

Uporedna analiza vrijednosti efektivnih doza (ED₁₀ i ED₅₀) imazetapira

Siniša Mitrić

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Bulevar vojvode Petra Bojovića 1A,
78000 Banja Luka, Bosna i Hercegovina

REZIME

Cilj rada je da se metodama kratkotrajnog biološkog testiranja ispita biološka aktivnost imazetapira na četiri test biljke na različitim zemljištima. Kratkotrajni biotest je poslužio za određivanje funkcionalne zavisnosti između poznatog masenog udjela imazetapira u supstratu, kao nezavisne veličine, i odgovora biljke (efekta), kao zavisne veličine. Utvrđivanjem ovakve funkcionalne zavisnosti, predstavljene kroz jednačine regresije, mogu se odrediti odgovarajuće efektivne doze (ED₁₀ i ED₅₀), pri čemu se ED₁₀, *a priori*, uzima kao NOEL - *No Observed Effect Level*. Utvrđeno je da se vrijednosti granične doze (ED₁₀) i efektivne doze (ED₅₀) nalaze u direktnoj jakoj linearnoj vezi, bilo da se posmatraju korelacioni odnosi između ED₁₀ i ED₅₀ unutar jednog tipa zemljišta za pojedine test biljke i odgovarajuće biometričke pokazatelje, ili kao ukupna korelaciona veza. Ukoliko bi se razmotrio korelacioni odnos između ED₁₀ i ED₅₀ unutar istog tipa zemljišta došlo bi se do podatka da je za sva ispitivanja on statistički značajan. Direktna jaka linearna veza između ED₁₀ i ED₅₀ upućuje da se može naći i zakonomjernost između vrijednosti ED₁₀, sa jedne strane i vrijednosti ED₅₀ sa druge strane. Naime, ako bi te dvije vrijednosti stavili u regresionu zavisnost, pri čemu bi se vrijednost ED₁₀ uzela kao nezavisno promjenljiva, a ED₅₀, kao zavisno promjenljiva, onda bi se dobila jednačina linearne regresije: $ED_{50} = 13,767 + 1,852 \times ED_{10}$ ($r^2 = 0,889$; $n = 101$; $d.f. = 99$; $p < 0,0001$).

Ključne riječi: biotest, imazetapir, zemljište, doza-odgovor, efektivna doza

UVOD

Imazetapir (engl. *imazethapyr*) (IUPAC: [(RS)-5-etil-2-(4-izopropil-4-metil-5-okso-2-imidazolin-2-il) nikotinska kiselina]) je sistemski herbicid iz klase imidazolinona. Imazetapir inhibira aktivnost enzima acetolaktat sintetaze (ALS) koji katališe biosintezu esencijelnih aminokiselina valina, leucina i izoleucina i na taj način utiče na sintezu proteina i DNK (Janjić,

2005). Imazetapir je herbicid koji je našao veliku primjenu u suzbijanju korova u usjevima soje, pasulja, boranije, graška, lucerke i smiljkite. Imazetapir je u značajnoj mjeri kvantitativno određivan metodama biotesta. Jedan od najznačajnijih radova je objavio Onofri (1996). On je testirao imazetapir na šećernoj repi, stočnoj repi, uljanoj repici, sirku, bijeloj slačici, suncokretu i kukuruзу. Za navedene biljke utvrdio je sljedeće vrijednosti graničnih doza, pri čemu se, prema Pestemer i Günther (1993), ED_{10} , *a priori*, uzima kao NOEL (NOEL - *No Observed Effect Level*): šećerna repa (NOEL=0,54 $\mu\text{g a.m./kg}$), stočna repa (NOEL=1,03), uljana repica (NOEL=3,30), sirak (NOEL=5,68), bijela slačica (NOEL=11,35), suncokret (NOEL=12,67) i kukuruz (NOEL=20,88 $\mu\text{g a.m./kg}$). Rashid i saradnici (2001) navode da su najpogodnije test biljke za imazetapir šećerna repa i uljana repica. Isti autori su ispitivali reakciju test biljaka na koncentracije imazetapira u intervalu od 0 do 40 $\mu\text{g/l}$. Sparague i Hager (2003) ubrajaju imidazolinone u perzistentne herbicide i ukazuju da se oni mogu uspješno detektovati biotest metodama. Po ovim autorima najpogodnije biljke za testiranje imazetapira su: uljana repica < sirak < suncokret < ječam < pšenica < kukuruz < lucerka < soja. Isti autori ukazuju da je granica detekcije imazetapira biotest metodom relativno niska i tvrde da kukuruz pokazuje dovoljnu reakciju već pri koncentracijama od 0,002-0,01 ppm, sirak 0,004-0,015 ppm, a pšenica od 0,01 do 0,03 ppm. Jovanović-Radovanov i Elezović (2004) su ispitivali fitotoksično djelovanje imazetapira na kukuruz. Ustanovili su znatno manju efektivnu dozu imazetapira potrebnu za redukciju korijena kukuruza nego za izdanak i to, kako za dužinu, tako i za svježiu masu pomenutih dijelova kukuruza. Tako se ED_{50} imazetapira za svježiu masu korijena kukuruza, zavisno od hibrida, kretala od 10,5 do 19,4 $\mu\text{g/kg}$, dok je istovremeno, znatno veća doza trebala za redukciju svježe mase izdanka, pa se ED_{50} kretala od 187,2 do 502,4 $\mu\text{g/kg}$. Loux i saradnici (1989) su proučavali dostupnost i perzistentnost imazetapira, imazakvina i klomazona u ilovači (1,3% organske materije-OM) i glinovitoj ilovači (sa 5,6% OM). Ovi autori konstatuju da je korijen kukuruza osjetljiviji od izdanka kukuruza. Biološka dostupnost sva tri herbicida je veća u zemljištu sa manjim sadržajem organske materije (OM), tako ED_{50} za korijen kukuruza u zemljištu sa 5,8% OM iznosi 162 ppb imazetapira, a u zemljištu sa manje organske materije (1,3% OM) vrijednost ED_{50} je 17 ppb, dakle čak 9,5 puta manje. Interesantno je da u zemljištu sa manje organske materije imazakvin i imazetapir nisu otkriveni gasnom hromatografijom u uzorcima zemljišta ispod 7,5 cm, ali rast korijena kukuruza je zaustavljen sa oba herbicida najmanje jednu godinu nakon aplikacije. Vjerojatan uzrok za ovu pojavu je različita osjetljivost ove dvije metode za otkrivanje herbicida u spomenutom zemljištu. Korijen kukuruza će odgovoriti na imazakvin i imazetapir u koncentraciji od 1 ppb, dok je granica detekcije imazetapira u zemljištu gasnom hromatografijom 5 ppb (Loux et al., 1989).

Cilj ovog rada je da se metodama kratkotrajnog biološkog testiranja ispita biološka aktivnost imazetapira. Eksperiment je izveden sa različitim test biljkama u različitim tipovima zemljišta i kvarcnom pijesku, kako bi se sagledala biološka aktivnost i dostupnost imazetapira u zemljištu. Kratkotrajni biotest je poslužio za određivanje funkcionalne zavisnosti između poznatog masenog udjela imazetapira u supstratu, kao nezavisne veličine, i odgovora biljke (efekta), kao zavisne veličine. Utvrđivanjem ovakve funkcionalne zavisnosti, predstavljene kroz jednačine regresije, mogu se odrediti odgovarajuće efektivne doze (ED_{10} i ED_{50}).

MATERIJAL I METODE

METODIKA KRATKOTRAJNOG BIOTESTA. Imazetapir (IUPAC: [(RS)-5-etil-2-(4-izopropil-4-metil-5-okso-2-imidazolin-2-il) nikotinska kiselina]) se koristio u vidu komercijalnog preparata PIVOT-M, koji sadrži 100 g/l imazetapira u obliku amonijum soli, a formuliše se kao koncentrovani rastvor (SL). Preparat proizvodi „DELHEM a.d.”, a tehnički proizvod je od „BASF AG“, Ludwigshafen, Njemačka. Biološka aktivnost je ispitivana metodom kratkotrajnog biološkog testiranja (Pannacci et al., 2006), pri čemu su se kao test biljke koristile: zob (*Avena sativa* L.) - sorta „FLEMING REGENT”; bijela slačica (*Sinapis alba* L.) - sorta „DOMAČA”; suncokret (*Helianthus annuus* L.) - hibrid „LUCIL”, paradajz (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - sorta „NOVOSADSKI JABUČAR”. Djelovanje imazetapira na test biljke je ispitivano u kvarcnom pijesku, humusu i u tri različita tipa zemljišta, biljke su gajene u plasteniku. Supstrat (humus, kvarcni pijesak i zemlja) je stavljen u plastične saksije dijametra 100 mm, a u svaku saksiju je, bez obzira na vrstu, sijano 10 biljaka, koje su po nicanju proređivane na 6-8 biljaka. Biljke su mjerene nakon 25-30 dana od sjetve. Mjereni su sljedeći pokazatelji: dužina izdanka - DI (mm), svježa masa izdanka - SvjMI (g); suva masa izdanka - SuvMI (g); svježa masa korijena - SvjMK (g); suva masa korijena - SuvMK (g). Ogled je rađen u četiri ponavljanja. Odabir raspona masenih udjela imazetapira u zemljištu unutar kojih će se sagledati reakcija biotest biljke zavisi od test biljke i karakteristika zemljišta u kojem vršimo testiranje. Kao dobra orijentacija za pravilnu postavku ogleda je poslužio preliminarni ogled (Mitrić i Vučković, 2008).

FIZIČKO HEMIJSKE KARAKTERISTIKE ZEMLJIŠTA I HUMUSA. Za potrebe kratkotrajnog testiranja korišćena su tri tipa zemljišta, kao i komercijalni humus i kvarcni pijesak (tabele 1-3).

BIOMETRIJSKA OBRADA PODATAKA. Kratkotrajno biološko testiranje je vršeno tako da je sagledavan uticaj imazetapira na rastenje 4 test biljke na 5 različitih supstrata, tj. na tri prirodna zemljišta i komercijalnom humusu i kvarcnom pijesku. Pri tome reakcija biljaka na djelovanje imazetapira sagledavana je kroz 5 biometričkih pokazatelja. Imazetapir je u zemljište, tj. u humus i kvarcni pijesak inkorporiran u 5 različitih masenih udjela, a rastenje biljaka izloženih imazetapiru se poredilo u odnosu na kontrolne biljke koje nisu bile pod uticajem imazetapira. Regresiona zavisnost između pokazatelja rasta test biljaka, kao zavisne veličine, i koncentracije (masenog udjela) imazetapira, kao nezavisne veličine, je urađena

Tabela 1. Opšti podaci o hemijskim osobinama zemljišta, kvarcnog pijeska i komercijalnog humusa
Table 1. Basic data about the chemical characteristics of the soil, quartz sand and commercial humus

Oznaka tipa zemljišta-supstrata Mark type of soil or substrate	pH zemljišta pH soil		Humus (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)
	H ₂ O	KCl			
P (Kvarcni pijesak, Quartz Sand)	4,97	-	0	0	0
H (Humus)	5,2	-	35,25	22,34	78,8
PILKE	7,01	6,41	1,8	6,1	23,1
KDIL	4,55	3,89	1,4	4,6	14,0
PILKD	4,81	3,88	1,8	3,9	38,4

Tabela 2. Opšti podaci o mehaničkom sastavu zemljišta**Table 2.** Basic data about the mechanical soil content

Oznaka tipa zemljišta Mark type of soil	% Čestica (% Particle)			Tekstura Texture	Tip zemljišta Type of soil
	Pijesak Sand 2,0-0,06 mm	Prah Silt 0,06-0,002 mm	Glina Clay <0,002 mm		
PILKE	26,38	51,53	22,09	Praškasta ilovača Silty loam	Kambisol eutrični Cambisol eutric
KDIL	36,03	40,96	23,01	Ilovača Loam	Kambisol distrični Cambisol eutric
PILKD	14,79	67,05	18,16	Praškasta ilovača Silty loam	Kambisol distrični Cambisol distric

Tabela 3. Podaci o mehaničkom sastavu kvarcnog pijeska i humusa**Table 3.** Data about mechanical content of quartz sand and humus

Tip supstrata Type of substrate	Čestice (%) (% Particle)			
	<0,1 mm	0,1-0,2 mm	0,2-0,5 mm	>0,5 mm
Pijesak Sand	2,46%	26,73%	66,11%	4,70%
Humus	Čestice pijeska (mm) Sand Particle		Čestice praha (mm) Silt Particle	
			Čestice gline (mm) Clay Particle	
	2,0-0,2	0,2-0,06	0,06-0,02	0,02-0,006
	0,00 %	0,00 %	22,99 %	33,99 %
	0,00 %		77,60 %	
			20,62 %	
			22,40 %	

po logističkom modelu na osnovu odnosa „doza-odgovor” („*dose-response*”), preko četvero-parametarske logističke funkcije koja je predstavljena formulom:

$$f(x, (b, C, D, e)) = C + \frac{(D - C)}{(1 + \exp\{b \times (\log(x) - \log(e))\})} \quad (\text{Streibig et al., 1993})$$

gdje su b , C , D , e četiri parametra. Parametar e označava efektivnu dozu ED_{50} , a to je doza koja daje odgovor test biljke na pola puta između gornje granice (D) i donje granice (C), dok parametar b označava relativni nagib oko e (Streibig et al., 1993, Ritz and Streibig, 2005). Funkcionalna zavisnost je urađena korišćenjem statističkog programa Origin[®]Pro-6.1. Statističkim programom je pored osnovna 4 parametra ove funkcionalne zavisnosti utvrđen i interval povjerenja za sve parametre u kojem se oni mogu naći, pa je tako efektivna doza predstavljena kao $ED_{50} (\pm Sx)$. Deskriptivna analiza, kao i prosta linerana regresija i linearna korelacija, je rađena uz pomoć programa 3B Stat (Lovrić i sar., 2006).

REZULTATI I DISKUSIJA

Odgovor test biljke na djelovanje imazetapira značajno zavisi od same test biljke, ali i od biometričkog pokazatelja kojeg uzimamo kao pokazatelja biološke aktivnosti herbicida. Pogotovo se vrijednost efektivne doze (ED_{50}) značajno razlikuje u odnosu na tip prirodnog zemljišta, tj. supstrata (kvarcni pijesak ili komercijalni humus) na kojem je test biljka gajena i izlagana imazetapiru (tabela 4). Vrijednost ED_{10} imazetapira je prikazana u tabeli 5.

Tabela 4. Usporedni pregled vrijednosti ED₅₀ imazetapira u zavisnosti od tipa zemljišta, test biljke i biometričkog pokazatelja**Table 4.** Comparative overview values ED₅₀ of imazethapyr depending on the soil type, plant test and biometrical indicator

Biometrički pokazatelj Biometrical indicator	Test biljka Test plant	Tip zemljišta-supstrata Type of soil or substrate				
		PIJESAK	HUMUS	“KDIL”	“PILKD”	“PILKE”
		Vrijednost efektivnih doza imazetapira ED ₅₀ [µg/kg] Values ED ₅₀ of imazethapyr [µg/kg]				
DI	ZOB	23,829	341,391	66,923	40,185	85,539
	BS	16,593	126,421	17,389	11,482	35,668
	PARADAJZ	7,567	111,130	14,472	15,073	14,263
	SUNCOKRET	9,636	151,966	35,502	32,125	33,405
Svj.MI	ZOB	19,962	244,634	48,989	41,735	57,653
	BS	17,065	136,283	12,933	4,536	22,868
	PARADAJZ	4,443	72,273	8,798	11,034	14,827
	SUNCOKRET	25,678	229,174	29,193	18,927	26,158
Suv.MI	ZOB	17,866	343,627	45,094	53,005	75,121
	BS	17,807	98,534	17,565	5,294	15,536
	PARADAJZ	4,973	77,515	8,578	14,691	13,064
	SUNCOKRET	30,951	233,961	32,984	35,602	46,788
Svj.MK	ZOB	9,458	264,208	59,385	16,581	46,195
	BS	14,800	64,705	15,069	5,603	2,434
	PARADAJZ	3,365	78,909	9,550	11,998	4,725
	SUNCOKRET	12,328	114,790	39,606	15,029	14,238
Suv.MK	ZOB	21,800	235,965	62,985	19,962	76,916
	BS	12,648	82,472	14,508	8,353	4,940
	PARADAJZ	3,335	92,452	9,446	11,867	4,707
	SUNCOKRET	8,956	156,660	37,624	26,079	20,468

Legenda: DI= dužina izdanka; SvjMI= svježa masa izdanka; SuvMI= suva masa izdanka; SvjMK= svježa masa korijena; SuvMK= suva masa korijena

Legend: DI= Length of shoots; SvjMI= Fresh weight of shoot; SuvMI= Dry weight of shoot; SvjMK= Fresh weight of root; SuvMK= Dry weight of root

Korelacioni odnosi između vrijednosti ED₅₀ mogu se sagledati tako da poredimo vezu između pripadajuće efektivne doze (konkretno ED₅₀) za biometričke pokazatelje (VI; SvjMI; SuvMI; SvjMK, SuvMK) pojedinih test biljaka (Z - zob; BS - bijela slačica; P - paradajz; S - suncokret) unutar istog zemljišta, a što je prikazano u tabeli 6, gdje „r” predstavlja Pearson-ov koeficijent proste linearne korelacije.

Odgovori test biljaka unutar istog tipa zemljišta, iskazani kroz ED₅₀, za posmatrane biometričke pokazatelje nisu u statistički značajnoj korelacijskoj vezi ni u jednom posmatranom odnosu. Iz toga se može sagledati da su odgovori različitih test biljaka u istom tipu zemljišta

Tabela 5. Uporadni pregled vrijednosti ED₁₀ (NOEL) imazetapira u zavisnosti od tipa zemljišta, test biljke i biometričkog pokazatelja**Table 5.** Comparative overview values ED₁₀ (NOEL) of imazethapyr depending on the soil type, plant test and biometrical indicator

Biometrički pokazatelj Biometrical indicator	Test biljka Test plant	Tip zemljišta-supstrata Type of soil or substrate				
		PIJESAK	HUMUS	„KDIL”	„PILKD”	„PILKE”
		Vrijednost graničnih doza imazetapira ED ₁₀ [µg/kg] Values ED ₅₀ of imazethapyr [µg/kg]				
DI	ZOB	13,122	134,021	12,682	14,030	32,241
	BS	2,4517	31,105	1,468	1,755	9,211
	PARADAJZ	3,084	35,236	7,261	8,110	8,060
	SUNCOKRET	2,073	81,128	4,764	6,187	15,662
Svj.MI	ZOB	8,248	158,379	10,163	9,898	24,673
	BS	6,365	59,605	2,574	0,754	1,682
	PARADAJZ	2,327	39,101	4,109	4,307	8,423
	SUNCOKRET	3,578	122,7177	2,770	6,055	5,0813
Suv.MI	ZOB	2,670	105,647	8,728	9,778	31,616
	BS	6,741	31,373	3,003	0,510	2,810
	PARADAJZ	2,070	38,285	3,770	5,799	4,574
	SUNCOKRET	2,556	117,132	3,193	5,443	4,061
Svj.MK	ZOB	3,810	176,698	12,013	0,991	27,774
	BS	6,718	36,413	6,032	0,853	0,280
	PARADAJZ	1,746	27,811	3,573	4,812	1,150
	SUNCOKRET	4,487	66,981	6,704	3,787	5,331
Suv.MK	ZOB	9,602	133,049	4,952	2,497	34,604
	BS	2,954	34,353	4,522	1,245	0,157
	PARADAJZ	1,504	37,885	3,452	4,327	1,502
	SUNCOKRET	2,622	65,753	2,002	3,627	4,260

Legenda: DI= dužina izdanka; SvjMI= svježa masa izdanka; SuvMI= suva masa izdanka; SvjMK= svježa masa korijena;

SuvMK= suva masa korijena

Legend: DI= Length of shoots; SvjMI= Fresh weight of shoot; SuvMI= Dry weight of shoot; SvjMK= Fresh weight of root ;

SuvMK= Dry weight of root

Tabela 6. Korelaciona zavisnost između vrijednosti ED₅₀ za pojedine biometričke pokazatelje između testiranih biljaka unutar istog tipa zemljišta**Table 6.** Correlative dependence between the values ED₅₀ for particular biometrical indicators between the test plants inside the same soil type

Test biljke Test plant		Pijesak Sand	Humus Humus	„KDIL”	„PILKD”	„PILKE”
Z/BS	r	0,075 ^{NS}	0,243 ^{NS}	0,106 ^{NS}	0,148 ^{NS}	0,538 ^{NS}
Z/P	r	0,579 ^{NS}	0,395 ^{NS}	0,858 ^{NS}	0,312 ^{NS}	0,346 ^{NS}
Z/S	r	-0,088 ^{NS}	0,192 ^{NS}	0,676 ^{NS}	0,754 ^{NS}	0,598 ^{NS}
BS/P	r	0,566 ^{NS}	0,167 ^{NS}	0,124 ^{NS}	0,533 ^{NS}	0,875 ^{NS}
BS/S	r	0,754 ^{NS}	0,595 ^{NS}	0,221 ^{NS}	0,444 ^{NS}	0,519 ^{NS}
P/S	r	-0,034 ^{NS}	-0,465 ^{NS}	0,281 ^{NS}	0,850 ^{NS}	0,710 ^{NS}

Legenda: Z – zob ; BS - bijela slačica; P - paradajz; S – suncokret

Legend: Z – oat; BS – white mustard; P – tomato; S – sunflower

Tabela 7. Korelacija ED_{50} unutar iste biljke između različitih zemljišta prema biometričkim pokazateljima
Table 7. Correlation ED_{50} inside the same plant but between the different soils according to the biometrical indicators

Tip zemljišta Type of soil		Zob Oat	Bijela slačica White mustard	Paradajz Tomato	Suncokret Sunflower
P/H	r	0,197 ^{NS}	0,625 ^{NS}	0,197 ^{NS}	0,893*
P/KDIL	r	0,228 ^{NS}	0,364 ^{NS}	0,228 ^{NS}	-0,758 ^{NS}
P/PILKD	r	0,588 ^{NS}	-0,396 ^{NS}	0,588 ^{NS}	0,226 ^{NS}
P/PILKE	r	0,846 ^{NS}	0,637 ^{NS}	0,846 ^{NS}	0,650 ^{NS}
H/KDIL	r	-0,080 ^{NS}	-0,058 ^{NS}	-0,080 ^{NS}	-0,908*
H/PILKD	r	0,813 ^{NS}	0,084 ^{NS}	0,813 ^{NS}	0,392 ^{NS}
H/PILKE	r	0,547 ^{NS}	0,888*	0,547 ^{NS}	0,705 ^{NS}
KDIL/PILKD	r	-0,131 ^{NS}	0,379 ^{NS}	-0,131 ^{NS}	-0,182 ^{NS}
KDIL/PILKE	r	0,293 ^{NS}	0,329 ^{NS}	0,293 ^{NS}	-0,526 ^{NS}
PILKD/PILKE	r	0,633 ^{NS}	0,362 ^{NS}	0,633 ^{NS}	0,868 ^{NS}

r = Pearson-ov koeficijent proste linearne korelacije (Pearson coefficient)

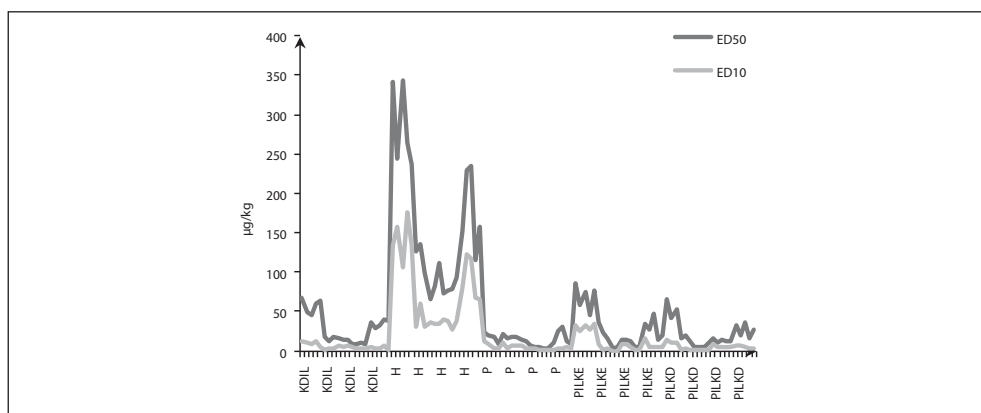
različiti. Takođe, kada se korelaciona veza posmatra tako da poredimo vrijednosti ED_{50} za biometričke pokazatelje iste test biljke između različitih zemljišta (tabela 7), dolazimo do podataka da nema statistički značajne korelacione veze između vrijednosti ED_{50} . To znači da u svakom tipu zemljišta pojedina test biljka ima drugačiji odgovor, te da se između nivoa tih odgovora i načina na koji biljka odgovara ne može uspostaviti statistički značajna veza (tabela 7).

Korelaciona veza je drugačija kada se posmatraju odnosi između ED_{10} i ED_{50} unutar jednog tipa zemljišta za pojedine test biljke i odgovarajuće biometričke pokazatelje, ili, pak, ukupna korelaciona veza (grafikon 1). Naime, vrijednosti ED_{10} i ED_{50} se nalaze u direktnoj jakoj linearnoj vezi, jer je utvrđeno da je korelacija između ED_{10} i ED_{50} unutar istog tipa zemljišta, za sva ispitivana zemljišta statistički značajna. Tako koeficijent linearne korelacije za odnos vrijednosti ED_{10} i ED_{50} u kvarcnom pijesku iznosi $r=0,5318$ ($p=0,0158$), u humusu $r=0,866$ ($p=0,0000008$), dok je u zemljištu tipa „KDIL” $r=0,675$ ($p=0,00108$), a u zemljištu tipa „PILKD” $r=0,854$ ($p=0,0000017$), dok je najjača korelacijska veza u zemljištu tipa „PILKE” $r=0,913$ ($p<0,01$). Koeficijent linearne korelacije između vrijednosti ED_{10} i ED_{50} za sve ispitivane biljke i biometričke pokazatelje u svim ispitivanim zemljištima iznosi $r=0,943$ ($p<0,0001$), a što znači da se može uspostaviti pouzdana zakonomjernost između vrijednosti ED_{10} i ED_{50} imazetapira.

Direktna jaka linearna veza između ED_{10} i ED_{50} upućuje na to da se može naći i zakonomjernost između vrijednosti ED_{10} sa jedne strane i vrijednosti ED_{50} sa druge strane. Naime, ako bi se te dvije vrijednosti stavile u regresionu zavisnost, pri čemu bi se vrijednost ED_{10} uzela kao nezavisno promjenljiva, a ED_{50} kao zavisno promjenljiva, onda bi se dobila jednačina linearne regresije: $ED_{50} = 13,767 + 1,852 \times ED_{10}$ ($r^2=0,889$; $n=101$; d.f.=99; $p<0,0001$), a što dalje znači da se sa velikom pouzdanošću može izračunati ED_{50} na osnovu poznavanja ED_{10} (grafikon 2).

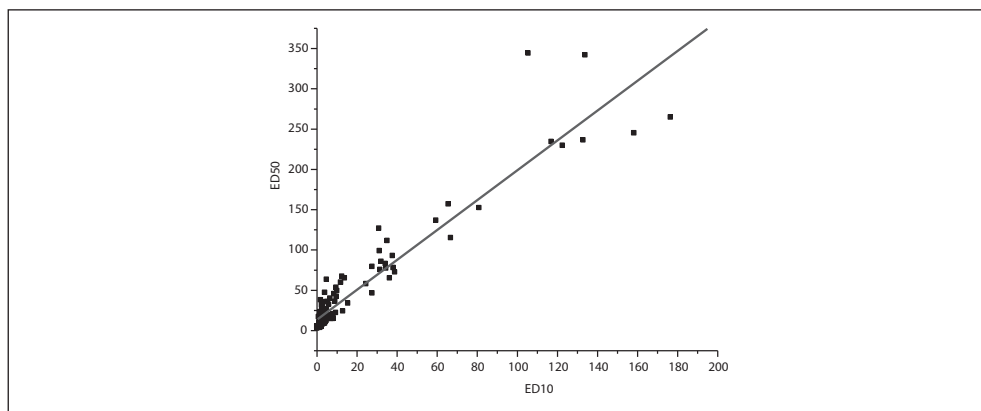
Poredeći vrijednosti ED_{50} , kako unutar istog tipa zemljišta, tako i između različitih zemljišta može se reći da ED_{50} imazetapira raste ovim redom: paradajz < bijela slačica < suncokret < zob. Konstatovano je kod većine zemljišta da se u osjetljivosti jasno izdvojio korijen u odnosu na izdanak, tako da raspored efektivnih doza imazetapira, a prema dijelu biljke koji reaguje na ovaj herbicid, ide ovim redom: svježa masa korijena < suva masa korijena < svježa masa izdanka < suva masa izdanka < dužina izdanka. To u izvjesnoj mjeri odgovara i rasporedu u osjetljivosti koji su ustanovili Sparague i Hager (2003), kao i Jovanović-Radovanov i Elezović (2004).

Poredeći ED_{10} ustanovljene u ovom radu sa literaturnim navodima može se reći da osjetljivost bijele slačice i suncokreta ustanovljena u ovim istraživanjima odgovara navodima iz literature. Tako je Onofri (1996) ustanovio da je ED_{10} imazetapira za bijelu slačicu 11,35 $\mu\text{g/kg}$, dok je u ovom istraživanju interval vrijednosti ED_{10} imazetapira za bijelu slačicu,



Grafikon 1. Odnos između vrijednosti ED_{10} i ED_{50} za sve ispitivane test biljke, biometričke pokazatelje i tipove zemljišta

Figure 1. Relation between values ED_{10} and ED_{50} for all examined test plants, biometrical indicators and soil types



Grafikon 2. Regresiona zavisnost između ED_{10} i ED_{50}

Figure 2. Regressive dependence between ED_{10} and ED_{50}

izuzimajući njenu vrijednost u humusu, bio u intervalu od 0,157 do 9,211 $\mu\text{g/kg}$, s tim da je srednja vrijednost ED_{10} imazetapira za bijelu slačicu za sve posmatrane biljke, biometričke pokazatelje i tipove zemljišta bila 3,104 $\mu\text{g/kg}$, dakle niže od vrijednosti koju je ustanovio Onofri (1996). Vrijednost ED_{10} imazetapira za suncokret se kretala u intervalu 2,002-15,662 $\mu\text{g/kg}$, a srednja vrijednost ED_{10} je bila 4,712 $\mu\text{g/kg}$, dok je Onofri (1996) ustanovio ED_{10} imazetapira za suncokret 12,67 $\mu\text{g/kg}$. Rashid i saradnici (2001) navode da je granica detekcije imazetapira biotest metodom relativno niska i tvrde da kukuruz pokazuje dovoljnu reakciju već pri koncentracijama od 2-10 $\mu\text{g/kg}$, sirak 4-15 $\mu\text{g/kg}$, a pšenica od 10 do 30 $\mu\text{g/kg}$. Biljke uključene u ova istraživanja su pokazale veću graničnu osjetljivost na imazetapir nego što ukazuju Rashid i saradnici (2001).

ZAKLJUČAK

Vrijednosti efektivnih doza ED_{10} i ED_{50} se nalaze u izuzetno jakoj korelativnoj vezi, bilo da se posmatraju korelacioni odnosi između ED_{10} i ED_{50} unutar jednog tipa zemljišta za pojedine test biljke i odgovarajuće biometričke pokazatelje, ili u ukupnoj korelacijskoj vezi. Ukoliko bi se razmotrio korelacijski odnos između ED_{10} i ED_{50} unutar istog tipa zemljišta došlo bi se do podatka da je za sva ispitivana zemljišta on statistički značajan i za odnos vrijednosti ED_{10} i ED_{50} u kvarcnom pijesku iznosi $r=0,5318$ ($p=0,0158$), u humusu $r=0,866$ ($p=0,0000008$), dok je u zemljištu tipa „KDIL” $r=0,675$ ($p=0,00108$), a u zemljištu tipa „PILKD” $r=0,854$ ($p=0,0000017$), a najjača korelacijska veza je u zemljištu tipa „PILKE” $r=0,913$ ($p<0,01$).

Koeficijent korelacije između vrijednosti granične doze (ED_{10}) i efektivne doze (ED_{50}) imazetapira za sve ispitivane biljke i biometričke pokazatelje u svim ispitivanim zemljištima je jako visok i iznosi $r=0,943$ ($p<0,0001$). Upravo tako jaka korelacija dala je za pravo da se utvrdi i zakonomjernost između vrijednosti ED_{10} sa jedne strane i vrijednosti ED_{50} sa druge strane. Naime, ako bi se te dvije vrijednosti stavili u regresionu zavisnost, pri čemu bi se vrijednost ED_{10} uzela kao nezavisno promjenljiva, a ED_{50} kao zavisno promjenljiva, onda bi se dobila jednačina linearne regresije: $\text{ED}_{50} = 13,767 + 1,852 \times \text{ED}_{10}$ ($r^2=0,889$; $n=101$; $\text{d.f.}=99$; $p<0,0001$). Ovdje je bitno uočiti da vlada jaka korelacija između vrijednosti ED_{50} imazetapira utvrđene tokom preliminarog i konačnog ogleda. Tako je koeficijent korelacije između vrijednosti ED_{50} imazetapira u kvarcnom pijesku u preliminarom ogledu i vrijednosti efektivnih doza u konačnom ogledu 0,7653 ($p=0,00372$), dok je taj koeficijent za odnos efektivnih doza imazetapira u humusu 0,8478 ($p=0,00491$). Iz navedenog se može zaključiti da u oba odnosa vlada jaka korelacija i da je koeficijent korelacije statistički visoko značajan, jer je $p<0,01$.

LITERATURA

Janjić, V.: Fitofarmacija. Društvo za zaštitu bilja Srbije, Institut za istraživanja u poljoprivredi „Srbija”, Poljoprivredni fakultet Banja Luka, Beograd - Banja Luka, 2005.

- Jovanović-Radovanov, K. i Elezović, I.:** Fitotoksično delovanje imazetapira na hibride kukuruza (*Zea mays* L.) i njegova perzistentnost. Pesticidi i fitomedicina, 19, 111-134, 2004.
- Loux, M. M., Liebl, A. R., Slife, W. F.:** Availability and Persistence of Imazaquin, Imazethapyr, and Clomazone in Soil. Weed Science, 37, 2, 259-267, 1989.
- Lovrić, M., Komić, J., Stević, S.:** Statistička analiza - metodi i primjena. Ekonomski fakultet Banja Luka, 2006.
- Mitrić, S. i Vučković, B.:** Preliminarni biotest za određivanje graničnih doza herbicida. Acta herbologica, 17, 2, 161-166, 2008.
- Onofri, A.:** Biological activity, field persistence and safe recropping intervals for imazethapyr and rimsulfuron on a silty-clay soil. Weed Research, 36, 1, 73-83, 1996.
- Pannacci, E., Onofri, A., Covarelli, G.:** Biological activity, availability and duration of phytotoxicity for imazomox in four different soils of central Italy. Weed Research, 46, 243-250, 2006.
- Pestemer, W. and Günther, P.:** No observable effect level (NOEL). In: Kudsk, P, Streibig, J.C.(eds.). Herbicide Bioassays, 137-152, CRC Press, Boca Raton, 1993.
- Rashid, A., Feddema, H., Checkel, S., Sharma, P.:** Plant Bioassay Techniques for Detecting and Identifying Herbicide Residues in Soil. Agri- Facts, Alberta Research Council, Vegreville, 1-4, 2001.
- Ritz, C. and Streibig, J.C.:** Bioassay Analysis using R. Journal of Statistical Software, 12, 5, 2005.
- Sparague, L. C. and Hager, G. A.:** Herbicide Persistence and How to Test for Residues in Soil. Illinois Agricultural Pest Management Handbook, 333-340, 2003.
- Streibig, J.C., Rudemo M., Jensen J.E.:** Dose-Response Curves and Statistical Models. In: Kudsk, P, Streibig, J.C. (eds.). Herbicide Bioassays, 29-55, CRC Press, Boca Raton, 1993.

Comparative Analysis Values Effective Doses (ED₁₀ and ED₅₀) of Imazethapyr

SUMMARY

The aim of the work is to examine biological activity of imazethapyr in soils using methods of the short-term biological testing. The short-term bioassay served for determining the functional dependence between the known mass part of the imazethapyr in the substratum, as independent value, and the plant reaction (the effect), as dependant value. By determining such a functional dependence, presented through the regression equations, it is possible to determine appropriate effective doses (ED₁₀ and ED₅₀), while ED₁₀ is a priori taken as NOEL - No Observed Effect Level. It is determined that the values of the boarder (ED₁₀) and effective dose (ED₅₀) are in the strong correlative connection, whether observed correlative relations between ED₁₀ and ED₅₀ inside one type of the soil for the particular bioassay plants and corresponding biometrical indicator or total correlative connection. If we consider the correlation between ED₁₀ and ED₅₀ inside the same soil type, there would be the information that it is statistically important for all kinds of researches. Extraordinary strong correlation between ED₁₀ and ED₅₀ indicates that there could be regularity between ED₁₀ on the one side and ED₅₀ on the other side. Therefore, if we put these two values in the regressive dependence, while ED₁₀ would be independently changeable and ED₅₀ as dependably changeable, then there would be the equation of the linear regression: $ED_{50} = 13,767 + 1,852 \times ED_{10}$ ($r^2 = 0,889$; d.f. = 99).

Keywords: bioassay, imazethapyr, soil, dose-response, effective dose

Primljen: 05.12.2011.

Odobren: 27.12.2011.