

## GENETIČKI MODIFIKOVANE BILJKE TOLERANTNE PREMA HERBICIDIMA: HERBOLOŠKI ASPEKT

Goran MALIDŽA<sup>1</sup> i Vaskrsija JANJIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

<sup>2</sup>Institut SRBIJA - Centar za pesticide i zaštitu životne sredine, Zemun

Malidža Goran and Vaskrsija Janjić (2004): *Genetically modified herbicide-tolerant crops: the weed science aspect*. - Acta herbologica, Vol. 13, No. 2, 289-308, Beograd.

Development and production of genetically modified crops is the hallmark of the end of last and beginning of new century. The most remarkable commercial success regarding genetically modified crops has been achieved with herbicide-tolerant crops as HTC's offer the potential for many benefits: simpler weed control, more effective management of problematic and resistant weeds, control of parasitic weeds, use of minimum tillage, additional tool in integrated weed management, avoidance of yield loss caused by current herbicides, etc. Potential risks associated with HTC's include: gene flow, herbicide resistant volunteers, selection of weed flora in favour of species less susceptible to herbicides, potential development of herbicide-resistant weeds, growers' increased dependency on herbicides, reduced application of integrated weed management, losing of traditional skills of weed management, possible decrease in biodiversity in fields, etc.

*Key words:* genetically modified plants, herbicides, tolerance, weeds, resistance, gene flow, integrated weed control

## UVOD

Najnovija dostignuća u molekularnoj genetici, biohemiji i fiziologiji, stvorila su mogućnost za stvaranje biljaka sa dodatnim agronomskim svojstvima, među kojima tolerantnost prema herbicidima zauzima vodeće mesto. Prva generacija genetički modifikovanih biljaka odnosila se na biljke sa takozvanim input ili agronomskim svojstvima. Genetički modifikovane biljke tolerantne prema herbicidima pobudile su interesovanje raznih interesnih grupa, a koji su jednoglasni u mišljenju da korist od ovih biljaka imaju farmeri, proizvođači herbicida i semena ovih biljaka, a da nikakve prednosti nemaju konzumeri finalnih proizvoda.

U stvaranju biljaka tolerantnih prema herbicidima mogu se koristiti metode rekombinantne DNK (genetičko inženjerstvo), pri čemu se dobijaju genetički modifikovane biljke u pravom smislu ili transgene biljke. Takođe, tolerantnost biljaka prema herbicidima može se postići korišćenjem somaklonalne varijabilnosti, mutacija i konvencionalnih metoda oplemenjivanja biljaka (DYER, 1996). U drugom slučaju radi se o netransgenim biljkama tolerantnim prema herbicidima, koje su za sada prihvatljivije u nekim delovima sveta, a prvenstveno u Evropi. Za transgene (genetički modifikovane biljke u pravom smislu) i netransgene biljke tolerantne prema herbicidima, zajedničko je da se razlikuju od konvencionalnih biljaka zbog korišćenja posebnih genetičkih metoda za povećanje tolerantnosti prema pojedinim herbicidima. U razvoju biljaka tolerantnih prema herbicidima korišćena su tri principa: 1) unošenje gena odgovornih za hiperprodukciju enzima na koji herbicid deluje, 2) promena osetljivosti ključnog mesta delovanja herbicida i 3) unošenje gena odgovornog za detoksifikaciju herbicida u biljkama. Najveći broj biljaka tolerantnih prema herbicidima dobijen je izmenom ključnog mesta delovanja, korišćenjem induciranih mutacija kod biljaka ili mikroorganizama, kao i unošenjem gena iz mikroorganizama za sintezu enzima koji su odgovorni za detoksifikaciju herbicida. Sa herbološke tačke gledišta, način dobijanja biljaka tolerantnih prema herbicidima nema veći značaj, jer su prednosti i rizici transgenih i netransgenih biljaka tolerantnih prema herbicidima u suzbijanju korova u većini slučajeva zajednički. Iz ovih razloga, za transgene i netransgene biljke u daljem tekstu ovog rada koristiće se zajednički termin - genetički modifikovane biljke tolerantne prema herbicidima (skraćeno GMHT). S obzirom na trenutni status u svetu i značaj GMHT biljaka, pokušaćemo da ukažemo na njihove najznačajnije osobine, prednosti i rizike sa herbološke tačke gledišta.

*Tabela 1. - Površine zasejane transgenim biljkama u svetu od 1996-2003. godine (JAMES, 2003)*

*Table 1. - Global area of transgenic crops from 1996 to 2003 (JAMES, 2003)*

Godina Year	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Miliona hektara Million hectares	1,7	11,0	27,8	39,9	44,2	52,6	58,7	67,7

GENETIČKI MODIFIKOVANE BILJKE TOLERANTNE PREMA  
HERBICIDIMA  
KAO GLOBALNI IZAZOV

Biljke tolerantne prema herbicidima nisu nov fenomen, jer je prihvatljiv nivo tolerantnosti gajene biljke prema određenim herbicidima osnovni preduslov za bezbednu primenu herbicida. Rutinski postupak razvoja novog herbicida podrazumeva ispitivanje njegove selektivnosti prema vodećim gajenim biljnim vrstama. S obzirom da herbicidi moraju zadovoljiti i druge kriterijume (toksikološke, ekotoksikološke, spektar delovanja, cena, itd.) u poslednje vreme je razvoj novih herbicida znatno sporiji i skuplji proces. Sa druge strane, razvojem biotehnologije omogućena je izmena tolerantnosti gajene biljke, što su vodeći proizvođači herbicida u svetu iskoristili kao dodatno polje za ostvarenje profita. Predviđa se da će biljke tolerantne prema herbicidima u budućnosti značajno smanjiti gubitke prinosa, potrošnju pesticida i troškove proizvodnje. Razvoj i gajenje genetički modifikovanih biljaka tolerantnih prema herbicidima i otpornim prema insektima, obeležilo je poslednju dekadu prošlog i početak novog veka, o čemu svedoči rapidan porast zasejanih površina (Tabela 1). Od 1996-2003. godine, ukupne površine pod genetički modifikovanim biljkama su se uvećale za 40 puta (JAMES, 2003). GMHT biljke su u 2003. godini bile zastupljene na 73% od ukupnih površina pod transgenim biljkama. Najzastupljenije GMHT biljke su soja, uljana repica, kukuruz i pamuk (Tabela 2).

*Tabela 2. - Površine pod transgenim biljkama tolerantnim prema herbicidima u svetu u periodu 1999-2003. godine (JAMES, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003)*

*Table 2. - Global area of transgenic herbicide-tolerant crops from 1999 to 2003 (JAMES, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003)*

Gajena biljka Crop	Milion hektara Million hectares				
	1999	2000	2001	2002	2003
Soja tolerantna prema herbicidima					
Herbicide-tolerant soybean	21,6	25,8	33,3	36,5	41,4
Jara uljana repica (canola) tolerantna prema herbicidima					
Herbicide-tolerant canola	3,5	2,8	2,7	3	3,6
Kukuruz tolerantan prema herbicidima					
Herbicide-tolerant maize	1,5	2,1	2,1	2,5	3,2
<i>Bt</i> */Kukuruz tolerantan prema herbicidima					
<i>Bt</i> /Herbicide-tolerant maize	2,1	1,4	1,8	2,2	3,2
Pamuk tolerantan prema herbicidima					
Herbicide-tolerant cotton	1,6	2,1	2,5	2,2	1,5
<i>Bt</i> /Pamuk tolerantan prema herbicidima					
<i>Bt</i> /Herbicide-tolerant cotton	0,8	1,7	2,4	2,2	2,6

\**Bt* - otporan prema insektima; insect resistance

Potencijalni i kratkoročno posmatrano nepredvidivi rizici od transgenih biljaka, objašnjavaju otpore i uzdržanost određenog dela svetske javnosti. Sa jedne strane, zemlje severne i južne Amerike ističu se kao svetski lideri u proizvodnji GMHT biljaka, dok je u Evropskoj Uniji njihova prihvatljivost i dalje neizvesna. Procenjuje se da bi i u Evropi GMHT biljke potvrdile brojne prednosti. U vezi sa ovim, PHIPPS I PARK (2002) procenjuju da bi se u slučaju gajenja GMHT kukuruza, soje, uljane repice i pamuka rezistentnog prema insektima, ukupna godišnja potrošnja pesticida u Evropskoj Uniji smanjila za 4,4 miliona kg. Takođe, zabeležilo bi se smanjenje tretiranih površina za 7,5 miliona hektara, ušteda oko 20,5 miliona litara dizel goriva i smanjenje emisije ugljen dioksida u atmosferu za oko 73 000 tona.

### EKONOMSKI NAJZNAČAJNIJE GENETIČKI MODIFIKOVANE BILJKE TOLERANTNE PREMA HERBICIDIMA I NJIHOV ZNAČAJ

Teoretski je moguće stvoriti tolerantne biljke prema svim herbicidima, međutim, komercijalnu primenu imaju ekonomski važnije biljne vrste i herbicidi povoljnih svojstava (glifosat, glufosinat amonijum, sulfoniluree, imidazolinoni, cikloheksandioni, bromoksinil, i dr.). Da bi se ukazalo na značaj i rizike koje donosi ova tehnologija, potrebno je analizirati svaki pojedinačan slučaj, odnosno gajenu biljku i herbicid na koji je ona tolerantna.

#### **Biljke tolerantne prema glifosatu**

Prve komercijalizovane biljke tolerantne prema glifosatu dobijene su unošenjem gena za izmenjen enzim 5-enolpiruvil-šikimat-3-fosfat sintetazu (EPSPS) koji učestvuje u biosintezi aromatičnih aminokiselina i predstavlja ključno mesto delovanja ovog herbicida. Gen za EPSPS sa manjim afinitetom prema glifosatu, izolovan je iz *Agrobacterium* sp., soj CP4. Korišćenjem ovog gena ostvarena je tolerantnost većine ekonomski značajnih biljnih vrsta (WELLS, 1995). Korišćenje principa detoksifikacije glifosata, omogućeno je unošenjem u biljke gena iz bakterije *Achromobacter* sp. soj LBAA, za sintezu enzima glifosat oksidoreduktaze (GOX). Ovaj enzim katališe cepanje C-N veze glifosata, do metabolita koji nemaju herbicidnu aktivnost (WELLS, 1995; PADGETTE *i sar.*, 1996). Soja tolerantna prema glifosatu (Roundup Ready Soybeans) predstavlja prema zasejanim površinama vodeću transgenu biljku u svetu. Komercijalna primena započeta je 1996. godine, a u 2003. godini je gajena na 41,4 miliona hektara, zauzimajući 61% od ukupne površine pod transgenim biljkama. U prvoj godini komercijalnog gajenja kukuruza tolerantnog prema glifosatu u SAD-u je zasejano oko 380 000 hektara (TALPIN, 1998). Pored soje i kukuruza, najveći ekonomski značaj imaju pamuk i uljana repica tolerantni prema glifosatu. Rezultati većeg broja ogleđa potvrđuju prednosti primene glifosata u biljkama sa izmenjenom tolerantnošću u poređenju sa standardnim hemijskim merama suzbijanja korova (MOLL, 1997).

### **Biljke tolerantne prema glufosinat-amonijumu**

Glufosinat-amonium je amino so aminokiseline fosfinotricin, koja je dobijena iz tripeptida bialafos (L-fosfonotricil-L-alanil-L-alanin). Mehanizam delovanja ovog herbicida je inhibicija enzima glutamin sintetaze, odgovornog za sintezu glutaminske kiseline (LEASON *i sar.*, 1982). Kao rezultat toga dolazi do narušavanja sinteze proteina, metabolizma azota, porasta koncentracije amonijaka u biljnoj ćeliji i fitotoksičnosti. Neke vrste roda *Streptomyces* proizvode tripeptid bialafos, a takođe i enzim koji štiti domaćina od štetnog efekta pomenutog sopstvenog metabolita. Iz *Streptomyces hygroscopicus* izolovan je tzv. BAR gen odgovoran za tolerantnost prema bialafosu. Takođe iz *S. viridichromogenes* izolovan je gen koji kodira sintezu fosfinotricin acetil transferaze (PAT gen) za detoksifikaciju fosfinotricina. Oba gena kodiraju enzim za detoksifikaciju glufosinat-amoniuma acetilacijom amino grupe, a prvi metabolit N-acetil-glufosinat nema herbicidnu aktivnost. Tolerantnost biljaka prema glufosinat-amonijumu ostvarena je korišćenjem BAR ili PAT gena (DE BLOCK *i sar.*, 1987; DONN *i sar.*, 1990 a,b). Na ovom principu stvoren je veći broj biljnih vrsta tolerantnih prema glufosinat-amonijumu, međutim u centru pažnje su uljana repica, kukuruz, soja i šećerna repa. U poređenju sa standardnim herbicidima u šećernoj repi, soji i jaroj uljanoj repici, primena glufosinat-amonijuma u većini slučajeva ostvarila je bolju efikasnost (RASCHE *i sar.*, 1995; RASCHE I GADSBY, 1997). Ispitivanjem mogućnosti suzbijanja korova u kukuruзу tolerantnom prema glufosinat-amonijumu u našim uslovima, primena glufosinat-amonijuma ostvarila je bolji ili efekat na nivou standardnih kombinacija herbicida u suzbijanju dominantnih korova (MALIDŽA, 2003).

### **Biljke tolerantne prema imidazolinonima i sulfonilureama**

Veći broj biljnih vrsta poseduje prirodnu tolerantnost prema mnogim inhibitorima acetolaktat sintetaze (ALS), zato što je njihov enzimatski sistem u mogućnosti da metaboliše ove herbicide pre prouzrokovanja značajnije inhibicije ciljanog enzima. Dobijanje tolerantnih biljaka prema imidazolinonima i sulfonilureama moguće je klasičnim metodama selekcije, induciranjem mutacija i direktnim transferom gena. Tolerantnost kukuruza prema imidazolinonima dobijena je korišćenjem dva metoda. Mutagenезom polena dobijeni su hibridi kukuruza (tzv. IT) sa izmenjenim ALS enzimom, a ovo svojstvo kontrolisano je jednim dominantnim genom (GREAVES *i sar.*, 1993). Za razliku od prethodnog principa, selekcijom u kulturi tkiva bez primene mutagenih supstanci, dobijen je kukuruz (tzv. IR) sa visokom tolerantnošću prema imidazolinonima i ukrštenom tolerantnošću prema sulfonilureama i triazolopirimidinima (STIEHL *i sar.*, 1996). Tolerantnost IT hibrida kukuruza u poljskim uslovima ispitivana je primenom imazetapira u količini do četvostruko veće od potrebne za suzbijanje korova, a negativan efekat na prinos nije registrovan (SHANER *i sar.*, 1996.). Komercijalnu primenu imaju i IT i IR hibridi kukuruza, sa tendencijom da se zbog lakšeg stvaranja novih hibrida, u potpunosti pređe na proizvodnju samo IT kukuruza. Razlike u tolerantnosti acetolaktat sintetaze između osetljivog i tolerantnog IT

hibrida kukuruza prema inhibiciji imazetapirom je 7 puta, dok je kod IR hibrida razlika 1000 puta. Ključni enzim kod IT hibrida kukuruza nije tolerantan prema hlorsulfuronu i flumetsulamu, dok kod IR kukuruza toleriše 200 do 2200 puta veće količine ovih herbicida od osetljivog hibrida (SIEHL *et al.*, 1996). Mutagenezom mikrospora dobijena je jara uljana repica (canola) tolerantna prema imidazolinonima, čime je otvoreno novo poglavlje u suzbijanju korova u ovoj biljnoj vrsti, a naročito korovskih vrsta iz porodice *Brassicaceae*. Pored navedenih primera, od većeg ekonomskog značaja ubraja se pšenica kod koje je mutagenezom semena ostvarena tolerantnost prema imidazolinonima (SHANER *i sar.*, 1996.). Od vodećih gajenih biljaka, suncokret tolerantan prema imidazolinonima omogućuje unapređenje suzbijanja korova kroz mogućnost primene herbicida širokog spektra delovanja posle nicanja useva i korova. Za oplemenjivanje suncokreta na tolerantnost prema imidazolinonima korišćen je divlji suncokret poreklom iz SAD-a, koji je razvio rezistentnost posle 7 godina uzastopne primene imazetapira (AL-KHATIB *i sar.*, 1998) i koji poseduje nekoliko desetina puta veću otpornost ključnog enzima prema imidazolinonima. Način nasleđivanja rezistentnosti je parcijalna dominacija (MILLER I AL-KHATIB, 2000; JOCIĆ *i sar.*, 2001) i potpuna tolerantnost se ostvaruje samo ako su obe komponente hibrida tolerantne i homozigotne za ovo svojstvo. Pored imazamoksa, ovaj suncokret je tolerantan još i prema imazetapiru i imazapiru, ali nije prema sulfonilurea herbicidima (MALIDŽA *i sar.*, 2000). Imazamoks u suncokretu tolerantnom prema imidazolinonima efikasan je u suzbijanju dominantnih jednogodišnjih širokolisnih i travnih korova (MALIDŽA *i sar.*, 2002, 2003). Selekcijom mutanata dobijen je veći broj biljaka tolerantnih prema sulfonilureama, (SEBASTIAN *i sar.*, 1989; DEKKER I DUKE, 1995). Najširu primenu ima soja tolerantna prema sulfonilureama (STS), koja je u 1992. godini registrovana samo na tržištu SAD-a. Biljke STS soje istovremeno su u stanju da metabolišu herbicid i poseduju povećanu tolerantnost acetolaktat sintetaze. Za suzbijanje korova kod STS soje mogu se koristiti povećane količine hlormuron-etila i tifensulfuron-metila (YOUNG, 1997). Aktivne materije ovih herbicida se primenjuju i kod konvencionalnog sistema suzbijanja korova u SAD-u, ali u manjim količinama zbog slabije selektivnosti. Prednost gajenja STS soje ogleda se u mogućnosti primene većih količina ovih herbicida uz povećanje efikasnosti. Prednosti sulfonilurea i imidazolinona su povoljne ekotoksikološke osobine, primena manjih količina i mogućnost zaštite od korova u dužem vremenskom periodu. Kao ograničavajući faktori za korišćenje biljaka tolerantnih prema imidazolinonima i sulfonilureama ističu se razvoj rezistentnih korova i problem ograničenja slobodne smene useva od strane pojedinih herbicida. Rezistentnost korova se brzo razvija, a potrebno je nekoliko godina jednostrane primene ovih herbicida. Kod *Lactuca serriola* rezistentnost je dobijena nakon 5 godina (MALLORY-SMITH *i sar.*, 1990), a *Helianthus annuus* nakon 7 godina jednostrane primene herbicida inhibitora ALS-e (AL-KHATIB *i sar.*, 1998).

### **Kukuruz tolerantan prema cikloksidimu i setoksidimu**

Herbicidi iz grupa ariloksifenoksipropionata i cikloheksandiona koriste se za suzbijanje jednogodišnjih i višegodišnjih uskolisnih korova u širokolisnim usevima. Mehanizam delovanja ovih herbicida je inhibicija enzima acetil koenzim A karboksilaze kod monokotiledonih biljnih vrsta. Tolerantnost kukuruza prema setoksidimu, cikloksidimu i haloksifopu dobijena je selekcijom mutanata u kulturi tkiva promenom osetljivosti ključnog mesta delovanja herbicida (MARSHALL *i sar.*, 1992; SOMERS, 1994). Način nasleđivanja ovog svojstva je parcijalna dominacija (PARKER *i sar.*, 1990). Komercijalnu primenu imaju hibridi kukuruza tolerantni prema setoksidimu u SAD-u (Poast Protected Maize), a uskoro se očekuje u Evropi registracija hibrida kukuruza tolerantnih prema cikloksidimu. Primenom herbicida u kukuruзу tolerantnom prema cikloksidimu, omogućuje se fleksibilnije i efikasnije suzbijanje *Sorghum halepense* iz rizoma i drugih travnih korova u kukuruзу (MALIDŽA, 2001).

### **Pamuk tolerantan prema bromoksinilu**

Tolerantnost pamuka prema bromoksinilu ostvarena je unošenjem gena iz bakterije *Klebsiella ozaenae*, koji kodira sintezu enzima bromoksinil specifične nitrilaze, odgovornog za detoksifikaciju bromoksinila (STALKER *i sar.*, 1988 i 1994, cit. DEKKER i DUKE, 1995). Prisustvo ovog gena obezbeđuje biljkama visoku tolerantnost prema bromoksinilu, tolerišući primenu i desetostruko veće količine ovog herbicida od praktične. Ovim konceptom ostvaren je značajan napredak kod suzbijanja širokolisnih korova u pamuku, jer su konvencionalne hemijske mere bile nedovoljne, a postojeći herbicidi su često prozrokovali fitotoksičnost.

## **PREDNOSTI GAJENJA GENETIČKI MODIFIKOVANIH BILJAKA TOLERANTNIH PREMA HERBICIDIMA**

Najveće prednosti obećavaju biljke tolerantne prema glifosatu i glufosinat-amonijumu, zahvaljujući širokom spektru delovanja ovih herbicida. Takođe, biljke tolerantne prema drugim herbicidima (imidazolinoni, sulfoniluree, cikloksidim), a kod kojih je tolerantnost unešena klasičnim metodama oplemenjivanja biljaka, donose takođe evidentan napredak. Posmatrano u celini mogu se istaći sledeće pogodnosti koje omogućuju GMHT biljke: jednostavnije i ekonomski povoljnije suzbijanje korova, efikasnije suzbijanje korova koji se ne mogu efikasno suzbiti herbicidima u konvencionalnoj proizvodnji gajenih biljaka, veća fleksibilnost u primeni herbicida, pogodnost za primenu herbicida posle nicanja uzimajući u obzir kritični period i prag štetnosti korova, mogućnost suzbijanja rezistentnih korova prema drugim herbicidima i parazitnih korova, potencijal za ostvarenje viših prinosa zbog povećane tolerantnosti gajene biljke prema herbicidima, smanjenje rizika za životnu sredinu kroz uvođenje u proizvodnju biljaka tolerantnih prema ekotoksikološki povoljnijim herbicidima, mogućnost uvođenja alternativnih sistema proizvodnje (no-till i dr).

### **Jednostavnije i ekonomski povoljnije suzbijanje korova**

Kao jedan od često naglašavani razlozi porasta površina pod pojedinim GMHT biljkama, pominju se pojednostavljenje suzbijanja korova i niža cena u odnosu na raspoložive alternativne mere suzbijanja korova. Korišćenjem jednog herbicida širokog spektra delovanja u GMHT biljkama, omogućuje se suzbijanje velikog broja korovskih vrsta, bez potrebe dodavanja herbicida za proširenje spektra delovanja. Primena samo jednog herbicida u soji, kukuruзу i šećernoj repi većini slučajeva daje bolji ili podjednak efekat kao primena kombinacija nekoliko herbicida u konvencionalnoj proizvodnji. U konvencionalnom sistemu proizvodnje šećerne repe neophodna je višekratna primena kombinacija nekoliko herbicida, a GMHT šećernoj repi isti ili bolji efekat dobija se primenom glifosata ili glufosinat-amonijuma. Pored pojednostavljenja suzbijanja korova, pruža se mogućnost za smanjenje cene koštanja suzbijanja korova, jer su kod soje, kukuruza i šećerne repe, cene preparata na bazi glifosata niže u poređenju sa cenama alternativnih sistema hemijskog suzbijanja korova. DEWAR *i sar.* (2000) ističu da troškovi suzbijanja korova u šećernoj repi u 1998. i 1999. godini u Velikoj Britaniji iznose u proseku 119 i 110£/ha, a cene preparata na bazi glifosata i glufosinat-amonijuma pri maksimalnoj količini za suzbijanje korova kreću se od 30-60£/ha. Iako je cena semena GMHT biljaka viša, njihovim uvođenjem pružaju se mogućnosti za ekonomski prihvatljivije suzbijanje korova u budućnosti. Povećanje površina pod sojom tolerantnom prema glifosatu u SAD-u, prouzrokovalo je značajno smanjenje cena herbicida za primenu u konvencionalnom sistemu suzbijanja korova (CARPENTER *i sar.*, 2002).

### **Efikasnije suzbijanje korova koji se ne mogu efikasno suzbiti herbicidima u konvencionalnoj proizvodnji gajenih biljaka**

Među osnovnim razlozima uvođenja GMHT biljaka su da se omogućiti odgovor na najnovije probleme u suzbijanju korova, kao što su rezistentnost korova prema dominantnim herbicidima i korovi koji pripadaju istoj porodici kao gajena biljka i na koje trenutno raspoloživi herbicidi nemaju zadovoljavajući efekat ili imaju slabiji efekat od herbicida koji mogu da se primene u GMHT biljkama. Uvođenjem GMHT biljaka ostvariće se napredak u suzbijanju velikog broja višegodišnjih korova i korova koji su po osobinama slične gajenoj biljci, a na koje su nedovoljno efikasni postojeći selektivni herbicidi u konvencionalnoj proizvodnji. DEWAR *i sar.* (2000) ističu značaj GM šećerne repe tolerantne prema glifosatu u kojoj je moguće efikasnije suzbijanje samonilog krompira i smanjenje brojnosti nematoda u narednim usevima uz manje troškove. MAY (2003) ističe da je u istom usevu jednostavnije suzbijanje *Cirsium arvense* i istovremeno ostalih korova uz niže troškove. U SAD-u je dokazano efikasno suzbijanje *Sorghum halepense*, *Asclepias syriaca* i drugih problematičnih korova u soji tolerantnoj prema glifosatu (CULPEPPER *i sar.*, 2000; PLINE *i sar.*, 2000). Postoji mnogo primera koja idu u prilog tezi da se u GMHT biljkama može ostvariti efikasnije suzbijanje problematičnih korova, kao na primer suzbijanje korova iz porodice *Brassicaceae* u uljanjoj repici (MERKER *i sar.*, 2004), *Xanthium strumarium* u



suncokretu posle nicanja (MALIDŽA *i sar.*, 2003), *Cynodon dactylon* u kukuruzu (MALIDŽA I BEKAVAC, 2001) i dr. Evidentno je da se u GMHT biljkama može se ostvariti efikasnije suzbijanje korova, a kao najbolji dokaz su površine na kojima se ove biljke trenutno gaje u svetu.

### **Veća fleksibilnost u primeni herbicida**

Povećana tolerantnost pojedinih GMHT biljaka prema herbicidima, omogućuje odlaganje vremena primene herbicida prema kojima imaju tolerantnost i u kasnijim fazama razvoja gajene biljke (glifosat, setoksidim, cikloksidim, glufosinat-amonijum). Na primer, glifosat u kukuruzu tolerantnom prema ovom herbicidu, može se primeniti najkasnije od svih raspoloživih herbicida (CARPENTER *i sar.*, 2002). Kada je u pitanju vreme primene herbicida i faza porasta useva i korova, fleksibilnost primene glifosata i glufosinat-amonijuma u GMHT šećernoj repi daje značajnu prednost u odnosu na ostale herbicide u ovom usevu (DEWAR *i sar.*, 2000).

### **Pogodnost za primenu herbicida posle nicanja uzimajući u obzir kritični period i prag štetnosti korova**

Primena herbicida u GMHT biljkama je veoma fleksibilna kada je u pitanju faza porasta useva, a herbicidi će se primenjivati posle nicanja samo u slučajevima kada je ekonomski opravdana njihova primena. Iako se ovo pravilo odnosi i na primenu konvencionalnih herbicida, posebnu pogodnost za implementaciju ove strategije pružaju pojedine GMHT biljke, jer je kod njih moguća primena herbicida u kasnijim fazama porasta useva i korova (HURLE, 1998; MARTIN *i sar.*, 2001).

### **Dodatna mogućnost suzbijanja rezistentnih korova prema drugim herbicidima**

Dominantni herbicidi u vodećim gajenim biljnim vrstama su predstavnici grupa triazina, hloracetamida, karbamida, sulfonilurea, imidazolinona, ariloksifenoksipropionata, cikloheksandiona, a prema kojima je registrovano u svetu veliki broj rezistentnih biotipova korova (HEAP, 2004). Glifosat i glufosinat-amonijum se u prošlosti nisu koristili na značajnijim površinama u proizvodnji ratarskih biljaka, što ukazuje da mogu da budu vredan dodatni alat za suzbijanje rezistentnih korova prema drugim herbicidima. U kukuruzu i soji značajno je učešće sulfonilurea herbicida, čime se uvođenje GMHT biljaka uz primenu herbicida na koje su ove biljke tolerantne, omogućuje usporavanje razvoja rezistentnih korova na ranije intenzivnije primenjivane herbicide. Ilustrativan primer je mogućnost suzbijanja *Helianthus annuus* rezistentnog prema inhibitorima acetolaktat sintetaze. Poznato je da u soji dominiraju herbicidi prema kojima je ovaj korov razvio rezistentnost u nekoliko država SAD-a, a glifosat ga efikasnije suzbija u odnosu na sve alternativne herbicide u soji tolerantnoj prema glifosatu (ALLEN *i sar.*, 2001).

### **Potencijal za ostvarenje viših prinosa zbog povećane tolerantnosti gajene biljke prema herbicidima**

Herbicidi u GMHT biljkama i stresnim uslovima spoljne sredine, ne izazivaju značajnije negativno dejstvo kao što je to čest slučaj sa mnogim herbicidima u konvencionalnoj proizvodnji (BURNSIDE, 1996). U slučaju biljaka tolerantnih prema herbicidima iz grupa imidazolinona i sulfonilurea, smanjuje se rizik od produženih negativnog efekta perzistentnijih predstavnika ovih grupa na naredne biljke u plodosemeni (primer uljane repice, kukuruza i suncokreta tolerantnih prema imidazolinonima, soje tolerantne prema sulfonilureama i dr.).

### **Mogućnost suzbijanja parazitnih korova**

Parazitni korovi iz rodova *Orobanche* i *Striga* prisutni su na preko 100 miliona hektara u afričkim i mediteranskim zemljama, ograničavajući proizvodnju većeg broja osetljivih gajenih biljaka (GRESSEL, 2000). Uvođenjem pojedinih HT biljaka i korišćenjem glifosata i inhibitora acetolaktat sintetaze, mogu se značajno umanjiti negativni efekti pomenutih parazitnih korova (GRESSEL, 1996). Preko 100 miliona farmera u Africi prosečno gubi polovinu od ukupne proizvodnje kukuruza od vrsta iz roda *Striga* (BERNER *i sar.*, 1995). Gajenjem kukuruza tolerantnog prema imidazolinonima i tretiranjem semena imazapirom, potvrđena je mogućnost suzbijanja parazitnih korova *Striga hermonthica* i *S. asiatica* i povećanje prinosa zma za 3-4 puta (ABAYO *i sar.*, 1998; KANAMPIU *i sar.*, 2003). Takođe, uvođenjem u proizvodnju suncokreta tolerantnog prema imidazolinonima, omogućiće se suzbijanje *Orobanche cernua*. U poljskim ogledima je potvrđena mogućnost istovremenog suzbijanja ovog parazitnog korova i dominantnih korova u suncokretu tolerantnom prema imidazolinonima (MALIĐŽA *i sar.*, 2003).

### **Manji rizik za životnu sredinu uvođenjem u proizvodnju biljaka tolerantnih prema ekotoksikološki povoljnijim herbicidima**

Glifosat, glufosinat-amonijum, imidazolinoni, sulfoniluree i cikloheksandioni, imaju povoljne ekotoksikološke osobine, čime će se uz prethodno pomenute pozitivne osobine, njihova primena reflektovati na manji rizik po životnu sredinu. Prema proračunima WAUCHOPE *i sar.* (2001), zamenom atrazina i alahlora, sa glifosatom i glufosinat-amonijumom uvođenjem genetički modifikovanog kukuruza prema ovim herbicidima, može značajno da se smanji rizik od kontaminacije podzemnih voda. Zbog povoljnih osobina i manjih količina primene glifosata i glufosinat-amonijuma, u dublje slojeve zemljišta ispira se samo petina do desetina od koncentracije alahlora i atrazina.

### **Mogućnost uvođenja alternativnih sistema proizvodnje**

U težnji za ekonomski najprihvatljivijim sistemom proizvodnje, poljoprivredni proizvođači u Severnoj Americi su masovno prihvatili pojedine GMHT biljke, ističući njihovu pogodnost u unapređenju no-till sistema proizvodnje. Trend povećanja površina sa no-till sistemom proizvodnje zabeležen je u SAD-u od početka uvođenja soje tolerantne prema glifosatu. Gajenjem soje

tolerantne prema glifosatu u no-till sistemu proizvodnje, omogućuje se efikasnije suzbijanje korova u samom usevu, u kome je pre uvođenja soje tolerantne prema ovom herbicidu, glifosat korišćen pre setve i nicanja useva u cilju suzbijanja prisutnih korova. U no-till sistemu proizvodnje, kukuruz tolerantan prema glifosatu i glufosinat-amonijumu ne isključuje primenu drugih herbicida, a rezultati pokazuju da se najbolji rezultati postižu kombinovanjem glifosata i zemljišnih herbicida pre setve, uz naknadnu primenu herbicida posle nicanja (HELWIG *i sar.*, 2003). Pored no-till sistema postoji težnja ka proizvodnji soje uz povećan broj biljaka po jedinici površine. Pri ovakvom gajenju soje tolerantne prema glifosatu, potreban je manji broj tretmana herbicidima zbog drugačijih uslova za razvoj korova (NORSWORTHY I OLIVER, 2001; REDDY, 2003). Takođe, uvođenjem pojedinih GMHT biljaka omogućiće se primena herbicida u gajenju združenih useva koji poseduju tolerantnost prema istom herbicidu, kao na primer pasulj i kukuruz tolerantan prema cikloksidimu.

#### POTENCIJALNI RIZICI VEZANI ZA GENETIČKI MODIFIKOVANE BILJKE TOLERANTNE PREMA HERBICIDIMA

Brojne prednosti GMHT biljaka su očigledne, a odobravanje njihovog gajenja ne znači da ne postoji nikakav rizik, već da je rizik prihvatljiv. Povećanje zavisnosti poljoprivrednih proizvođača od herbicida je ozbiljan razlog za zabrinutost, jer će se ostale mere potisnuti u drugi plan ili će se u potpunosti izostavljati. Takođe, pretpostavlja se da će razvoj novih konvencionalnih herbicida i ostalih mera za suzbijanje korova biti usporen ili zapostavljen. Najveći strah kod GMHT biljaka vezan je za mogućnost transfera gena u divlje srodnike i razvoj rezistentnih korova. Zbog genetičke varijabilnosti useva i korova i hemijske varijabilnosti herbicida, ne možemo uopšteno generalizovati rizike. Kao i u prethodnim slučajevima, potrebno je kod potencijalnih rizika posmatrati pojedinačno svaki slučaj (biljku, herbicid, divlje srodnike i dr.). Takođe, u pojedinačnim slučajevima potrebno je uzeti u obzir 1) Koja je prednost u proizvodnji svake pojedinačne biljke sa dodatnim svojstvom tolerantnosti prema određenom herbicidu? 2) Koja je verovatnoća i koje su posledice transfera gena odgovornog za rezistentnost u korove i divlje srodnike? 3) Koja je verovatnoća i koje su posledice da samonikla biljka bude problem u agroekosistemu ili nov korov na ruderalnim staništima (GRESSEL I ROTTEVEEL, 2000). Prethodni autori ističu da izvor gena za tolerantnost prema herbicidu nema značaja kada je u pitanju procena pomenutih rizika, odnosno da li je tolerantnost nastala korišćenjem mutacija u okviru gajene biljke ili je gen poreklom iz drugog organizma. Za razmatranje rizika od strane drugih interesnih grupa i prihvatljivosti od strane proizvođača i konzumera, izvor gena i način dobijanja biljaka tolerantnih prema herbicidima za sada ima velikog značaja. Postoji zabrinutost da transferom gena odgovornih za tolerantnost prema herbicidima, korovi mogu dobiti dodatno svojstvo koje im može povećati sposobnost za preživljavanjem i adaptabilnost na poljoprivrednim i nepoljoprivrednim površinama. Takođe, postoji mišljenje da

pojedine biljke sa dodatnim svojstvom mogu poprimiti osobine invazivnih vrsta. Ipak, ovo bi se pre moglo odnositi na gene odgovorne za rezistentnost prema insektima ili prouzročivačima bolesti.

### **Razvoj rezistentnih biotipova korova kao rezultat povećanja površina gajenja GMHT biljaka i intenzivnije primene manjeg broja herbicida na većim površinama**

Rezistentnost korova prema herbicidima je genetički fenomen, primer ubrzane evolucije korova i snage nagona za preživljavanjem. Ovaj proces ima veoma dugu genezu i pre uvođenja genetički modifikovanih biljaka tolerantnih prema herbicidima. Trend povećanja površina sa GMHT biljkama i primene nekoliko herbicida širokog spektra delovanja na većim površinama, ukazuju na mogućnost ubrzanog razvoja rezistentnih biotipova korova prema dominantnim herbicidima. Do sada je u svetu prema herbicidima registrovano 286 rezistentnih biotipova kod 171 korovke vrste (HEAP, 2004). Podaci o registrovanim biotipovima rezistentnih prema glifosatu kod 6 korovskih vrsta (HEAP, 2004) mogu biti zabrinjavajući kada je u pitanju budući status biljaka tolerantnih prema ovom herbicidu. *Lolium rigidum* i *Eleusine indica* razvili su rezistentnost prema glifosatu pre uvođenja GMHT biljaka (POWLES *et al.*, 1998). Prvi rezistentan biotip *Conyza canadensis* registrovan je u SAD-u posle trogodišnje primene glifosata u soji (VANGESSEL, 2001). Razvoj rezistentnih biotipova korova može se značajno sprečiti ili odložiti primenom kombinacija herbicida različitog mehanizma delovanja (DIGGLE *i sar.*, 2003). Prema istim autorima, ovaj strategija ima veći značaj od rotacije herbicida različitog mehanizma delovanja. Frekventnija pojava rezistentnih biotipova korova u poslednjih nekoliko godina, predstavlja ozbiljnu pretnju pojedinim GMHT biljkama i ukazuje da je njihova upotreba održiva u dužem vremenskom periodu, samo kao deo integralnog sistema suzbijanja korova (KNEŽEVIĆ I CASSMAN, 2003).

### **Transfer gena iz GMHT u divlje srodnike i korove**

Rezistentnost korova uglavnom nastaje kao rezultat selekcije unutar određene populacije korova u uslovima višekratne primene istog herbicida, a transfer gena iz gajene biljke tolerantne prema određenom herbicidu u srodnike se navodi kao dodatna mogućnost. Protivnici GMHT biljaka najčešće su isticali ovaj rizik, koji ima osnova u pojedinačnim slučajevima i u centrima porekla gajenih biljaka. U slučaju kukuruza, rizik postoji u centralnoj Americi, a u ostalim regionima nema značaja. Transfer gena je moguć samo između seksualno kompatibilnih biljnih vrsta. Prema KEELER *i sar.* (1996) od 60 gajenih vrsta u svetu, samo 11 nema divlje srodnike. Za dvanaest od trinaest vodećih gajenih biljnih vrsta, dokazana je prirodna hibridizacija sa divljim srodnicima (ELLSTRAND *i sar.*, 1999, cit. WOLFENBARGER I PHIFER, 2000). Gajenjem GMHT biljaka povećava se mogućnost ukrštanja sa kompatibilnim vrstama, čime ove druge mogu povećati svoju adaptabilnost u poljoprivrednom i nepoljoprivrednom ekosistemu. U većini slučajeva gajene biljke u spoljnoj sredini ne mogu da opstanu bez pomoći

čoveka, međutim postoje razlike u sposobnosti za preživljavanje između vrsta. Biljke tolerantne prema određenim herbicidima su podjednako adaptabilne kao i biljke bez svojstva tolerantnosti prema herbicidima, a u ekosistemima gde se ne primenjuju herbicidi nemaju prednosti nad ostalim biljkama (THILL, 1996). Takođe, navodi se da kao rezultat transfera gena, divlji srodnik gajene biljke može poprimiti osobine invazione vrste. Gajene biljke tolerantne prema herbicidima ne poseduju izraženije osobine invazivnih vrsta u odnosu na njihove netransgene forme i divlje srodnike. Procenjuje se da direktan i indirektan efekat invazivnih biljnih vrsta i njihovo suzbijanje, koštaju samo Sjedinjene Američke Države oko 137 milijardi dolara godišnje (PIMENTEL *i sar.*, 2000, cit. WOLFENBARGER I PHIFER, 2000). Gajeni suncokret tolerantan prema imidazolinonima se od 2003. godine gaji u SAD-u. Mogućnost transfera gena odgovornog za rezistentnost suncokreta prema imidazolinonima u divlji suncokret potvrdili su MASSINGA *i sar.* (2003). Divlji suncokret (*Helianthus annuus*) poslužio je kao donor gena za tolerantnost prema imidazolinonima u oplemenjivanju gajenog suncokreta, a ovde je samo potvrđena mogućnost spontanog transfera gena u suprotnom pravcu. Takođe, gen za tolerantnost pšenice prema imidazolinonima (Clearfield pšenice) može se preneti u korov *Aegilops cylindrica* hibridizacijom u prirodnim uslovima (SNYDER *i sar.*, 2000; WANG *i sar.*, 2001; ANDERSON *i sar.*, 2004). HANSON *i sar.* (2002) ukazuju da se rezistentnost prethodnog korova u monokulturi pšenice tolerantne prema imidazolinonima, razvija za manje od 10 godina bez hibridizacije sa pšenicom, a znatno kraće uz hibridizaciju sa pšenicom.

### **Genetički modifikovane biljke tolerantne prema herbicidima kao samonikle biljke u narednim usevima**

Često se za ovaj fenomen emocionalno koristi termin "superkorov", kako bi se od strane isključivih protivnika naglasio potencijalni rizik vezan za ovu tehnologiju. Gajene biljke kao korovi u narednim usevima nisu nov problem, jer je vezan za svaki novi herbicid koji se uvodi u sistem biljne proizvodnje. U početku gajenja uljane repice tolerantne prema glifosatu, glufosinat-amonijumu i imidazolinonima, dobijeni su ohrabrujući rezultati u suzbijanju samoniklih gajenih biljaka u narednim usevima. Međutim, u Alberti (Kanada) spontanom ukrštanjem, nastala je jara uljana repica (*Brassica napus*) koja je bila istovremno rezistentna prema glifosatu, glufosinat-amonijumu i imidazolinonima (HALL *i sar.*, 2000). Ovaj primer ukazuje na rizike koji mogu nastati sa objedinjavanjem rezistentnosti prema nekoliko herbicida kod kompatibilnih stranooplodnih biljaka i koje mogu predstavljati ozbiljan problem kao samonikle u narednim usevima. U prethodnom slučaju preporučuju se integralne mere, uključujući smenu useva i herbicida, kombinacije herbicida i drugih mera, u cilju sprečavanja dalje pojave i negativnog efekta samoniklih biljaka *B. napus* sa višestrukom rezistentnošću prema herbicidima.

### **Povećanje rizika od oštećenja neciljanih biljaka primenom herbicida širokog spektra delovanja**

Značajnijim gajenjem GMHT biljaka povećavaju se rizici od pogrešne primene herbicida na biljkama koje nisu tolerantne prema određenom herbicidu i štete od drifta rastvora herbicida na osetljive biljke. štete na usevima u slučaju pogrešne primene herbicida (primena herbicida prema kome biljka ne poseduje tolerantnost) će biti prisutna pojava, ali razloge za ovo ne treba tražiti u povećanju površina gajenja genetički modifikovanih biljaka tolerantnih prema herbicidima. Drift herbicida na neciljane biljke je konstantno prisutan, a optimalizacijom količine vode za primenu herbicida, rizik se može svesti na minimum (ELLIS *i sar.*, 2002).

### **Potencijalni uticaj na biodiverzitet**

GMHT biljke se navode kao ozbiljna pretnja biodiverzitetu. Značajnije gajenje ovih biljaka može uticati na promene raznovrsnosti agroekosistema, gde je prisutna intenzivna i jednostrana primena pojedinih agrotehničkih mera. U Velikoj Britaniji su vršena ispitivanja veze između gajenja genetički modifikovane šećerne repe tolerantne prema glifosatu i brojnosti ptica, odnosno vrste *Alauda arvensis*. Predviđa se da dalje smanjenje brojnosti ove vrste može biti u vezi sa boljim suzbijanjem *Chenopodium album* u GMHT šećernoj repi, a čije seme je značajan izvor hrane ove vrste (WATKINSON *i sar.*, 2000; DEWAR *i sar.*, 2002, 2003). Soja tolerantna prema glifosatu se 2003. godine u Argentini gajila na 98% površine od 13 miliona hektara (JAMES, 2003). Značajnije gajenje soje tolerantne prema glifosatu u Argentini, prouzrokovalo je pad cena glifosata (3 dolara po litri preparata), što je uticalo na njegovu značajniju primenu ne samo u soji, već i na nepoljoprivrednim površinama. Prekomernom i višekratnom primenom (čak do 16 l/ha/godini) rezultiralo je potpunim odsustvom korovskih biljaka oko polja i u usevu soje, kao i na površinama koje su tretirane glifosatom, a privremeno se ne koriste za biljnu proizvodnju. U 2000. godini u Argentini, preko 100 miliona litara preparata na bazi glifosata je primenjeno za ove namene. Pretpostavlja se da je biodiverzitet značajnije ugrožen ukupnom prekomernom primenom glifosata na većim površinama, nego od strane genetički modifikovane soje tolerantne prema glifosatu (LEGUAIZAMON, 2001).

### **Izmena korovske flore**

Poljoprivredni proizvođači u suzbijanju korova kreiraju sopstvene sisteme i koriste mere koje po njihovim kriterijumima daju trenutno „najbolje” rezultate. Korovi se adaptiraju na svaki sistem proizvodnje, a dobra poljoprivredna praksa može odložiti razvoj negativnih pojava i gubitak prednosti novih tehnologija. Ukoliko se GMHT biljke ne koriste kao deo sistema integralnih mera u suzbijanju korova, najčešći scenario je promena sastava korovske flore i razvoj rezistentnih biotipova korova (KNEZEVIC I CASSMAN, 2003). Najoptimalnije je ostvariti koegzistenciju GMHT biljaka, herbicida na koje su tolerantne, kao i ostalih herbicida i mera u suzbijanju korova. Iako se kod pojedinih trenutno komercijalizovanih GMHT biljaka u svetu primenjuju herbicidi širokog spektra

delovanja (glifosat, glufosinat-amonijum) izmena korovske flore je moguća kroz favorizovanje prirodno otpornijih korova prema ovim herbicidima i povećanjem njihovog učešća (VANGESSEL, 2001). Postoji opravdan rizik da se uvođenjem pojedinih biljaka poljoprivredni proizvođači oslone prvenstveno na herbicide, a da se zapostave pojedine konvencionalne mere suzbijanja korova.

### PERSPEKTIVE

Genetički modifikovane biljke tolerantne prema herbicidima poljoprivrednim proizvođačima predstavljaju dodatnu opciju u suzbijanju korova, koju će moći da uključe i pravilno koriste jedino u sistemu integralnog suzbijanja korova. Veoma je važno obezbediti poljoprivrednim proizvođačima informacije o potencijalnim rizicima, kako bi se prednosti ove tehnologije mogle koristiti u dužem periodu i bez značajnih posledica po životnu sredinu. Rapidan porast površina pod genetički modifikovanim biljkama tolerantnim prema herbicidima u svetu, nagoveštavaju u skorijoj budućnosti promene i u Evropi (AGROW, 2003; Tabela 4).

*Tabela 4. - Prognoza zastupljenosti GMHT biljaka u Evropskoj Uniji do 2013. godine (AGROW, 2003)*

*Table 4. - Forecast of GMHT crops participation in European Union to 2013 (AGROW, 2003)*

Gajena biljka Crop	Prva godina gajenja First year of production	% površine pod pojedinačnom gajenom biljkom 2008. godine % of area planted to a particular crop in 2008	% površine pod pojedinačnom gajenom biljkom 2013. godine % of area planted to a particular crop in 2013
Kukuruz Maize	2005-2007	10	35-45
Uljana repica Oilseed rape	2006-2008	0-5	20-30
Soja Soybean	2007-2009	0-10	30-40
šećerna repa Sugar beet	2006-2008	5-10	40-50
Pšenica Wheat	2008-2011	0	15-25
Pirinač Rice	2007-2009	0-5	30-40
Pamuk Cotton	2006-2008	5-10	40-50

U Srbiji je dozvoljeno korišćenje transgenih biljaka u naučne svrhe, a dalji status zavisice od statusa ovih biljaka u Evropskoj Uniji. Biljke kod kojih su korišćene konvencionalne metode oplemenjivanja nemaju restrikcije kao

transgene biljke. Bez obzira na budući status GMHT biljaka, pre njihovog uvođenja u proizvodnju, potrebno je značajnije učešće naučnih radnika koji se bave ispitivanjem korova i herbicida. Posebne aktivnosti trebale bi da se odnose na ispitivanje pozitivnih efekata GMHT biljaka i procena rizika sa herbološkog aspekta, uz edukaciju proizvođača na implementaciji sistema integralnog suzbijanja korova uz uvođenje GMHT biljaka. Zbog nepredvidivih efekata u kratkom vremenskom periodu, predlaže se postregistracioni monitoring GMHT biljaka, kako bi se eventualne negativne pojave u vezi ovih biljaka na vreme registrovale (PETERSEN I HURLE, 1998).

#### LITERATURA

- ABAYO, G. O., ENGLISH, T., EPLEE, R. E., KANAMPIU, F. K., RANSOM, J. K., GRESSEL, J. (1998): Control of parasitic witchweeds (*Striga* spp) on corn (*Zea mays* L) resistant to acetolactate synthase inhibitors. *Weed Science*, 46: 459-466.
- AGROW (2003): GM crops growth after EU ban. Agrow, March 28th, PJB Publications, 421: 12.
- AL-KHATIB, K., BAUMGARTNER, J. R., PETERSON, D. E., CURRIE, R. S. (1998): Imazethapyr resistance in common sunflower (*Helianthus annuus*). *Weed Science*, 46: 403-407.
- ALLEN, J. R., JOHNSON, W. G., SMEDA, R. J., WIEBOLD, W. J., MASSEY, R. E. (2001): Management of Acetolactate Synthase (ALS)-Resistant Common Sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 15, 3: 571-575.
- ANDERSON, J. A., MATTHIESEN, L., HEGSTAD, J. (2004): Resistance to an imidazolinone herbicide is conferred by a gene on chromosome 6DL in the wheat line cv. 9804. *Weed Science*, 52, 1: 83-90.
- BERNER, D. K., KLING, B. B., SINGH, B. B. (1995): Striga research and control: a perspective from Africa. *Plant Disease*, 79: 652-660.
- BURNSIDE, O. C. (1996): An agriculturalists viewpoint of risks and benefits of herbicide-resistant cultivars. In: *Herbicide Resistant Crops*, edited by Duke, S.O., CRC Press, Inc., 391-406.
- CARPENTER, J., FELSOT, A., GOODE, T., HAMMIG, M., ONSTAD, D., SANKULA, S. (2002): Comparative environmental impacts of biotechnology-derived and traditional soybean, corn and cotton crops. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa.
- CULPEPPER, A. S., YORK, A. C., BATTS, R. B., JENNINGS, K. M. (2000): Weed Management in Glufosinate- and Glyphosate-Resistant Soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 14, 1: 77-88.
- CURRAN, W. S., KNAKE, E. L., LIEBL, R. A. (1991): Corn (*Zea mays*) injury following use of clomazone, chlorimuron, imazaquin and imazethapyr. *Weed Technology*, 5: 539
- DE BLOCK, M., BOTTERMANN, J., VANDEWIELE, M., DOCKX, T., THOEN, C., GOSSELE, V., MOVA, N. R., THOMPSON, C., VAN MONTAGU, M., LEEMANS, J. (1987): Engineering herbicide resistance in plants by expression of a detoxifying enzyme. *EMBO Journal*, 6: 2513-2518.
- DEKKER, J., DUKE, S. O. (1995): Herbicide-Resistant Crops. *Advances in Agronomy*, 54: 69-116.
- DEWAR, A. M., MAY, M., WOIWOD, I., HAYLOCK, L., CHAMPION, G., GARNER, B. H., SANDS, R. J. N., QI, A., PIDGEON, J. (2003). A novel approach to the use of genetically modified herbicide tolerant crops for environmental benefit. *Proceedings of The Royal Society B*, 270: 335-340.
- DEWAR, A. M., MAY, M., PIDGEON, J. D. (2002) Management of GM herbicide-tolerant sugar beet for potential environmental benefit to farmland birds. In *IACR Annual Report 2001-2002*. Bolton, S., eds, 44-47.
- DEWAR, A. M., HAYLOCK, L. A., MAY, M. J., BEANE, J., PERRY, R. N. (2000): Glyphosate applied to genetically modified herbicide tolerant sugar beet and 'volunteer' potatoes reduces populations of potato cyst nematodes and the number and size of daughter tubers. *Annals of Applied Biology* 136: 179-187.
- DEWAR, A., MAY, M., PIDGEON, J. D. (2000). GM sugar beet - the present situation. *British Sugar Beet Review*, 68, 2: 22-27.



- DIGGLE, A. J., NEVE, P. B., SMITH, F. P. (2003): Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. *Weed Research*, 43: 371-382.
- DONN, G., DIRKS, R., ECKES, P., UIJTEWAAL, B. (1990a): Transfer and expression of modified phosphinothricin-acetyltransferase gene from *Streptomyces viridochromogenes* in tomato, melon, carrot and strawberry. In: Abstract VII International Congress of Plant Tissue and Cell Culture, Amsterdam, 176.
- DONN, G., NILGES, M., MOROCZ, S. (1990b): Stable transformation of maize with a chimaeric modified phosphinothricin-acetyltransferase gene from *Streptomyces viridochromogenes*. In: Abstract VII International Congress of Plant Tissue and Cell Culture, Amsterdam, 53.
- DYER, W. E. (1996): Techniques for producing herbicide-resistant crops. In: *Herbicide Resistant Crops*, edited by Duke, S.O., CRC Press, Inc., 37-51.
- ELLIS, J.M., GRIFFIN, J. L., JONES, C. A. (2002): Effect of Carrier Volume on Corn (*Zea mays*) and Soybean (*Glycine max*) Response to Simulated Drift of Glyphosate and Glufosinate. *Weed Technology*, 16, 3: 587-592.
- GREAVES, J. A., RUFENER, G. K., CHANG, M. T., KOEHLER, P. H. (1993): Development of resistance to Pursuete herbicide in corn - The IT gene. Proc. of the 48th Annual Corn and Sorghum Industry Research Conference, Chicago, 9-10 Dec., 104-118.
- GRESSEL, J. (1996): The potential roles for herbicide-resistant crops in world agriculture. In: *Herbicide Resistant Crops*, edited by Duke, S.O., CRC Press, Inc., 231-250.
- GRESSEL, J., ROTTEVEEL, T. (2000): Genetic and ecological risks from biotechnologically derived herbicide-resistant crops: Decision trees for risk assessment. *Plant Breeding Reviews*, 18: 251-303.
- HALL, L., TOPINKA, K., HUFFMAN, J., DAVIS, L., GOOD, A. (2000): Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Science*, 48: 688-694.
- HANSON, D. E., BALL, D. A., MALLORY-SMITH, C. A. (2002): Herbicide Resistance in Jointed Goatgrass (*Aegilops cylindrica*): Simulated Responses to Agronomic Practices. *Weed Technology*, 16, 1: 156-163.
- HEAP, I. M. (2004): International survey of herbicide resistant weeds. Online Internet. Accessed on 10 April 2004. Available: [www.weedscience.com](http://www.weedscience.com).
- HELLWIG, K. B., JOHNSON, W. G., MASSEY, R. E. (2003): Weed Management and Economic Returns in No-Tillage Herbicide-Resistant Corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 17, 2: 239-248.
- HURLE, K. (1998): Present and future developments in weed control - A view from weed science. *Pflanzenschutz - Nachrichten Bayer* 51, 2: 109-128.
- JAMES, C. (1999): Preview: Global review of commercialized transgenic crops: 1999. ISAAA Briefs, Briefs No. 12, ISAAA, Ithaca, NY.
- JAMES, C. (2000): Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2000. ISAAA Briefs No. 21, ISAAA: Ithaca, NY.
- JAMES, C. (2001): Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2001. ISAAA Briefs No. 24, ISAAA: Ithaca, NY.
- JAMES, C. (2002): Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2002. ISAAA Briefs No. 27, ISAAA: Ithaca, NY.
- JAMES, C. (2003): Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003. ISAAA Briefs No. 30, ISAAA: Ithaca, NY.
- JOCIĆ, S., ŠKORIĆ, D., MALIDŽA, G. (2001): Oplemenjivanje suncokreta na otpornost prema herbicidima. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 35: 223-233
- KANAMPIU, F. K., KABAMBE, V., MASSAWE, C., JASI, L., FRIESEN, D., RANSOM, J. K., GRESSEL, J. (2003): Multi-site, multi-season field tests demonstrate that herbicide seed-coating herbicide-resistance maize controls *Striga* spp. and increases yields in several African countries. *Crop Protection*, 22: 697-706.
- KEELER, K. H., TURNER, C. E., BOLICK, M. R. (1996): Movement of crop transgenes into wild plants. In: *Herbicide resistant crops: Agricultural, environmental, economic, regulatory, and technical aspects*, S.O. Duke (ed.), CRC Press, 303-330.
- KNEZEVIC, S., CASSMAN, K. G. (2003): Use of herbicide-tolerant crops as a component of an integrated weed management program. Online, *Crop Management*, doi:10.1094/CM-2003-0317-01-MG.

- LEASON, M., CUNLIFFE, D., PARKIN, D., LEA, P. J., MIFLIN, B. (1982): Inhibition of pea leaf glutamine synthetase by metioninsulfoximine, phosphinothricin and other glutamate analogs. *Journal of Phytochemistry*, 21: 855-857.
- LEGUIZAMON, E. (2001): Transgenic plants in Argentina: present status and implications. *AgBiotechNet*, 3: 1-4.
- MALIDŽA, G., ŠKORIĆ, D., JOCIĆ, S. (2000): Imidazolinone-resistant sunflower (*Helianthus annuus*): Inheritance of resistance and response towards selected sulfonylurea herbicides. *Proceedings of 15<sup>th</sup> International Sunflower Conference, Toulouse-France*, 42-47.
- MALIDŽA, G., BEKAVAC, G. (2001): Suzbijanje korova u transgenom kukuruzu tolerantnom prema glufosinat-amonijumu i glifosatu. Prvi međunarodni simpozijum Hrana u 21. veku, Subotica, Zbornik rezeima, 193.
- MALIDŽA, G. (2001): Suzbijanje korova u kukuruzu. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad*, 71-82.
- MALIDŽA, G., JOCIĆ, S., ŠKORIĆ, D., ORBOVIĆ, B. (2002): Novije mogućnosti suzbijanja korova u suncokretu. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 36: 189-205.
- MALIDŽA, G. (2003): Suzbijanje korova u kukuruzu tolerantnom prema glufosinat-amonijumu. *Acta herbológica*, 12, 1-2: 67-76.
- MALIDŽA, G., JOCIĆ, ŠKORIĆ, D. (2003): Weed and broomrape (*Orobancha cernua*) control in Clearfield sunflower. *Proceedings of 7<sup>th</sup> Mediterranean Symposium, Adana, Turkey*, 51-52.
- MALLORY-SMITH, C. A. THILL, D. C., DIAL, M. J. (1990): Development of sulfonylurea resistant lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Weed Sci. Soc. Am. Abstr.*, 30: 65.
- MARSHALL, L.-C., SOMERS, D.A., DOTRAY, P.D., GENGENBACH, B.G., WYSE, D.L., GRONWALD, J.W. (1992): Allelic mutations in acetyl-coenzyme A carboxylase confer herbicide tolerance in maize. *Theoretical and Applied Genetics*, 83: 435
- MARTIN, S. G., VAN ACKER, R. C., FRIESEN, L. F. (2001): Critical period of weed control in spring canola. *Weed Science*, 49, 3: 326-333.
- MASSINGA, R. A., AL-KHATIB, K., AMAND, P., MILLER, J. F. (2003): Gene flow from imidazolinone-resistant domesticated sunflower to wild relatives. *Weed Science*, 51, 6: 854-862.
- MAY, M. J. (2003): Economic consequences for UK farmers of growing GM herbicide tolerant sugar beet. *Annals of Applied Biology*, 142: 41-48.
- MERKER, U., RATHKE, G. W., SCHUSTER, C., WARNSTORFF, K., DIEPENBROCK, W. (2004): Use of glufosinate-ammonium to control cruciferous weed species in glufosinate-resistant winter oilseed rape. *Field Crops Research*, 85, 2-3: 237-249.
- MILLER, F. J., AL-KHATIB, K. (2000): Development of herbicide resistant germplasm in sunflower. *Proceedings of 15<sup>th</sup> International Sunflower Conference, 12-15 June 2000, Toulouse-France*, 37-42.
- MOLL, S. (1997): Commercial experience and benefits from glyphosate tolerant crops. *The 1997 Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, 931-940.
- NORSWORTHY, J.K., OLIVER, L.R. (2001): Effect of Seeding Rate of Drilled Glyphosate-Resistant Soybean (*Glycine max*) on Seed Yield and Gross Profit Margin. *Weed Technology*, 15, 2: 284-292.
- PADGETTE, S. P., RE, D. B., BARRY, G.F., EICHHOLTZ, D. E., DELANNAY, X., FUCHS, R. L., KISHORE, G. M., FRALEY, R. T. (1996): New Weed Control Opportunities: Development of Soybeans with a Roundup Ready Gene. In: *Herbicide Resistant Crops*, edited by Duke, S.O., CRC Press, Inc., 53-84.
- PARKER, W. B., MARSHALL, L. C., BURTON, J. D., SOMERS, D. A., WYSE, D. L., GRONWALD, J. W. (1990): Dominant mutations causing alterations in acetyl-coenzyme A carboxylase confer tolerance to aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione herbicides in maize. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.*, 87: 71-75.
- PETERSEN, J., HURLE, K. (1998): Einführung von herbizidresistenten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI*, 365-372.
- PHIPPS, R.H., PARK, J.R. (2002): Environmental benefits of genetically modified crops: Global and European perspectives on their ability to reduce pesticide use. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 11: 1-18.

- PLINE, W. A., HATZIOS, K. K., HAGOOD, E. S. (2000): Weed and Herbicide-Resistant Soybean (*Glycine max*) Response to Glufosinate and Glyphosate Plus Ammonium Sulfate and Pelargonic Acid. *Weed Technology*, 14, 4: 667-674.
- POWLES, S. B., LORRAINE-COLWILL, D. F., DELLOW, J. J., PRESTON, C. (1998) Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. *Weed Science*, 46: 604-607.
- RASCHE, E., CREMER, J., DONN, G., ZINK, J. (1995): The development of glufosinate ammonium tolerant crops into the market. The 1995 Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 791-800.
- RASCHE, E., GADSBY, M. (1997): Glufosinate ammonium tolerant crops - international commercial developments and experiences. The 1997 Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 941-946.
- REDDY, K. N. (2003): Impact of Rye Cover Crop and Herbicides on Weeds, Yield, and Net Return in Narrow-Row Transgenic and Conventional Soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 17, 1: 28-35.
- SEBASTIAN, S. A., FADER, G. M., URLICH, J. F., FORNEY, D. R., CHALEFF, R. S. (1989): Semidominant Soybean Mutation for Resistance to Sulfonylurea Herbicides. *Crop Science*, 29: 1403-1408.
- SHANER, D. L., BASCOMB, N. F., SMITH, W. (1996): Imidazolinone-Resistant Crops: Selection, Characterization and Management. In: *Herbicide Resistant Crops*, edited by Duke, S.O., CRC Press, Inc., 143-157.
- SIEHL, D. L., BENGSTON, A. S., BROCKMAN, J.P., BUTLER, J. H., KRAATZ, G. W., LAMOREAUX, R. J., SUBRAMANIAN, M.V. (1996): Patterns of cross-tolerance to herbicides inhibiting acetohydroxyacid synthase in commercial corn hybrids designed for tolerance to imidazolinones. *Crop Science*, 36: 274-278.
- SNYDER, J. R., MALLORY-SMITH, C. A., BALTER, S., HANSEN, J. L., ZEMETRA, R. S. (2000): Seed production on *Triticum aestivum* by *Aegilops cylindrica* hybrids in the field. *Weed Science*, 48, 5: 588-593.
- SOMERS, D. A. (1996): Aryloxyphenoxypropionate- and cyclohexanedione-resistant crops. In: *Herbicide Resistant Crops*, edited by Duke, S.O., CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 175-188.
- TALPIN, J. (1998): Transgenic crops: Modest impact upon the markets. *Cultivar*, november 1998, 15-17.
- THILL, D. C. (1996): Managing the spread of herbicide resistance. In: *Herbicide Resistant Crops*, edited by Duke, S.O., CRC Press, Inc., 331-337.
- VANGESSEL, M. J. (2001): Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Science*, 49: 703-705.
- YOUNG, R. D. (1997): The STS seed/herbicide system: A new standard in soybean production. *Proceedings of the Nineteenth Annual Seed Technology Conference*, Iowa State University, Ames, Iowa, 67-70.
- WANG, Z., ZEMETRA, R. S., HANSEN, J., MALLORY-SMITH, C. A. (2001): The fertility of wheat × jointed goatgrass hybrid and its backcross progenies. *Weed Science*, 49, 3: 340-345.
- WATKINSON, A. R., FRECKLETON, R. P., ROBINSON, R. A., SUTHERLAND, W. J. (2000): Predictions of biodiversity response to genetically modified herbicide-tolerant crops. *Science*, 289: 1554-1557.
- WAUCHOPE, R. D., ESTES, T. L., ALLEN, R., BAKER, J. L., HORNSBY, A. G., JONES, R. L., RICHARDS, R. P., GUSTAFSON, D. I. (2001): Predicted impact of transgenic, herbicide-tolerant corn on drinking water quality in vulnerable watersheds of the mid-western USA. *Pest Management Science*, 58: 146-160.
- WELLS, B. H. (1995): Development of glyphosate tolerant crops into the market. The 1995 Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 787-790.
- WOLFENBARGER, L. L., PHIFER, P. R. (2000): The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, 290: 2088-2093.

---

**GENETICALLY MODIFIED HERBICIDE-TOLERANT CROPS:  
THE WEED SCIENCE ASPECT**

Goran MALIDŽA<sup>1</sup> and Vaskrsija JANJIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad

<sup>2</sup>ARI SERBIA - Pesticide and Environmental Research Centre, Zemun

**S u m m a r y**

Development and production of genetically modified crops is the hallmark of the end of last and beginning of new century. The most remarkable commercial success regarding genetically modified crops has been achieved with herbicide-tolerant crops as HTC's offer the potential for many benefits: simpler weed control, more effective management of problematic and resistant weeds, control of parasitic weeds, use of minimum tillage, additional tool in integrated weed management, avoidance of yield loss caused by current herbicides, etc. Potential risks associated with HTC's include: gene flow, herbicide resistant volunteers, selection of weed flora in favour of species less susceptible to herbicides, potential development of herbicide-resistant weeds, growers' increased dependency on herbicides, reduced application of integrated weed management, losing of traditional skills of weed management, possible decrease in biodiversity in fields, etc.

Received March 25, 2004

Accepted April 10, 2004