunflower population							
	HELAN 1				HELAN 2			
	Ocena/Assessment				Ocena/Assessment			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Kontrola/Control	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12 g ha ⁻¹	15,00	10,00	10,00	13,75	10,00	0,00	0,00	0,00
24 g ha ⁻¹	18,75	25,00	35,00	37,50	17,50	20,00	22,50	30,00
48 g ha ⁻¹	18,75	30,00	38,75	41,25	20,00	43,75	52,50	52,50
96 g ha ⁻¹	23,75	65,00	68,75	72,50	20,00	45,00	60,00	60,00
192 g ha ⁻¹	27,50	65,00	73,75	78,75	25,00	70,00	80,00	87,50

**Grafik 1.** Vizuelna oštećenja (%) merena 7, 14, 21 i 28 DNP imazamoksa: a) populacija HELAN 1; b) populacija HELAN 2**Figure 1.** Visual injury (%) measured 7, 14, 21 and 28 DAAH of imazamox: a) population HELAN 1; b) population HELAN 2

Stepen redukcije sveže mase spram primenjenih količina imazamoksa kretao se od 9,11-68,01% kod HELAN 1, odnosno od 13,63-76,48% kod HELAN 2, što ukazuje na manju osetljivost populacije HELAN 1. Kod populacije HELAN 2 zabežen je stimulatívni efekat u tretmanu sa najmanjom količinom primene (12 g ha⁻¹), gde je prosečna vrednost sveže mase u odnosu na kontrolu bila veća za 2,69% (Tabela 2). Veći stepen redukcije sveže, kao i suve mase je zabežen kod populacije HELAN 2 u odnosu na HELAN 1 (Grafik 1). Procenat redukcije suve mase biljaka se kretao od 20,59-72,55% kod populacije HELAN 1, a kod populacije HELAN 2 od 17,65-81,37% (Tabela 3). Podaci o suvoj masi biljaka populacije HELAN 2, takođe ukazuju na stimulatívni efekat imazamoksa pri količini primene od 12 g ha⁻¹. Na osnovu podataka za svežu masu, pomoću LSD testa dobijeno je da se svi ispitivani tretmani kod populacije HELAN 1 međusobno značajno razlikuju ($p < 0,05$), dok kod populacije HELAN 2 statistički značajne

razlike nisu zabeležene između kontrole i tretmana sa količinama primene 12 i 24 g ha⁻¹, kao ni između tretmana sa 48 i 96 g ha⁻¹ imazamoksa (Tabela 2). Statističkom analizom prosečnih vrednosti za suhu masu dobijeno je da se ni tretmani sa količinama primene imazamoksa 96 i 192 g ha⁻¹ značajno ne razlikuju kod populacije HELAN 1 (tabela 3). Na osnovu procenjenih parametara regresije utvrđeno je da vrednost EC₅₀ koja inhibira svežu masu kod populacije HELAN 1 iznosi 95,59±10,24, a kod populacije HELAN 2 83,35±7,61. Na osnovu prosečnih vrednosti za suhu masu dobijene su sledeće EC₅₀ vrednosti: 94,90±36,71 (HELAN 1) i 80,45±9,93 (HELAN 2). Dobijene vrednosti za posmatrane parametre (vizuelna ocena, sveža i suva masa) ukazuju na manju osetljivost populacije HELAN 1 na imazamoks, što potvrđuju i dobijene EC₅₀ vrednosti. Takođe, ranija ispitivanja reakcije potomstva suncokreta na imazamoks, dobijenog iz slobodne oplodnje gde je potencijalni donor tolerantnog gena bio hibrid RIMI, ukazuju na njegovu slabiju efikasnost na osnovu procenta preživelih biljaka (30,5%) (Stojićević i sar., 2020).

Tabela 2. Redukcija sveže mase korovskog suncokreta pod uticajem imazamoksa
Table 2. Reduction of fresh weight of weedy sunflower in response to imazamox

Tretmani Treatments	Populacija korovskog suncokreta / Weedy sunflower population			
	HELAN 1		HELAN 2	
	Sveža masa (g) Fresh weight (g)	Redukcija sveže mase (%) Reduction of fresh weight (%)	Sveža masa (g) Fresh weight (g)	Redukcija sveže mase (%) Reduction of fresh weight (%)
Kontrola-Control	4,72±0,18 a	0,00	5,20±0,49 ab	0,00
12 g ha ⁻¹	4,29±0,22 b	9,11	5,34±0,86 a	0,00
24 g ha ⁻¹	3,79±0,13 c	19,70	4,49±0,42 b	13,63
48 g ha ⁻¹	3,22±0,09 d	31,82	2,98±0,33 c	42,67
96 g ha ⁻¹	1,84±0,18 e	61,02	2,58±0,26 c	50,30
192 g ha ⁻¹	1,51±0,13 f	68,01	1,22±0,15 d	76,48

Podaci za svežu masu su prikazani kao srednje vrednosti ± SD. Razlike između srednjih vrednosti tretmana označene istim slovima nisu značajne (p<0,05).

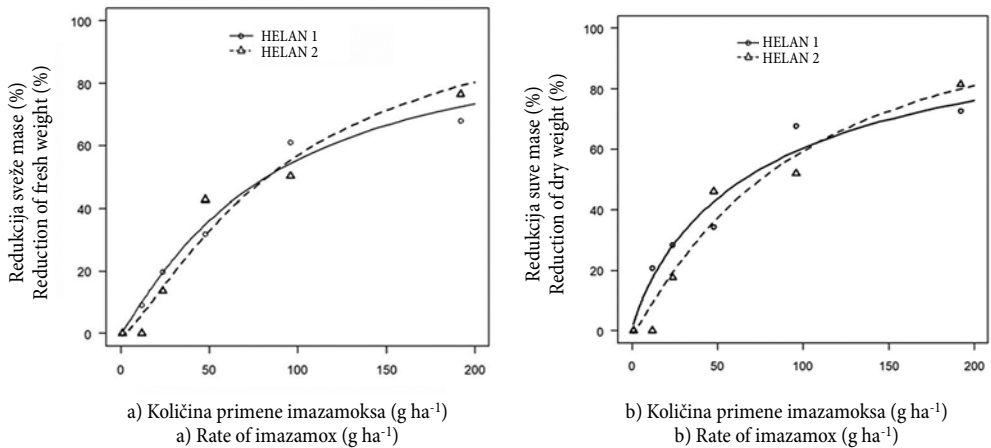
Data for fresh weight are reported as means ± SD. Differences between mean values denoted by the same letters are not significant (p<0,05).

Tabela 3. Redukcija suve mase korovskog suncokreta pod uticajem imazamoksa
Table 3. Reduction of dry weight of weedy sunflower in response to imazamox

Tretmani Treatments	Populacija korovskog suncokreta / Weedy sunflower population			
	HELAN 1		HELAN 2	
	Sveža masa (g) Fresh weight (g)	Redukcija sveže mase (%) Reduction of fresh weight (%)	Sveža masa (g) Fresh weight (g)	Redukcija sveže mase (%) Reduction of fresh weight (%)
Kontrola-Control	1,02±0,07 a	0,00	1,02±0,08 a	0,00
12 g ha ⁻¹	0,81±0,03 b	20,59	1,05±0,17 a	0,00
24 g ha ⁻¹	0,73±0,01 c	28,43	0,84±0,11 b	17,65
48 g ha ⁻¹	0,67±0,03 d	34,31	0,55±0,08 c	46,08
96 g ha ⁻¹	0,33±0,02 e	67,65	0,49±0,07 c	51,96
192 g ha ⁻¹	0,28±0,02 e	72,55	0,19±0,04 d	81,37

Podaci za suhu masu su prikazani kao srednje vrednosti ± SD. Razlike između srednjih vrednosti tretmana označene istim slovima nisu značajne (p<0,05).

Data for dry weight are reported as means ± SD. Differences between mean values denoted by the same letters are not significant (p<0,05).

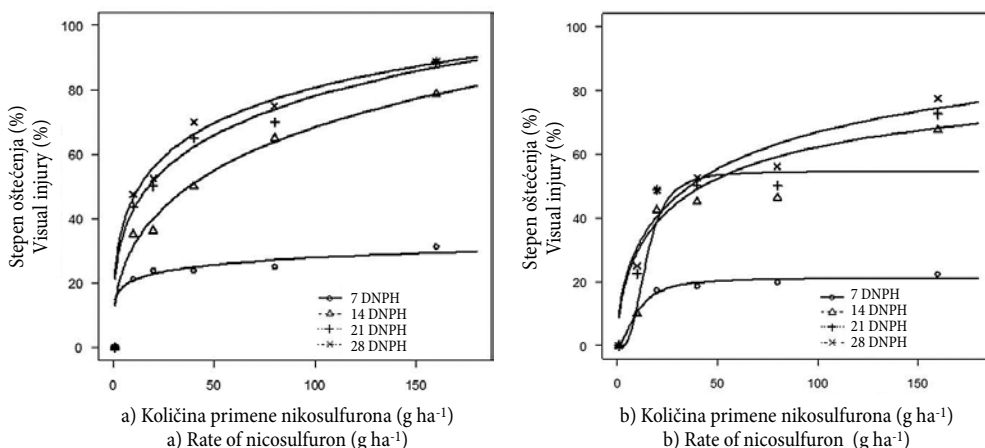


Grafik 2. Reakcija populacija HELAN 1 i HELAN 2 korovskog suncokreta na imazamoks: a) sveža masa; b) suva masa
Figure 2. Response of weedy sunflower populations HELAN 1 and HELAN 2 to imazamox: a) fresh weight; b) dry weight

Efikasnost nikosulfurona na populacije korovskog suncokreta. Poslednja vizuelna ocena (28 DNPH) kod biljaka populacije HELAN 1 kretala se na skali od 47,50-88,75%, a kod populacije HELAN 2 od 25-77,50% (Tabela 4). Vizuelni pregled biljaka korovskog suncokreta prilikom svake ocene ukazao je na manju osetljivost populacije HELAN 2 na nikosulfuron u odnosu na populaciju HELAN 1 (Grafik 3). Smanjena osetljivost populacija korovskog suncokreta na nikosulfuron sa različitih lokaliteta u Srbiji (Padinska Skela i Surčin) je i ranije potvrđena (Božić i sar., 2011).

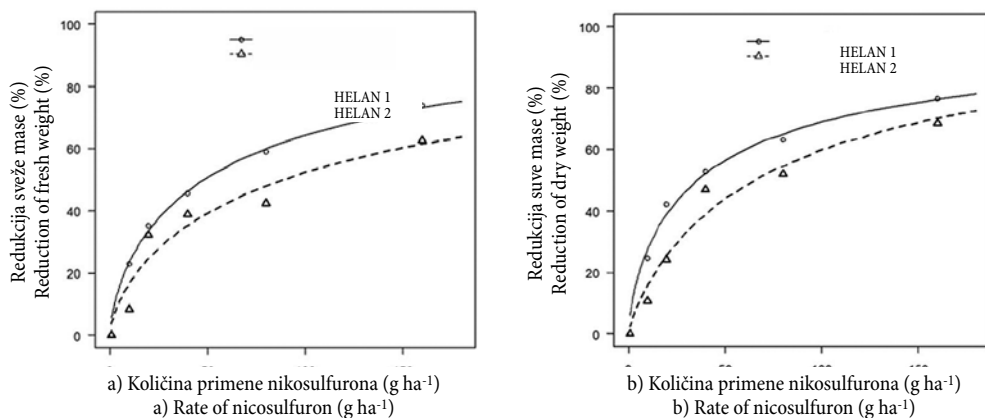
Tabela 4. Vizuelna ocena efikasnosti (%) nikosulfurona kod populacija korovskog suncokreta
Table 4. Visual assessment of the efficiency (%) of nicosulfuron in weedy sunflower populations

Tretmani Treatments	Populacija korovskog suncokreta / Weedy sunflower population							
	HELAN 1				HELAN 2			
	Ocena/Aassessment				Ocena/Aassessment			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Kontrola/Control	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10 g ha ⁻¹	21,25	35,00	43,75	47,50	10,00	10,00	22,50	25,00
20 g ha ⁻¹	23,75	36,25	50,00	52,50	17,50	42,50	48,75	48,75
40 g ha ⁻¹	23,75	50,00	65,00	70,00	18,75	45,00	50,00	52,50
80 g ha ⁻¹	25,00	65,00	70,00	75,00	20,00	46,25	50,00	56,25
160 g ha ⁻¹	31,25	78,75	88,75	88,75	22,50	67,50	72,50	77,50



Grafik 3. Vizuelna oštećenja (%) 7, 14, 21 i 28 DNP nicosulfurona: a) populacija HELAN 1; b) populacija HELAN 2
Figure 3. Visual injury (%) 7, 14, 21 and 28 DAAH of nicosulfuron: a) HELAN 1 population; b) HELAN 2 population

Nicosulfuron je ispoljio veću redukciju sveže i suve mase kod populacije HELAN 1 u odnosu na populaciju HELAN 2 (Grafik 3). Stepenn redukcije sveže mase, spram primenjenih količina nicosulfurona (10, 20, 40, 80, 160 g ha⁻¹), kretao se od 22,88-73,94% kod HELAN 1, odnosno od 8,27-62,69% kod HELAN 2 (Tabela 5). Kod populacije HELAN 1 procenat inhibicije suve mase se kretao od 24,51-76,47%, dok je kod populacije HELAN 2 zabeležena redukcija u opsegu od 10,78-68,63% (Tabela 6). Najveći procenat redukcije je zabeležen pri količini primene 160 g ha⁻¹ kod obe populacije. Dokazano je na osnovu vrednosti merenih vegetativnih parametara (sveža masa, suva masa i površina listova) da višegodišnja uzastopna primena nicosulfurona



Grafik 3. Reakcija HELAN 1 i HELAN 2 populacija korovskog suncokreta na nicosulfuron: a) sveža masa; b) suva masa
Figure 3. Response of weedy sunflower populations HELAN 1 and HELAN 2 to nicosulfuron: a) fresh weight; b) dry weight

može dovesti do manje osetljivost korovskog suncokreta na ovaj herbicid (Božić i sar., 2011). Na osnovu procenjenih regresionih parametara spram dobijenih rezultata za svežu i suhu masu biljaka korovskog suncokreta izračunate su EC_{50} vrednosti. Kod populacije HELAN 1 EC_{50} vrednost je iznosila $65,51 \text{ g ha}^{-1}$ (sveža masa), odnosno $37,63 \text{ g ha}^{-1}$ (suva masa), dok su kod HELAN 2 dobijene sledeće vrednosti: $119,43 \text{ g ha}^{-1}$ (sveža masa) i $77,69 \text{ g ha}^{-1}$ (suva masa). Svi ispitivani tretmani kod populacije HELAN 1 se međusobno statistički značajno razlikuju ($p < 0,05$). Kod populacije HELAN 2 na osnovu rezultata za svežu i suhu masu dobijeno je da se tretman sa količinom primene nikosulfurona 40 g ha^{-1} statistički značajno ne razlikuje od tretmana sa količinama primene 20 (sveža masa) i 80 g ha^{-1} (sveža i suva masa). Kod korovskog suncokreta veoma varijabilne reakcije na herbicide se mogu očekivati zbog izrazitih morfoloških i genetičkih varijacija populacija koje poseduju različite udeo kultivisanih i divljih osobina (Vrbničanin i sar., 2017).

Tabela 5. Redukcija sveže mase korovskog suncokreta pod uticajem nikosulfurona

Table 5. Reduction of fresh weight of weedy sunflower in response to nicosulfuron

Tretmani Treatments	Populacija korovskog suncokreta / Weedy sunflower population			
	HELAN 1		HELAN 2	
	Sveža masa (g) Fresh weight (g)	Redukcija sveže mase (%) Reduction of fresh weight (%)	Sveža masa (g) Fresh weight (g)	Redukcija sveže mase (%) Reduction of fresh weight (%)
Kontrola/Control	4,72±0,18 a	0,00	5,20±0,49 a	0,00
10 g ha ⁻¹	3,64±0,27 b	22,88	4,77±0,15 b	8,27
20 g ha ⁻¹	3,06±0,20 c	35,17	3,53±0,16 c	32,11
40 g ha ⁻¹	2,57±0,11 d	45,55	3,18±0,19 cd	38,85
80 g ha ⁻¹	1,94±0,08 e	58,94	2,99±0,14 d	42,50
160 g ha ⁻¹	1,23±0,14 f	73,94	1,94±0,08 e	62,69

Podaci za svežu masu su prikazani kao srednje vrednosti ± SD. Razlike između srednjih vrednosti tretmana označene istim slovima nisu značajne ($p < 0,05$).

Data for fresh weight are reported as means ± SD. Differences between mean values denoted by the same letters are not significant ($p < 0,05$).

Tabela 6. Redukcija suve mase korovskog suncokreta pod uticajem nikosulfurona

Table 6. Reduction of dry weight of weedy sunflower in response to nicosulfuron

Tretmani Treatments	Populacija korovskog suncokreta / Weedy sunflower population			
	HELAN 1		HELAN 2	
	Suva masa (g) Dry weight (g)	Redukcija suve mase (%) Reduction of dry weight (%)	Suva masa (g) Dry weight (g)	Redukcija suve mase (%) Reduction of dry weight (%)
Kontrola/Control	1,02±0,07 a	0,00	1,02±0,08 a	0,00
10 g ha ⁻¹	0,77±0,03 b	24,51	0,91±0,02 b	10,78
20 g ha ⁻¹	0,59±0,04 c	42,16	0,77±0,02 c	24,12
40 g ha ⁻¹	0,48±0,01 d	52,94	0,54±0,04 d	47,06
80 g ha ⁻¹	0,37±0,03 e	63,14	0,49±0,08 d	51,96
160 g ha ⁻¹	0,24±0,04 f	76,47	0,32±0,03 e	68,63

Podaci za suhu masu su prikazani kao srednje vrednosti ± SD. Razlike između srednjih vrednosti tretmana označene istim slovima nisu značajne ($p < 0,05$).

Data for dry weight are reported as means ± SD. Differences between mean values denoted by the same letters are not significant ($p < 0,05$).

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata možemo konstatovati da su prisutne razlike u osetljivosti populacija korovskog suncokreta na herbicide ALS inhibitorne na području Surčina. Kod populacije HELAN 1 na osnovu merenih parametara (vizuelna ocena, sveža i suva masa) zabeležena je manja osetljivost na imazamoks, dok je populacija HELAN 2 ispoljila manju osetljivost na nikosulfuron. S obzirom na činjenicu da postoji rizik od transfera gena tolerantnosti na imidazolinone i sulfoniluree sa tolerantnih hibrida na korovski suncokret, promene u osetljivosti ispitivanih populacija HELAN 1 i HELAN 2 ukazuju da postoji mogućnost razvoja rezistentnosti na imazamoks i nikosulfuron.

LITERATURA

- Božić, D., Pavlović, D., Bregola, V., di Loreto, A., Bosi, S., Vrbničanin, S.:** Gene flow from herbicide-resistant sunflower hybrids to weedy sunflower. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 122, 183-188, 2015.
- Božić, D., Sarić, M., Elezović, I., Vrbničanin, S.:** Reakcija populacija *Xanthium strumarium* L. i *Helianthus annuus* L. na nikosulfuron. *Acta herbologica*, 20, 15-24, 2011.
- Božić, D., Sarić, M., Malidža, G., Ritz, C., Vrbničanin, S.:** Resistance of sunflower hybrids to imazamox and tribenuron-methyl. *Crop Protection*, 39, 1-10, 2012.
- Bruniard, J. M.:** Inheritance of imidazolinone resistance, characterization of cross-resistance pattern, and identification of molecular markers in sunflower (*Helianthus annuus* L.). [PhD thesis] North Dakota State University, Fargo, 2001.
- Burke, J., Tang, S., Knapp, S., Rieseberg, L.:** Genetic analysis of sunflower domestication. *Genetics*, 161, 1257-1267, 2002.
- Heap, I.:** The International Herbicide-Resistant Weed Database. Online. Saturday, November 19, 2022. Available www.weedscience.org
- Hvarleva, T., Hristova, M., Bakalova, A., Hristov, M., Atanassov, I., Atanassov, A.:** CMS lines for evaluation of pollen flow in sunflower relevance for transgene flow mitigation. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23, 1309-1315, 2009.
- Janjić, V., Radivojević, Lj., Mitrić, S., Malidža, G.:** Genetičko-biohemijske osnove rezistentnosti korovskih biljaka prema herbicidima inhibitorima acetolaktat sintetaze (ALS). *Acta herbologica*, 13, 319-332, 2004.
- Jocić, S., Malidža, G., Hladni, N., Gvozdenović, S.:** Novi hibridi suncokreta tolerantni na tribenuron-metil. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad*, 45, 89-95, 2008.
- Kolkman, J. M., Slabaugh, M. B., Bruniard, J. M., Berry, S., Bushman, B. S., Olungu, C., ... Knapp, S. J.:** Acetohydroxyacid synthase mutations conferring resistance to imidazolinone or sulfonylurea herbicides in sunflower. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 1147-1159, 2004.
- Malidža, G., Jocić, S., Škorić, D., Orbović, B.:** Clearfield sistem proizvodnje suncokreta. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 40, 279-290, 2004.
- Malidža, G., Jocić, S., Škorić, D., Orbović, B.:** Suzbijanje korova u suncokretu tolerantnom prema tribenuron-metilu. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 42, 323-331, 2006.
- Muller, M. H., Delieux, F., Fernandez-Martinez, J. M., Garric, B., Lecomte, V., Anglade, G., Leflon, M., Motard, C., Segura, R.:** Occurrence, distribution and distinctive morphological traits of weedy *Helianthus annuus* L. populations in Spain and France. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, 869-877, 2009.
- Novák, R., Dancza, I., Szentey, L., Karamán, J.:** Arable weeds of Hungary. *Fifth National Weed Survey (2007-2008)*. Ministry of Agriculture and Rural Development, Hungary, 2009.

- Presotto, A., Fernández-Moroni, I., Poverene, M., Cantamutto, M.: Sunflower crop-wild hybrids: Identification and risks. *Crop Protection*, 30, 611-616, 2011.
- Ritz, C., Streibig, J. C.: Bioassay analysis using R. *Journal of Statistical Software*, 12, 1-22, 2005.
- Schmidt, L. A., Talbert, R.E., McClelland, M.: Management of acetolactate synthase (ALS)-resistant common cocklebur (*Xanthium strumarium*) in soybean. *Weed Technology*, 18, 665-674, 2004.
- Seefeldt, S. S., Jensen, J. E., Fuerst, E. P.: Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationships. *Weed Technology*, 9, 218-227, 1995.
- Seiler, G. J.: Effect of genotype, flowering date, and environment on oil content and oil quality of wild sunflower seed. *Crop Science*, 23, 1063-1068, 1983.
- Shaner, D. L., Anderson, J. A., Stidham, M. A.: Imidazolinones. Potent inhibitors of acetohydroxyacid synthase. *Plant Physiology*, 76, 545-546, 1984.
- Stojićević, D., Petrović, I., Dimitrijević, A., Božić, D., Miladinović, D., Vrbničanin, S.: Populaciona varijabilnost hibridnih formi divljeg suncokreta. X Kongres o korovima, Vrdnik, Srbija, Zbornik rezimea, p. 26, 2016.
- Stojićević, D.: Hibridne forme divljeg suncokreta *Helianthus annuus* L.: rasprostranjenost, varijabilnost i reakcija na herbicide ALS inhibitore. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 2020.
- Tranel, P. J., Wright, T. R.: Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science*, 50, 700-712, 2002.
- Travlos, I., de Prado, R., Chachalis, D., Bilalis, D. J.: Editorial: Herbicide resistance in weeds: early detection, mechanisms, dispersal, new insights and management issues. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 213-217, 2020.
- Vrbničanin, S., Božić, D., Pavlović, D., Sarić, M.: Fitness of the population of invasive volunteer sunflower. 2nd International Workshop on Invasive Plants in the Mediterranean Type Regions of the World, Trabzon-Turkey, Abstract book, p. 85, 2010.
- Vrbničanin, S., Božić, D., Pavlović, D.: Gene flow from herbicide-resistant crops to wild relatives. In: Pacanoski, Z. (Ed.), *Herbicide Resistance in Crops and Weeds*, InTech, 37- 63, 2017.
- Vrbničanin, S., Karadžić, B., Dajić Stevanović, Z.: Adventivne i invazivne korovske vrste na području Srbije. *Acta herbologica*, 13, 1-13, 2004.
- Vrbničanin, S., Stojićević, D., Božić, D., Saulić, S.: Hibridna forma divljeg suncokreta *Helianthus annuus* L. *Biljni lekar*, 42, 257-272, 2014.
- Whitcomb, C. E.: An introduction to ALS-inhibiting herbicides. *Toxicology and Industrial Health*, 15, 232-240, 1999.

Response of weedy sunflower populations (*Helianthus annuus* L.) to imazamox and nicosulfuron

SUMMARY

Weedy sunflower, *Helianthus annuus* L. is an economically very important, invasive species widely distributed in many regions of the world, especially in the areas where sunflower hybrids tolerant to some ALS-inhibiting herbicides are intensively cultivated. The discovery and development of a new technology in cultivated sunflower increased the emergence of resistant biotypes due to high selection pressure and spontaneous hybridisation (transfer of genes responsible for tolerance from crop to wild species).

This study examined the responses of two populations of weedy sunflower (HELAN 1 and HELAN 2) to nicosulfuron and imazamox in bioassay under greenhouse conditions. The

experiment included five treatments with different application rates of imazamox (12, 24, 48, 96 and 192 g ha⁻¹) and nicosulfuron (10, 20, 40, 80 and 160 g ha⁻¹) that were applied over plants at their growth stage of 2-3 pairs of developed leaves. In addition to the visual assessment of plant damage, which was performed 7, 14, 21 and 28 days after the herbicide application, the following parameters were also measured: fresh and dry weight. The obtained results indicate changes in the sensitivity of the examined weedy sunflower populations to ALS inhibitors. Reduced sensitivity of the HELAN 1 to imazamox and HELAN 2 to nicosulfuron suggests a possible development of resistant populations of weedy sunflower in the Surčin area.

Keywords: weedy sunflower, resistance, imazamox, nicosulfuron.