

UDK: 633:575.22

Pregledni rad

GENETIČKI MODIFIKOVANE BILJKE – KORISTI I RIZICI

*Snežana Mladenović Drinić, Kosana Konstantinov; G. Drinić **

Izvod: Moderna biotehnologija se primenjuje u poljoprivredi, zajedno sa klasičnim tehnologijama, u cilju povećanja proizvodnje hrane i poboljšanja njenog kvaliteta. Revolucionarni pomak na polju biotehnologije biljaka predstavlja mogućnost stvaranja genetički modifikovanih biljaka tj. mogućnost ugrađivanja gena poreklom iz bilo kog organizma u genom biljke. Genetički modifikovane biljke imaju mogućnost da obezbede više, bolje i bezbednije proizvode koji zajedno sa klasičnom tehnologijom, povećavaju proizvodnju hrane koja će moći da zadovolji potrebe rastuće ljudske populacije. Prva genetički modifikovana biljka je dobijena pre osamneast godina, a danas se gaje komercijalno mnoge genetički modifikovane biljke i proizvodi od njih su dostupni na tržištu. Prva generacija genetički modifikovanih biljaka za takozvane "input" osobine obuhvata tolerantost na totalne herbicide, rezistentnost na insekte, rezistentnost na viruse. Od prve komercijalizacije genetički modifikovanih biljaka površine na kojima se gaje su značajno povećane na više od 50 mil ha.

Ključne reči: genetički modifikovane biljke, korist, rizik, regulativa, testiranje

Uvod

Primenom tehnologije rekombinantne DNK moguće je preneti jedan ili više poželjnih gena iz bilo koje vrste, mikroorganizma, biljaka koje klasičnim metodama nije moguće ukrstiti zbog reproduktivne barijere, životinja u biljke i na taj način su stvorene genetički modifikovane biljke. Jedan od primera prenosa gena iz bakterija u biljku je soja tolerantna na herbicid glifosat (Roundup Ready soja). Biohemijska osnova tolerancije svih biljaka na glifosat je prisustvo enzima EPSPS (5-enolpiruvil-šikamat-3-fosfat sintaza) koji je rezistentan na efekat herbicida. Enzim se prirodno nalazi u svim biljkama, bakterijama, gljivama (Padgett et al., 1995). Važan je katalizator u biohemijskim procesima sinteze aromatičnih aminokiselina fenilalanina, triptofana i tirozina. Herbicid glifosat se vezuje za enzim EPSPS u biljkama i inhibira njegovo dejstvo što

* Dr Snežana Mladenović Drinić, Dr Kosana Konstantinov, Dr Goran Drinić Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd

rezultira u uvenuću biljaka. Dva osnovna mehanizma toleratnosti na herbicide u biljkama su: povećana sposobnost detoksifikacije pesticida i promenjeno biohemijsko mesto interakcije sa pesticidom. Iz zemljišne bakterije *Agrobacterium* soj CP4 izolovan je gen za ovaj enzim i prenet u soju. Kako enzim koji se stvara u bakterijama ima neznatno promenjen oblik herbicid ne može da se veže za enzim što omogućava da rezistentan EP-SPS katalizuje sintezu aminokiselina i biljka se normalno razvija.

Prvi eksperimenti sa biljkama urađeni su sa duvanom u koji je ugrađen marker gen 1983. godine. Prvi poljski ogledi sa genetički modifikovanim duvanom, u koji je ugrađen marker gen za rezistentnost na herbicide, su postavljeni u SAD i Francuskoj u 1986. godini, što je označavalo početak ere uvođenja biotehnologije u oplemenjivanju poljoprivrednih biljaka. Duvan u kome je ugrađen gen za rezistentnost na virus mozaika krastavca je prvi komercijalizovan genetički modifikovan usev u 1992. godini u Kini. Prva komercijalna prodaja genetički modifikovanog proizvoda za ishranu je u SAD odobrena maja 1994. godine, kada je kompanija Calgene iznela na tržište FlavrSavr™ paradajz sa promenjenim vremenom sazrevanja. Tokom 1996. i 1997. godine pojavili su se na tržištu prvi genetički modifikovani hibridi kukuruza i sorte soje i pamuka.

Gajenje genetički modifikovanih useva

Od 1996. do 2001. godine ukupna površina komercijalno zasejana genetički modifikovanim usevima u svetu se povećala više od 30 puta, od 1,7 mil ha 1996. god. na 52,6 mil ha prošle godine (James, 2001). U periodu 2000. do 2001. godine ukupne površine zasejane genetički modifikovanim usevima su povećane za 19% odnosno za 8,4 miliona ha što odgovara dvostrukom povećanju površina u odnosu na period između 1999. i 2000. godine (4,3 mil ha). Najveće površine su u četiri industrijske države: SAD (35,7 mil ha), Argentina (11,8 mil ha), Kanada (3,2 mil ha) i Kina (1,5 mil ha). Najveći godišnji porast površina zasejanih genetički modifikovanim usevima je u Kini sa 0,5 mil ha u 2000. na 1,5 mil ha u 2001. godini.

U Evropi genetički modifikovani usevi su komercijalno gajeni u Rumuniji, Bugarskoj, Španiji, Nemačkoj i Francuskoj. Broj država u kojima se genetički modifikovani usevi ispituju u ogledima u poljskim uslovima je znatno veći. U toku 2001. godine u zemljama Evropske Unije genetički modifikovani usevi su ispitivani u 1668 ogleda u poljskim uslovima (*European Commission, Joint Research Center*).

Najveće površine zasejane GM usevima u svetu u 2001. godini su zasejane sa genetički modifikovanim sojom na 33,3 miliona ha. Sledi genetički modifikovan kukuruz na 9,8 miliona ha, pamuk na 6,8 i uljana repica na 2,7 miliona ha. Genetički modifikovane biljne vrste koje se gaje u manjem procentu obuhvataju kukuruz šećerac, kikiriški, tikve, papaju (BIO, 1998).

Od ukupno zasejane površine sa GM usevima zastupljenost po osobinama je sledeća: toleratnost na herbicide 77% (40,6 miliona ha), rezistentnost na insekte 15% (7,8 mil ha), vezani geni za rezistentnost na insekte sa toleratnošću na herbicide 8% (4,2 mil ha). U 2001. godini soja tolerantna na herbicide je gajena na najvećim površinama i zauzima 63% od ukupnih površina komercijalno zasejanih genetički modifikovanim usevima, Bt kukuruz je gajen na 5,9 mil ha (11%). Od 271 miliona ha na kojima su gajeni

kukuruz, soja, pamuk i uljana repica u svetu u toku 2001. godine, 19% su genetički modifikovani usevi što predstavlja povećanje u odnosu na prethodnu godinu kada su genetički modifikovani usevi gajeni na 16% od ukupnih površina zasejanih sa ova četiri useva. Od ukupno zasejanih površina u svetu sa sojom (72 mil ha) oko 46% je genetički modifikovana soja; genetički modifikovan pamuk je gajen na 20% od 34,2 mil ha na kojima se gaji ovaj usev; ukupne površine na kojima se gaje kukuruz (7% od 140 mil ha) i uljana repica (11% od 25 mil ha) nisu se značajno promenile u odnosu na 2000. godinu.

Genetički modifikovani usevi koji se trenutno nalaze na svetskom tržištu predstavljaju prvu generaciju genetički modifikovanih produkta, modifikovanih za takozvane "input" osobine kao rezistentnost na insekte, tolerantnost na herbicide, rezistentnost na viruse, odloženo sazrevanje (MgHuguen A., 2000). Novi produkti koji su u fazi razvoja obuhvataju: biljke tolerantne na uslove stresa kao što su suša, salinitet i mraz; biljke sa većim stepenom zaštite od bolesti; biljke sa modifikovanim ili povećanim sadržajem masnih kiselina, proteina, skroba; biljke iz kojih su uklonjeni alergenti i antinutritivne materije.

Potencijalne koristi od gajenja genetički modifikovanih biljaka

Genetički modifikovani usevi mogu da imaju nekoliko mogućih efekata na spoljašnu sredinu. Pozitivni efekti su smanjena primena herbicida i insekticida, veća proizvodnja sa iste površine zemljišta uz manja ulaganja, smanjena obrada zemljišta.

Dobra kontrola korova je jedan od izazova poljoprivredne proizvodnje jer korovi redukuju prinos useva i utiču na lošiji kvalitet proizvoda. U sadašnjoj proizvodnji koriste se različiti herbicidi za kontrolu širokog spektra korova. Genetički modifikovane biljke tolerantne na herbicide (glifosat, glufosinat, imidazolin) su stvorene unošenjem gena u biljku koji im omogućava da rastu i nakon primene herbicida. Gajenjem genetički modifikovanih biljaka proizvođači koriste jedan herbicid, uz jednu do dve primene čime štede vreme, gorivo i habanje opreme. Tako je prema podacima Carpentera i Gianessa (2001), u toku 1999. godine količina upotrebljenih herbicida smanjena za 12%. Takođe, usled smanjene kompeticije sa korovima usevi su boljeg kvaliteta. Istraživanja USDA/ERS (1997) su pokazala da se gajenjem soje tolerantne na herbicide smanjuje cena proizvodnje za 3 do 6%. Procenjena ekonomska dobit od kukuruza i uljane repice u koje je unet gen za tolerantnost na herbicide od 35 do 55 US dolara po ha.

Genetički modifikovane biljke rezistentne na određene grupe insekata imaju dodatni gen za sintezu proteina koji u crevu insekata koji se hrane tom biljkom prelazi u toksičnu formu i izaziva njihovu smrt. Gajenjem kukuruza, pamuka, krompira genetički modifikovanih za rezistentnost na insekte poboljšava se kontrola insekata, redukuje upotrebu pesticida i izlaganje ljudi njihovom štetnom efektu, povećava prinos, smanjuje prisustvo mikotoksina, štedi vreme i novac. Prema Gianessi and Carpenter-u (1999) gajenjem Bt kukuruza smanjuje se upotreba insekticida za kontrolu kukuruznog plamenca oko 3%. Takođe je količina mikotoksina u Bt usevima smanjena za 92% (USDA ERS 1999).

Najveći efekat gajenja kukuruza otpornog na kukuruzni plamenac je povećana proizvodnja usled smanjenih gubitaka uzrokovanih napadom insekata. Smanjenje prinosa usled napada kukuruznog plamenca varira od godine do godine u zavisnosti od

nivoa infekcije. Prema izveštaju ERS prinos Bt kukuruza i pamuka je nešto veći u većini godina za neke regione (USDA ERS, 1999).

Potencijalni rizici od gajenja i korišćenja genetički modifikovanih useva

Gajenja genetički modifikovanih biljaka može da ima nepoželjan efekat na spoljašnju sredinu kao što je protok gena, efekat na neciljne organizme, uticaj na biodiverzitet. Jedan od potencijalnih rizika je da će polen sa kukuruza i pamuka rezistentnog na insekte imati negativan efekat na korisne insekte i ptice (Royal Society, 1998). Laboratorijska ispitivanja su pokazala da kada se larve leptira (*Danaus plexippus*) hrane lišćem mlečike veštački obloženim polenom sa Bt kukuruza, rastu sporije i imaju veći nivo smrtnosti u odnosu na larve koje se hrane lišćem bez polena kukuruza (Losey et al., 1999). Ispitivanja su sprovedena samo u laboratorijskim uslovima pri čem su larve bile izložene velikim dozama polena Bt kukuruza, bez mogućnosti izbora druge hrane i bez poređenja sa larvama koje bi se hranile polenom sa kukuruza koji nije GM, ali je prskan Bt insekticidom. Dalja istraživanja su pokazala da je koncentracija Bt polena koji se vezuje za lišće mlečike samo nekoliko metara od polja kukuruza isuviše mala da bi izazvala bilokakav negativan efekat na leptire (Wraight et al., 2000). Veliki broj eksperimenata sa ciljem da se utvrde potencijalni negativni efekat na korisne organizme su u toku. Gajenje genetički modifikovanih biljaka otpornih na određene grupe insekata može dovesti do razvoja rezistentnosti insekta i zato se preporučuje da se jedan deo polja na kome se gaje genetički modifikovane biljke zaseje sa genetički nemodifikovanim biljkama (80% GM i 20% neGM).

Protok gena polinacijom je proces poznat u prirodi i nije specifičan za genetički modifikovane biljke. Da bi došlo do prenosa gena sa genetički modifikovanih biljaka na korovske vrste ili divlje srodnike moraju da budu ispunjeni određeni preduslovi kao što su: (i) da GM biljke i korovske biljke rastu u neposrednoj blizini, (ii) da imaju isto vreme polinacije (iii) da im je polen kompatibilan (McGloughin, 2000). Ispitivanje potencijalnog prenosa gena sa genetički modifikovanih biljaka na korove i divlje srodnike je jedna od obaveznih komponenti ispitivanja bezbednosti ovih proizvoda pre njihove komercijalizacije.

Uticaj proizvoda dobijenih iz genetički modifikovanih biljaka na zdravlje ljudi zavisi od specifičnog sadržaja samog proizvoda i može biti potencijalno korisno ako se radi o proizvodu sa povećanim sadržajem, na primer svarljivog gvožđa, ili ako je iz njega uklonjen alergent ili potencijalno štetno ako je unet novi alergent ili toksin (Wensler, 2000). Postoje tri nivoa potencijalnog rizika: i) od promotorske sekvence koja je dodata genu od interesa da bi omogućila njegovu aktivnost u biljci, ii) marker gena koji se dodaje genu za lakše praćenje njegove ugradnje u biljku, i iii) gena koji kodira osobinu od interesa. Genetičkom modifikacijom novi alergent može da se unese u hranu ne samo iz poznatog izvora alergentnosti već iz biljaka, bakterija, virusa čija je potencijalna alergentnost nepoznata. Zato je ispitivanje potencijalne alergentnosti sastavni deo svakog procesa ispitivanja bezbednosti produkta dobijenih od genetički modifikovanih biljaka.

Poslednjih godina vršena su intezivna istraživanja o riziku koji nose promotorske sekvence bakterija i virusa kada su sastavni deo gena koji se unosi u heterologi organi-

zam. Za genetičku modifikaciju većine biljnih vrsta koje su komercijalizovane korišćena je promotorska 35S sekvenca iz virusa mozaika karfiola. Ho et al. (1999) su ukazali na rizik da ova sekvenca može da aktivira gene biljaka ili endogene viruse, da se rekombinuje sa virusima sisara sa nepredvidljivim posledicama. Međutim, da bi 35S promotor imao rekombinantna svojstva, da utiče na aktiviranje ili modifikaciju virusa, cela sekvenca promotora trebala bi da bude ili isečena i reinsertovana precizno na mesto ili da se njegov 3' kraj veže precizno za drugi gen. Istraživanja kod biljaka su pokazala da postoji više od 105 kopija 35S promotora u svakoj ćeliji prirodno inficiranoj sa virusom mozaika karfiola, a samo jedna ili nekoliko kopija u svakoj ćeliji transformisane biljke (Hull et al, 2000). Takođe, nukleaze u biljnoj ćeliji ili u digestivnom traktu čoveka i životinja degradiraju DNK koja sadrži promotor. Utvrđeno je da manje od 5% unesene DNK u hrani preživljava sedam časova i potom biva degradirana u male sekvence (Schubert et al, 1994). Jedan od primera ispitivanja bezbednosti hrane dobijene od genetički modifikovanih biljaka je da li gen koji kontroliše rezistentnost na antibiotike, korišćen kao selektivni marker, može da se u digestivnom traktu ugradi u intestinalne bakterije (Salyers 2000). Opasnost je opravdana ako bi ovo dovelo do rezistentnosti intestinalnih bakterija, neophodnih za varenje hrane, na antibiotike i smanjenja njihove terapijske vrednosti. Razvojem novih metoda transformacije marker geni nisu neophodni u stvaranju genetički modifikovanih genotipova čime je smanjena ova vrsta opasnosti.

Zakonska regulativa u Evropi i SR Jugoslaviji

Proces uvođenja genetički modifikovanih biljaka na tržište se značajno razlikuje u Evropi u odnosu na SAD. Sjedinjene Američke Države dozvoljavaju realizaciju genetički modifikovanog proizvoda ako nepostoje dokazi da ima štetan efekat na spoljašnju sredinu i zdravlje ljudi i životinja. Međutim, u Evropi osnovni uslov za uvođenje genetički modifikovanih proizvoda na tržište je da postoje dokazi da proizvod nema štetan efekat na spoljašnju sredinu i zdravlje ljudi i životinja. Sjedinjene Američke Države imaju više od jedne decenije iskustvo u regulisanju genetički modifikovanih proizvoda. Više od 50 genetički modifikovanih proizvoda je prošlo ovu proceduru i hiljade proizvoda koji sadrže sastojke iz genetički modifikovanih biljaka su na tržištu. U Evropskoj Uniji jedanaest genetički modifikovanih proizvoda je odobreno do donošenja moratorijuma, a trinaest novih genetički modifikovanih proizvoda čeka odobrenje (House of Lords, 1998).

Gajenje genetički modifikovanih useva i promet hrane poreklom od genetički modifikovanih biljaka pod strogom je kontrolom Evropske Unije koja je izdala nekoliko direktiva kojima je ova oblast regulisana (European Union, 1999). Direktivama 49/2000 i 50/2000 zahteva se obeležavanje proizvoda koji sadrže genetički modifikovan biljni materijal pri čemu je definisan limit od 1% genetički modifikovane DNK u uzorku ispod koga se uzorak može smatrati nemodifikovan pa stoga ne podleže obeležavanju (Hodgson, 1999).

U našoj zemlji Zakon o genetički modifikovanim organizmima je usvojila Savezna skupština u maju 2001. godine (Službeni Glasnik, 2001). Ovim zakonom se uređuju uslovi za ograničenu upotrebu, proizvodnju i promet genetički modifikovanih organiza-

ma i proizvoda od genetički modificiranih organizama kao i uslovi i mere da se izbegnu nepovoljni efekti prilikom ograničene upotrebe, proizvodnje i prometa genetički modificiranih organizama i proizvoda od genetički modificiranih organizama. Zakon o genetički modificiranim organizmima sadrži opšte odredbe i u saglasnosti je sa regulativom Evropske Unije. Ovim zakonom je predviđeno obavezno testiranje semena i proizvoda za genetičku modifikaciju.

Genetički modificirane biljke mogu da se razlikuju od nemodificiranih na osnovu činjenice da sadrže ili novu specifičnu DNK sekvencu ili specifičan novi protein koji nije prisutan u analognom proizvodu. Metode koje se trenutno koriste za detekciju genetičke modifikacije bazirane su na (i) detekciji DNK kojom je izvršena modifikacija (PCR metoda); (ii) detekciji odgovarajućeg transgenog proteinskog produkta (imunološke metode) (Anonymos, 1999).

Laboratorija za Biotehnologiju Instituta za kukuruz je u našoj zemlji jedna od tri laboratorije ovlašćene od strane nadležnog saveznog organa za sprovođenje zakona o genetički modificiranim organizmima, za ispitivanje da li biljni materijal i hrana sadrže genetičku modifikaciju.

Zaključak

Još uvek ima mnogo nedoumica u oblasti ispitivanja bezbednosti, regulative i obeležavanja genetički modificiranih biljaka. Mnogi smatraju da je biotehnologija neminovan proces i da ne možemo da ignorišemo tehnologiju sa tako velikim potencijalnim koristima. Tokom sledećih nekoliko godina novi proizvodi će se postepeno javljati na tržištu uz neprekidno sakupljanje dokaza o njihovoj bezbednosti i koristi i potpunom odsustvu dokaza o štetnosti po spoljašnju sredinu i zdravlje ljudi.

Literatura

1. *Anonymos* (1999): Methods for detection of GMO grain in commerce, www.acpa.org/public/issues/biotech/detecmeth.html
2. *BIO* (1998): Transgenic products on the market. Biotechnology Industry Organization, Washington DC, Available online at http://www.bio.org/food&ag/transgenic_products.html
3. *Carpenter J. and Gianessi L.* (2001): Agricultural Biotechnology: Update Benefit Estimates. National Center for food and agricultural policy www.ncfap.org
4. *European Commission* (2001): Joint Research Center, www.jrc.org
5. *European Union* (1999): Official Minutes of the Environmental Council. 24 June. Environmental Council of the European Union, Available online at Ag BioTech InfoNet web site, www.biotech-info.net
6. *Gianessi L.P. and Carpenter J.* (2000): Agricultural biotechnology: insect control benefits. National center for food and agricultural policy. Washington, DC. www.bio.org/food&ag/bioins01
7. *Ho M., Ryan A. and Cummins J.* (1999): Cauliflower mosaic virus promoter –

- a recipe for disaster. *Microb. Ecol. Health Dis.* 10:33-59.
8. *Hodgson J.* (1999): EC soys 1% is acceptable GMO contamination. *Nature Biotechnology*, vol 17., 1155-1156.
 9. *House of Lords* (1998-99): EC Regulation of geentic modification in agriculture. Select Committee on the European Communities. Sesson, 2nd Report, HL paper 11-I, London.
 10. *Hull R., Convey N.S. and Dale P.* (2000): Genetically modified plants and the 35S promoter: assesing the risks and enhancing the debate. 35S debate, John Innes centre, Norwich.
 11. *James C.* (2001): Global review of commercialized transgenic crops: ISAAA Briefs No. 24: Preview. ISAAA:Ithaca, NY
 12. *Losey J.E., L.S. Raynor and M.E. Carter* (1999): Transgenic pollen harm monarch larvae. *Nature* 399, 214.
 13. *McGloughlin M.* (2000): Why safe and effective food biotechnology is in the public interest. Washington Legal Foundation Critical Legal Issues Working Paper Series No.99, November.
 14. *McHugen A.* (2000): Biotechnology and food. American concel on science and health.
 15. *Padgette S.R., et al.* (1995): Development, identification, and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line. *Crop Science* 35:1451-1461.
 16. *Royal Society* (1998): Genetically Modified Plants for food use. London, aviable online at <http://www.royalsoc.ac.uk/policy/index.html>
 17. *Salyers A* (2000): Genetically engineered foods. Safety issues associated with antibiotic resistance genes, [www. helthsci.tufts.edu](http://www.helthsci.tufts.edu)
 18. *Schubbert R., Lettman C and Doefler W.* (1994): Ingested foreign (phage M13) DNA survives transietly in the gastronomic tract and enters the bloodsteam of mice. *Mol.Gen.Genet.* 242: 495-504.
 19. *USDA ERS* (1997): Agricultural resources and enviromental indicators, Agricultural handbook 712, U.S. Dept. of agriculture, economic research service, Washington, DC.
 20. *USDA ERS* (1999): Genetically engineered crops for pest maangment. U.S. Dept. of agriculture, economic research service, Washington, DC.
 21. *Weksler M.E.* (2000): GM food opportunities to improve human health. OECD Conference of GM food, Edinburg, Scotland.
 22. *Wraight C.L., A.R. Zangerl, M.J. Carroll, M.R. Berenbaum* (2000): Absence of toxicity of *Bacillus thurigiensis* pollen to black swallowtails under field conditions. *PNAS*, aviable on line at <http://www.pnas.org>.

UDC: 633.575.22

Review paper

GENETICALLY MODIFIED PLANT-BENEFITS AND RISK

*Snežana Mladenović-Drinić, Kosana Konstantinov, G. Drinić**

Summary

Modern biotechnology is applied in agriculture, together with classical technology, in aim to increase production and improve quality of food. Revolutionary event for the plant biotechnology was possibility of creations of genetically modified plants, in fact, possibility of introducing of the genes from any organisms, to the plant genome. A genetic modified plant has the potential to offer very significant improvements in the quantity, quality and acceptability of the world's food supply. First genetically modified plant were generated less than 18 years ago and now many GM plants are beginning to widely grown and products of these plants are available in the market place. Since the first commercial introduction of a genetically modified plant growing area has increase rapidly to more than 50 mill ha. The first generation of genetically modified crops with "input" traits as insect resistance, herbicide tolerance, delayed ripening, virus resistance are currently on the market.

Key words: Genetical modified plants, benefits, risk, regulate, test.

* Snežana Mladenović, Ph.D., Kosana Konstantinov, Ph.D., Goran Drinić, Ph.D., Maize Research Institute "Zemun Polje", Belgrade, YU.