

## BIOETIČKI ASPEKTI ISTRAŽIVANJA I KORIŠĆENJA REZULTATA U OBLASTI GENETIČKI MODIFIKOVANIH BILJAKA

*Kosana Konstantinov i Snežana Mladenović Drinić*  
Institut za kukuruz „Zemun Polje“, Beograd

### Uvod

Poslednjih godina u oblasti poljoprivrede i proizvodnje hrane došlo je do ključnih promena koje uključuju primenu najnovijih tehnoloških dostignuća, restrukturiranje osnove resursa, stvaranje novih i proširenje međunarodnih tržišta i usmerenja veće pažnje upravljanju prirodnom sredinom. Prvi put razvoj poljoprivrede i proizvodnja hrane imaju globalni karakter. Tako, fiskalna kriza u Aziji utiče na smanjenje cena poljoprivrednih proizvoda u Severnoj Americi, smanjeni prinosi žitarica u Latinskoj Americi dovode do rasta cena u Africi, kontaminacija životne sredine u jednoj zemlji može da dovede do redukcije prinosa u drugoj dok bolest izazvana hranom proizvedenom na jednom imanju može da izazove kaos na nekoliko kontinenata. Iako je pravo na hranu reafirmisano kao osnovno pravo čoveka (Rimska Deklaracija o svetskoj bezbednosti hrane, 1996) postoje nesaglasnosti kako to pravo ostvariti u praksi. Postizanje bezbednosti hrane podrazumeva dovoljnu količinu, pristup svih stanovnika hrani, zadovoljavajuću hranljivu vrednost i zdravstvenu bezbednost u konzumiranju hrane. Evidentno je da su bolesti izazvane hranom česta pojava u celom svetu. Mikrobiološka kontaminacija je svakodnevna pojava, posebno u urbanim sredinama gde hrana prelazi u transportu dug put od proizvođača do korisnika. Ova pojava je zajednička za razvijeni i nerazvijeni deo sveta.

U razvijenim zemljama, gde su tehnološke promene i tržišna orjentisana privreda široko prihvaćeni došlo je do potrebe razvoja različitih oblasti: razvoj zdravog i kontrolisanog načina gajenja domaćih životinja, uvođenje u upotrebu hrane proizvedene od GMO, obeležavanja porekla hrane i prihvatljiv nivo koncentracije ekonomske moći u sistemu poljoprivrede (1).

U toku milenijuma u proizvodnji hrane korišćena je biotehnologija u formi procesa fermentacije pri proizvodnji hleba, sireva, piva. Molekularne biotehnologije, skup metoda u istraživanjima koje u osnovi imaju genetičko inženjerstvo, i njihovo korišćenje u proizvodnji hrane i drugih produkata u poljoprivredi, pored velikih mogućnosti u povećanju prinosa, skraćanja vremena u dobijanju novih genotipova, smanjenja korišćenja pesticida i usporavanju

degradacije životne sredine, nose i nove rizike. Etičke implikacije korišćenja molekularnih biotehnologija u manipulacijama gena, proizvodnji transgenih biljaka i životinja, menjanje balansa u životnoj sredini, dovele su do razvoja primenjene etike pod nazivom bioetika. Ova grana etike podrazumeva saradnju istraživača u prirodnim naukama, filozofa, pravnika i teologa. U ovom radu, pored pregleda rezultata primene genetičkog inženjerstva i molekularnih biotehnologija u oblasti oplemenjivanja biljaka i životinja biće navedeni neki od niza etičkih aspekata navedenih istraživanja i korišćenja dobijenih rezultata.

### **Molekularne biotehnologije**

Biotehnologija uključuje širok spektar različitih tehnika. Mnoge od njih nisu kontraverzne, uključujući proces koji se označava kao genetičko inženjerstvo. Centralna osobina tog procesa je mogućnost odabiranja i modifikacija genetičkog materijala sa velikom preciznošću, prenošenje osobine od interesa iz jedne vrste i njena ekspresija u vrsti u koju je unesen gen. Genetičke modifikacije definisane propisima CPB (2) (*Cartagena protocol on Biosafety*) uključuju stare i nove tehnike koje vode promeni genotipa. Osnovne komponente moderne biotehnologije, prema Presley-u i Lantin (2000) (3) su: (i) genomika – molekularna karakterizacija svih gena i produkata gena organizma; (ii) bioinformatika – organizovanje podataka dobijenih iz analize genoma u prihvatljivu formu; (iii) transformacija – unošenje gena koji kontroliše osobinu od interesa u genom željenog organizma (mikroorganizmi, biljke, animalni sistemi) i (iv) dijagnostika – brža i pouzdanija identifikacija prisustva ili odsustva gena u genomu organizma od interesa (identifikacija patogena, prenatalna dijagnostika, molekularno oplemenjivanje biljaka korišćenjem molekularnih markera i sl.). Biotehnologija takođe obuhvata kreaciju kloniranih životinja, ovca Doli, na primer, kao i modifikaciju mehanizama reprodukcije.

Moderna ili molekularna biotehnologija ima isti cilj kao i klasično oplemenjivanje, dobijanje biljaka sa poboljšanim svojstvima. Ključna razlika je što se klasičnim metodama oplemenjivanja ne prenosi samo jedan ili dva željena gena već dolazi do kombinacije ukupnih genoma roditelja. Druga značajna razlika je što se tradicionalne metode oplemenjivanja zasnivaju na prenosu genetičkog materijala seksualnim putem između jedinki iste ili veoma bliske vrste za razliku od molekularne biotehnologije, primenom koje se vrši transfer jednog ili više poželjnih gena iz bilo koje evolucione kategorije u istu ili drugu kategoriju organizma. Na taj način se vrši kreiranje genetički modifikovanih organizama (GMO) sa željenim osobinama. Poseban aspekt u okviru procesa transfera gena su vrsta i karakter interakcija stranog gena sa genomom organizma u koji je integrisan.

Uspešnost primene molekularne biotehnologije se zasniva na principima funkcionalne genomike, koja podrazumeva naučni pristup kojim se vrši identifikacija, definicija funkcije gena i utvrđivanje mehanizama interakcija gena u kontroli određene osobine. Aktuelni pristupi istraživanja najvećim delom predstavljaju proučavanje strukture genoma (mapiranje na primer) i usmereni su

na osobine pod kontrolom jednog ili malog broja gena, što daje informacije, koje se odnose uglavnom na lokaciju gena u genomu. Informacije o lokaciji gena su kritična tačka i uz utvrđivanje funkcije gena i stvaraju mogućnost ispitivanja odnosa i interakcije između nekoliko hiljada gena. Značaj poznavanja ovih interakcija je veoma veliki jer mogućnost transfera gena ni na koji način ne podrazumeva i znanje koji od gena treba uneti u drugi organizam.

Pouzdanije informacije o lokaciji, strukturi i interakcijama gena/genoma su stvorile uslove za stvaranje biljaka u čijem genomu se nalaze specifično modifikovani i transformacijom genoma integrisani geni koji kontrolišu procese uključene u kontrolu reakcije biljnog genoma na različite uslove spoljne sredine kao što su visoke i niske temperature, zaslanjena ili kisela zemljišta, rezistentnost prema patogenim mikroorganizmima ili sintezu supstanci od interesa za proizvodnju kvalitetnije hrane. Istovremeno, primenom metoda molekularne biotehnologije vrši se utvrđivanje potencijalnog ili stvarnog rizika korišćenja hrane dobijene od genetički modifikovanih biljaka što je preduslov biološke sigurnosti i što će omogućiti minimizaciju ili potpuno otklanjanje rizika.

Sekvencioniranje gena/genoma i pouzdana informacija o produktima ekspresije tih gena/sekvence/genoma su dovele biološke nauke do nivoa informatike i korišćenja termina bioinformatika (3). Ovaj termin se koristi za opis spektra metoda i aktivnosti u okviru informacionih sistema formiranih za obradu i razmenu podataka dobijenih u uslovima laboratorijskih ispitivanja, interpretacije i integracije podataka, pripremanja dokumenata i elektronsko publikovanje dostavljanjem podataka koji se odnose na sekvence, mapiranje i baze podataka (4). Informacione tehnologije su izmenile kako brzinu tako i način komunikacija u celini a posebno u okviru populacije istraživača gotovo u istom stepenu kao telefon i telegraf u prethodnim vekovima. U principu, posedujući relativno malu količinu opreme komunikacije su moguće među ljudima na planeti u svakom trenutku. U sektoru poljoprivrede i proizvodnje hrane informacione i komunikacione tehnologije imaju enorman potencijal za široko i brzo razmenjivanje informacija na svim nivoima u lancu proizvodnje hrane (4). U kombinaciji sa propulzivnom oblašću nanotehnologija (koje omogućavaju manipulacije i proizvodnju na molekularnom nivou), informatika omogućuje ogromno povećanje efikasnosti proizvodnje. Međutim, pristup novim informacionim tehnologijama, a samim tim i informacijama je ograničen kako u razvijenim tako i u nerazvijenim zemljama, što je jedno od etičkih pitanja vremena koje dolazi. U zemljama u razvoju mali deo populacije ima dostup telefonu a samo socijalna elita ima sredstva za nove tehnologije. Negativna strana novih informacionih tehnologija je da mogu da olakšaju komunikacije i u realizaciji destruktivnih namera.

Generalno, molekularne biotehnologije mogu da utiču na privatni život stanovnika na načine koji nisu bili mogući do sada. Sve napred navedeno o mogućnostima korišćenja molekularnih biotehnologija nameće nove probleme – istovremeno materijalne i etičke prirode.

## Genetički modifikovane biljke

Svojstva organizma su određena njegovim genetičkim materijalom, odnosno strukturom molekula dezoksiribonukleinske kiseline (DNK) kao dvolančane zavojnice (5). Geni su diskretni segmenti DNK koji sadrže informacije neophodne za formiranje specifičnog proteina. Proteini u ćeliji funkcionišu kao enzimi u biohemijskim reakcijama ili kao strukturalne ili jedinice za skladištenje, doprinoseći ekspresiji nekog svojstva. Informacija iz DNK se prenosi na protein procesima transkripcije i translacije koji su kontrolisani setom regulatornih mehanizama tako da se određeni protein sintetiše samo gde i kada je potreban. Veoma divergentne vrste imaju sličan mehanizam prevođenja informacije iz DNK u protein tako da deo DNK iz na primer, bakterija može da se prenese i funkcionise u biljnoj ćeliji.

Rezultati Arber et al. (6) dobijeni u sistemu bakterijskih virusa pokazuju da enzimi restrikcije izolovani iz bakterija mogu da se koriste za precizno isecanje molekula DNK na određenim mestima definisanim sekvencama od četiri, pet i šest nukleotida što predstavlja osnovu razvoja tehnologije rekombinatne DNK. Korišćenjem DNK ligaze, enzima koji spaja dva kraja DNK, fragmenti DNK dobijeni korišćenjem enzima restrikcije mogu se spojiti (slepiti) u novi molekul izmenjene strukture. Ako su slepljeni fragmenti iz različitih organizama, njihovim spajanjem nastaje rekombinovani molekul DNK, koji se koristi za transfer gena u procesu transformacije u cilju dobijanja genetički modifikovanih organizama (GMO).

Postupak dobijanja genetički modifikovanih biljaka obuhvata osnovne procese kao što su: i) identifikacija i izolovanje gena od interesa, ii) kloniranje gena, iii) stvaranje transgena, iv) prenos gena, i v) uključivanje u procese oplemenjivanje. Svojstva biljaka kao što su prinos, tolerantnost na stres, tolerantnost na pesticide, otpornost na bolesti, modifikacija hemijskih osobina produkta su po pravilu poligenog karaktera tako da identifikacija samo jednog gena uglavnom nije dovoljna; potrebno je poznavanje mehanizma regulacije sadejstva gena, kakav sekundarni efekat mogu da imaju i kako intereaguju sa drugim genima.

Razvojem genomike odnosno analize genoma velikog broja organizama, veliki broj gena koji sadrže informacije za svojstva od interesa je dostupan. Do sada je završeno sekvencioniranje genoma velikog broja organizama na pr. *E.coli*, pirinča, *Arabidopsis thaliana*, čoveka, a u toku je sekvencioniranje genoma mnogih bakterija, biljnih i životinjskih vrsta.

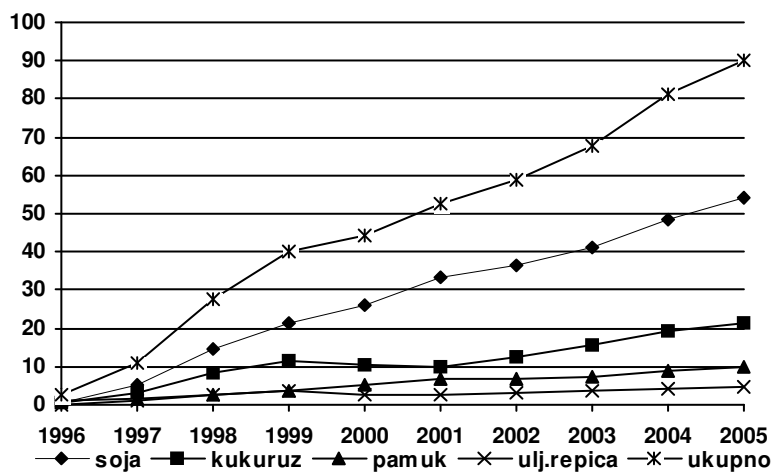
*Arabidopsis thaliana* je biljka iz porodice kupusnjača, koja ima samo pet hromozoma i daje potomstvo za samo sedam nedelja. Zbog velike sličnosti između biljaka, *Arabidopsis* može da se koristi kao model sistem i sekvence gena ove biljke, poznate funkcije mogu da se koriste kao molekularni – DNK markeri u identifikaciji i lokalizaciji homologih sekvenci u genomu drugih biljnih vrsta. Neki od tih markeri mogu da se koriste za identifikovanje hromozomskih regiona koji sadrže gene koji kodiraju kvantitativne osobine, uključujući tolerantnost na zaslanjenost zemljišta (7).

Početa istraživanja u dobijanju genetički modificiranih biljaka su bila usmerena na unošenje gena koji kontrolišu otpornost prema insektima, tolerantnost prema herbicidima i mikroorganizmima izazivačima bolesti. Progres je bio veoma brz i geni koji kontrolišu te osobine su već uspešno integrisani u nekoliko ekonomski značajnih biljnih vrsta kao što su kukuruz, soja, pamuk, uljana repica, šećerna repa, krompir, bundeva, kanola, banana i veliki broj ukrasnih biljaka, koje se komercijalno gaje na velikim površinama (8). Poseban pravac je dobijanje transgenih biljaka koje vrše sintezu specifičnih supstanci koje su od značaja za farmaceutsku industriju – PMP biljke (*Plant made pharmaceuticals*) (9).

Prve transgene biljke koje su imale aktivne strane gene unesene metodama molekularne biotehnologije su biljke duvana transformisane korišćenjem Ti - plazmida bakterije *Agrobacterium tumefaciens*-a kao vektora (10, 11). U našim eksperimentima vršena je transformacija kukuruza unošenjem istog marker gena koji kontrolišu aktivnost enzima neomicin fosfotransferaze (*NPT II*) primenom tri različita metoda: mikroinjektiranje u arhesporijalno tkivo nekoliko ćelijskih deoba pre mejoze, kokultivacijom suvog semena u rastvoru plazmidne DNK i korišćenjem polenovih zrna kao nosača plazmidne DNK (12, 13).

Pirinač je, za razliku od ječma posebno osetljiv na nedostatak gvožđa. Fragmentom genomske DNK ječma, koji sadrži dva *naat* gena koji kodiraju sintezu ključnog enzima u biosintezu fitosidofora, izvršena je transformacija pirinča. Fitosidofor je supstanca koju trave izlučuju iz korenovog sistema u zemljište i rastvara gvožđe i na taj način ga čini dostupnim biljci. Prinos pirinča transformisanog ovim genima je oko četiri puta veći u odnosu na originalni genotip ali neizmenjenog kvaliteta (14).

Ukupna površina zasejana komercijalno genetički modificiranim usevima u svetu u periodu od 1996 godine do 2005 godine se povećala sa 1,7 mil ha 1996 god. na 90 mil ha 2005 godine (grafikon 1.), (15). U istom periodu više od 85% genetički modificiranih useva je gajeno u industrijskim državama sa stalnim povećanjem u državama u razvoju, sa 14% 1997 god. na 24% u 2005 godini. Broj država u kojima se komercijalno gaje genetički modificirani usevi se povećao sa 17 u 2004 godini na 21 u 2005 godini i to u 11 država u razvoju i 10 industrijskih država. Najveće površine zasejane GM usevima su i u 2005 godini u SAD (49,8 mil ha), Argentini, Brazilu, Kanadi i Kini (tabela 1). U Evropi genetički modificirani usevi su komercijalno gajeni u Rumuniji, Španiji, Nemačkoj, Portugalu, Francuskoj i Češkoj Republici.



Grafikon 1. Dinamika rasta površina zasejanih genetički modifikovanim komercijalnim semenom

Tabela 1. Ukupna površina zasejana GM usevima u 2005 godini

Rang	Država	Površina (mil ha)	GM usevi
1*	SAD	49.8	Soja, kukuruz, pamuk, uljna repica, tikve
2*	Argentina	17.1	Soja, kukuruz, pamuk
3*	Brazil	9.4	Soja
4*	Kanada	5.8	Ulj. repica, kukuruz, soja
5*	Kina	3.3	Pamuk, pirinač
6*	Paragvaj	1.8	Soja
7*	Indija	1.3	Pamuk
8*	Južna Afrika	0.5	Kukuruz, soja, pamuk
9*	Urugvaj	0.3	Soja, kukuruz
10*	Australija	0.3	Pamuk
11*	Meksiko	0.1	Pamuk, soja
12*	Rumunija	0.1	Soja
13*	Filipini	0.1	Kukuruz
14*	Španija	0.1	Kukuruz
15	Kolumbija	<0.1	Pamuk
16	Iran	<0.1	Pirinač
17	Honduras	<0.1	Kukuruz
18	Portugal	<0.1	Kukuruz
19	Nemačka	<0.1	Kukuruz
20	Francuska	<0.1	Kukuruz
21	Češka Republika	<0.1	Kukuruz

Izvor: Clive James 2005 \*14 mega države koje gaje GM useve na preko 50.000 ha

## **Rizici u korišćenju proizvoda dobijenih preradom transgenih biljaka**

Genetički modifikovane biljke pružaju mogućnosti industriji proizvodnje hrane da razviju potpuno nove proizvode uz mnogo manja ulaganja. Primeri su proizvodnja: (i) velike količine skroba ili specijalnih vrsta skroba sa izmenjenom strukturom i dužinom lanaca (ii) veće količine specifičnih ulja ili eliminacija određenih masnih kiselina u ulju biljaka i (iii) proteina sa izbalansiranim sastavom aminokiselina. Enzimi i geni uključeni u biosintezu bojenih materija i mirisa su od značaja kako za industrijsku proizvodnju hrane tako i za potrošače te hrane.

Uticaj proizvoda dobijenih iz genetički modifikovanih biljaka na zdravlje ljudi zavisi od specifičnog hemijskog sastava samog proizvoda. Potencijalno korisni mogu biti proizvodi na pr. sa povećanim sadržajem svarljivog gvožđa ili ako je iz njega uklonjena supstanca koja izaziva alergiju a štetan ako je genetičkom modifikacijom unet i u toku proizvodnog procesa ostao aktivan novi alergen ili toksin (16). Genetičkom modifikacijom novi alergen može da se unese u hranu ne samo iz poznatog izvora alergeneosti već iz biljaka, bakterija ili virusa čija je potencijalna alergeneost nepoznata. Zbog toga je ispitivanje potencijalne alergeneosti obavezan deo procesa ispitivanja bezbednosti proizvoda dobijenih preradom genetički modifikovanih biljaka.

Postoje tri nivoa potencijalnog rizika: i) promotorska sekvenca koja je sastavni deo konstrukta jer je ključni faktor u ekspresiji gena; ii) sekvenca marker gena koji je sastavni deo konstrukta i ima funkciju u selekciji transformanata i iii) kodirajuća sekvenca gena koji se unosi u toku transformacije.

U eksperimentima transformacije većine biljnih vrsta koje se komercijalno gaje korišćena je promotorska sekvenca gena virusa koji izaziva mozaičnost karfiola, 35S sekvenca. Ho et al. (17) su ukazali na rizik da ova sekvenca može da izvrši aktiviranje ili inaktiviranje ekspresije gena biljke domaćina ili endogenih virusa ili da se rekombinuje sa virusima sisara sa nepredvidivim posledicama. Poseban rizik su geni čijim unošenjem se menjaju postojeći biohemijski procesi što uključuje genetičke manipulacije regulatornih gena. Izolovane su velike baterije regulatornih sekvenci što omogućava pouzdane promene ekspresije gena u specifičnim tkivima transgenih biljaka.

Mogućnost smanjenja ekspresije gena u transgenoj biljci ima značajnu ulogu kako u istraživanjima ekspresije i funkcije gena tako i u oplemenjivanju biljaka. Rezultati istraživanja insercije DNK donora u biljne hromosome homologom rekombinacijom (18) su pokazali da je moguće ovaj pristup koristiti u selektivnoj inaktivaciji gena.

U našim eksperimentima ispitivanja osobina transgenih biljaka, za čiju transformaciju je korišćena ista, 35S promotorska sekvenca, utvrđene su promene u aktivnosti određenih lokusa koji kontrolišu aktivnost izoenzima kao i promene kompleksa rastvorljivih proteina u klici zrelog zrna kukuruza (12).

Genetička modifikacija biljaka koje se koriste u proizvodnji hrane pružaju potrošaču, pored zadovoljenja osnovne funkcije hrane niz poboljšanja

kao što su smanjenje sadržaja alergena ili povećanje količine vitamina i drugih vitalnih supstanci (7,18). Jedan od primera je margarin koji zbog povećanog sadržaja biljnih sterola smanjuje sintezu holesterola i žitarice sa povećanim sadržajem gvožđa i vitamina B<sub>12</sub>, koje su pogodne za vegetarijance.

### **Identifikacija GMO u proizvodima dobijenim njihovom preradom**

Istovremeno sa razvojem metoda transformacije razvijane su i metode detekcije GMO bilo u originalnoj formi ili u proizvodu dobijenom od GMO. Nova vrsta hrane je definisana time da nije korišćena u velikom obimu i u okviru EU je procenjena i klasifikovana kao:

- elementarno ekvivalentna tradicionalnoj referentnoj hrani;
- dovoljno slična tradicionalnoj referentnoj hrani, ili
- nedovoljno ekvivalentna ili slična tradicionalnoj referentnoj hrani.

U genetički modifikovanom organizmu (GMO) transgeni produkt predstavlja razliku između originalnog i modifikovanog genotipa. U toku uporednog ispitivanja mogućnosti pojave neželjenih efekata genetičke modifikacije, korisno je vršiti poređenje GMO sa originalnim genotipom u identičnim uslovima. Ako se utvrdi da su GMO i originalni genotip izogeni izuzev unesenog stranog gena transformacijom, statistički značajne razlike mogu da budu indikativne da postoje sekundarni efekti (19).

Metode koje se trenutno koriste za detekciju genetičke modifikacije bazirane su na: (i) detekciji DNK kojom je izvršena modifikacija (metoda umnožavanja DNK zasnovana na lančanoj reakciji DNK polimeraze (Polymerase Chain Reaction - PCRmetoda) i (ii) detekciji odgovarajućeg transgenog proteinskog produkta imunološkim metodama (20).

Imunološkim metodama (ELISA) može da se detektuje i kvantifikuje količina određenog proteina u uzorku koji po pravilu sadrži mnoštvo drugih proteina.

Evropska Unija je donela zakon kojim se predviđa obavezno obeležavanje hrane koja sadrži više od 1% substrata iz genetički modifikovanog organizma (GMO). Osnovno pitanje koje se javilo je način uzimanja reprezentativnog uzorka izvan laboratorijskih uslova. Jedan od primera je kako uzeti uzorak semena iz kontejnera u kojima se čuva ili transportuje. Drugi primer je varijabilnost odnosa GMO i non-GMO DNK u umnoženom "homogenom" uzorku u laboratoriji. Ova dva primera ukazuju na ozbiljnost problema detektovanja prisustva GMO u hrani.

Korišćenje tehnologije genetičkih modifikacija (GM) u Evropi je trenutno vezano sa mnogim raspravama koje su prouzrokovane jakim protivljenjima korišćenju hrane proizvedene od genetički modifikovanih biljaka, posebno korišćenje sojine sačme u proizvodnji stočne hrane (21). Brašno dobijeno iz semena uljanih kultura se intenzivno koristi u stočnoj hrani uglavnom kao izvor proteina. Različita brašna imaju različitu hranljivu vrednost a sojino se smatra kao neophodan sastojak stočne hrane. U EU godišnja potrošnja sojinog brašna je oko 27 miliona tona od čega se većina koristi za

ishranu stoke. Razlog je što sojino brašno sadrži 44 – 50 % proteina. Glavni izvori su USA, Brazil i Argentina. U dva glavna izvora, USA i Argentina većina useva soje je genetički modifikovana (GM) tako da je najveći deo sojinog brašna koje se koristi za proizvodnju stočne hrane u EU poreklom od GM genotipova. U toku ove i sledeće godine (22) predviđaju se fundamentalne promene na tržištu GM i non-GM soje u nekoliko pravaca: (i) velika podrška pokretu u Engleskoj za korišćenje nemodifikovane soje; (ii) količine nemodifikovane soje koje će biti tražene na tržištu očekuje se da budu 22 – 25 miliona tona a ako se uključe zahtevi tržišta Azije očekuje se potrebna količina od 30 miliona tona; (iii) zbog gajenja soje genetički modifikovane unošenjem gena koji kontroliše toleranciju prema herbicidima (Roundup Ready Soybeans) u Argentini i Brazilu očekuje se pad količine nemodifikovane soje na 20 – 25 miliona tona. Na osnovu generalnih predviđanja očekuje se porast potreba u nemodifikovanoj soji što podrazumeva povećanje broja zemalja proizvođača sa mogućnošću striktno zakonske regulative o gajenju i korišćenju GM organizama i proizvoda od njih. Jedna od izvesnih posledica očekuje se povećanje cene mesa i drugih proizvoda poreklom od životinja koje nisu hranjene genetički modifikovanom sojom a interesantna će biti reakcija potrošača (23).

### **Umesto zaključaka**

Bioetika je disciplina koja obuhvata etičke implikacije kako bioloških istraživanja tako i primenu rezultata tih istraživanja posebno u medicini i proizvodnji hrane, kao osnove opstanka civilizacije. Ubrzani razvoj ove oblasti kao grane primenjene etike je izrazit u poslednje tri decenije a u budućnosti značaj će brzo rasti, jer biološka revolucija otvara nove šanse, novu moć i nove dileme (24, 25). Centralna pitanja se okreću oko istraživanja načina na koji dostignuća u nauci utiču na naše živote, zdravlje, društvo i životnu sredinu. Molekularna Biotehnologija zasnovana na genetičkom inženjerstvu otvara niz etičkih pitanja a bioetika – nova grana etike razmatra, pored genetički modifikovanih biljaka, kloniranje životinja i čoveka, ispitivanja i evidenciju naslednih bolesti, pre-natalnu i pre-implantacionu dijagnostiku, eksperimente na humanim embrionima, ksenotransplantaciju i terapiju zamenom gena. Postoje stroge moralne zamerke novim patentima koji pretvaraju život i životne potrebe u robu. Patentirano seme dobijeno genetičkim inženjerstvom sprečavaju proizvođače da čuvaju ili ponovo seju seme GM biljaka (26) i na taj način se intenzivira monopol kompanija nad hranom, koje su već marginalizovale i uništile život i porodice poljoprivrednih proizvođača širom sveta. Biljke i znanje su uzeti od pojedinih domaćinstava i zajednica i patentirane kroz flagrantan akt „biopiraterije“. Ovo se naročito odnosi na uzimanje resursa iz nerazvijenih zemalja. Genetičkim inženjerstvom izmenjene životinje, sekvence gena, ćelijske linije uključujući i humane kao i originalne baze DNK podataka humanih populacija su patentirane i vlasništvo su korporacija, ugrožavajući ljudska prava i dostojanstvo. Neke od kompanija su reagovala kreiranjem internih etičkih programa dok se u energetsom sektoru etičke inicijative koncentrišu na zaštitu

životne sredine i odgovornost kompanija i društva u celini (27). Kompanije u farmaceutskoj industriji, biotehnologiji i industriji proizvodnje hrane moraju ne samo da poštuju širok spektar zakonskih regulativa i održavaju balans profita kao motiva i socijalne odgovornosti nego su obavezne da poštuju pravila etike pri organizaciji poslovanja u oblasti bioloških nauka. Ovo uključuje proizvodnju i prodaju hrane proizvedene od genetički modifikovanih organizama; eksperimente sa genskom terapijom i istraživanja embrionalnih ćelija u cilju proizvodnje novih terapijskih proizvoda; testiranje lekova na životinjama; ujednačavanje cena sa cenama u zemljama u razvoju; potencijalnu zloupotrebu genetičkih informacija; komercijalizaciju i ostvarivanje profita od genetičkih i bioloških uzoraka i konačno kreiranje transgenih životinja za proizvodnju lekova (28, 29).

Primer drastičnog i arogantnog pristupa kompanija osetljivom pitanju kao što je hrana proizvedena od GMO, je zahtev kompanije *Uniliver* Engleskoj Agenciji za Standard da odobri korišćenje genetički modifikovanog (GM) proteina iz ribe, koja živi u hladnom severnom moru, u procesu proizvodnje sladoleda. Predlog je otvoren za diskusiju (30). Ovaj protein štiti ribu u hladnim vodama sprečavajući formiranje velikih kristala leda. Prijava je istovremeno dostavljena FDA (SAD) (31) i GRAS (Australija i Novi Zeland), (32). Nažalost, poslednje dve prijave su prihvaćene i odobrene. GM – protein je proizveden u transgenom pekarskom kvascu i proizvod je sintetičke aproksimacije strukture gena za antifriz protein. Kodirajuća sekvenca je izmenjena da bi se olakšala proizvodnja u kvascu bez promene sekvence aminokiselina. Ubačene je višestruk broj kopija u hromozom kvasca u cilju pomoći sinteze proteina u kvascu (33). Proizvodnja proteina u kvascu, namenjenog ljudima, bilo kao hrana ili za terapiju je opterećena problemom sekundarne modifikacije proteina glikozilacijom ili drugim procesima modifikacije, kada se taj protein javlja kao antigen (33). Da li se površna istraživanja u Uniliver-u alergnosti proteina, koji će biti korišćen u proizvodnji sladoleda koji će konzumirati milioni ljudi, izvršena adekvatno pravilima ispitivanja alergnosti ili drugih imunih reakcija čoveka. Argument da se sladoled već koristi u SAD i Novom Zelandu nije od vrednosti, jer nije bio obeležen kao proizvod koji sadrži GM komponentu i bilo koji problem kao posledica prisustva GM produkta nije mogao biti prepoznat. Primer ekspresije gena pasulja unesenog u grašak, koji se u procesu glukozilacije kao transgen transformisao u jak imunogen, izazivajući fatalne posledice u plućima miša, ukazuje na ozbiljnost rizika korišćenja GM hrane (34).

Prema Mae-Wan Ho (35) ključna prepreka otvorenoj demokratskoj debati je što su istraživači, koji razvijaju tehnologije skoro u celini absorbirani u komercijalni sektor. Istraživači, svesno ili nesvesno, informišu javnost na način koji služi komercijalnom interesu kompanijama za koje rade. Socijalna etika se ubrzano pretvara u neprijatelja etike nauke. Postoji izražena tendencija u svim debatama o tehnologijama da se nauka ne dira, smatrajući je odvojenom od tehnologije i etike i izolovanom od društva u celini. Ovo razdvajanje je veštačko

i neopravdano i koristi se za prikrivanje niza štetnih posledica. Neophodno je imati nezavisnu nauku, definisati novu etiku nauke koja može da dovede do bezbednog i održivog korišćenja tehnologija čija moć se stalno povećava. U istom radu (35) dato je koncizno obrazloženje neophodnosti etičkog odnosa istraživača i kompanija prema načinu korišćenja rezultata njihovih istraživanja, posebno značaj bioetike.

Međutim, Biotech-kompanije su vrlo osetljive kada nezavisni istraživači izraze sumnju ili kritiku i ukazu na opasnosti korišćenja GMO. Postoji niz primera da su takvi naučnici „izbrisani“ iz nauke. Jedan od njih je vezan za ukazivanje na opasnost od „protoka“ gena. U časopisu *Nature*, Novembra 2001, istraživači David Quist i Ignacio Chapela su objavili podatke da je, uprkos zabrane gajenja *Bt*-kukuruz od strane vlade Meksika, GM seme uneseno iz SAD i zasejano u Meksiku. Utvrđena je kontaminacija lokalnog kukuruza. Ukazano je da je Centralna Amerika domovina kukuruza i genetička kontaminacija može da ima nesagledive posledice na biologiju jedne od najznačajnijih gajenih biljaka u svetu (36). Pod pritiskom Biotech kompanija, urednik *Nature*-a je opozvao objavljeni rad Marta 2002. godine. U Aprilu 2002. godine izvršni direktor Nacionalne Komisije za Biodiverzitet Meksika je potvrdio da su razmere kontaminacije daleko veće od onih koje su navedeni istraživači objavili. Meksički istraživači su ubeđeni da je seme vlasništvo Monsanto, Aventista i Sygente. Navedene kompanije su, pozivajući se na poslovnu tajnu odbile da daju pouzdane genetičke informacije. U pismu *Guardian* – u Chapela je između ostalog postupak urednika *Nature*-a komentarisao kao koliziju interesa bioloških nauka i komercijalnog interesa moćnih kompanija. Podrazumeva se da je Chapela imao drastične posledice koje su ublažene masovnom kampanjom, naročito pismima na Internet-u (37).

Drugi, ne manje drastičan primer je Direktora Leopold Centra Državnog Univerziteta u Ajovi, SAD, koji je kritikovao i rigorozno dokumentovao destrukciju društva i životne sredine kao posledica industrijalizacije poljoprivrede, uključujući i GM biljke. Oktobra 2005 platio je cenu hrabrosti i iskrenosti: bez obrazloženja je smenjen sa mesta Direktora i premešten na drugi sprat Instituta kao „uvažena ličnost“ (38).

Na osnovu dvogodišnjih istraživanja i intervju u 13 kompanija u oblasti bioloških nauka, prema metodi istraživačkog etičkog odbora Univerziteta u Torontu, grupa istraživača (39) je zaključila da svaka kompanija, bez obzira na veličinu može da počne sa jakim etičkim rukovodstvom i istovremeno uključi i eksternu etičku ekspertizu; drugi pristup je istovremena primena internih i eksternih etičkih mehanizama u kompanijama koje se bave biološkim naukama; veće kompanije mogu da razviju etičku evaluaciju i mehanizme izveštavanja sa ciljem opstanka kompanije i ohrabriranja rukovodstva za praćenje rezultata donesenih etičkih odluka.

Ovaj delimični prikaz dobijenih rezultata u oblasti primene molekularne biotehnologije u kreiranju genetički modifikovanih organizama – GMO i njihovog korišćenja u lancu proizvodnje hrane jasno ukazuje na neophodnost

poštovanja osnovnih ljudskih prava i etičkih principa kada su u pitanju hrana, životna sredina i zdravlje.

### Reference

1. Ethical issue in food and agriculture (2006):  
<http://www.fao.org//docrep/003/x9601e/9601e02htm>
2. Persley, G.J. and M.M. Lantin. (Eds.) 2000: Agricultural biotechnology and the poor. Proceedings of an international conference, Washington D.C. oct. 21-22, 1999. [www.cgiar.org/biotech7rep0100/contents.htm](http://www.cgiar.org/biotech7rep0100/contents.htm).
3. Boguski R. (1994): [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)
4. Ethical issue in food and agriculture (2000): <http://www.fao.org//docrep/003/x9601e/9601e04.htm>
5. Watson, J.D. and F.H.C.Crick. (1953) Nature, 171, 737.
6. Arber ,W., L.Enquist, B.Hohn, N.E.Murray and K.Murray. (1983) Experimental methods for use with lambda. In *Lambda* II. 8Ed. R.W.Hedrix et al.) p. 433. Cold Spring Laboratory, Cold Spring Harbor, New York.
7. Zhu,J.-K. (2000): Genetic analysis of plant salt tolerance using arabidopsis. Plant Physiol. 124, 941 – 948.
8. James,C. (2001): global reeviw of commercialized transgenic crops. ISAAA Briefs No.24, preview. ISAAA.Itaca, NY.
9. Stevens,G. (2002):Implicationsof pollen research to APHIS pharmaceuticals corn regulations. ISB News Report. Sept.2002.
10. Horsch B.R., E.J. Fry, L.N. Hoffmann, D. Eichholtz, G.S. Rogers, and T.R. Fralay. (1985): A simple and general method for transferring genes into plants. Science, 227, 1229-1231.
11. De Block,M., L. Herrera-Estella, M.Van Montagu, J. Schell, and P. Zambryski. ( 1984): Expression of foreign genes in regenerated plants and their progeny. EMBO J. 3,1681-1689.
12. Konstantinov, K., S. Mladenović, G. Saratlić, S.Gošić, B. Tadić, V. Šukalović, J. Dumanović. (1993): Transgenic maize: disturbance of host genome expression by bacterial gene integration. In: breeding and Molecular Biology: accomplishments and future promises. Proc. Of XVIth Conference of maize and Sorghum EUCARPIA Section. June 6–9,1993. Bergamo, Italy.
13. Mladenović, S., K. Konstantinov, M. Denić, and B. Tadić. (1991): Genetika, 23, pp.191.
14. James C.: Global status of commercial Biotech/GM crops 2005. ISAAA Briefs No.34, 2005
15. Prescott, V.E., P.M. Campbell, A. Moore, J. Mattes, M.E. Rothenberg, P.S. Foster, T.J. Higgins, S.P. Hogan (2005): Transgenic expression of bean alpha-amylase inhibitor in peas results in altered structure and immunogenicity. J. Agric. Food. Chem. 53(23), 9023-30.
16. Weksler, M.E. (2000): GM food opportunities to improve human health. OECD Conference on GM food, Edinburg, Scotland
17. Ho, M.,Ryan, A and J. Cummins. (1999): cauliflower mosaic virus promoter – a recipe for disaster. Microb. Ecol. Health Dis. 10, 33-59.

18. Paszkowski, J., M. Baur, A. Bogucki, I. Potrykus. (1988) EMBO J.7, 4021
19. *Anonimous*: (1999).Methods for detection of GMO grain in commerce, [www.ac-pa.org/public/issues/biotech/deteachment.html](http://www.ac-pa.org/public/issues/biotech/deteachment.html)
20. James, C (2005): Global status of commercial Biotech crops. ISAAA Briefs No.4
21. HMSO, (2000): UK House of Commons Agriculture Committee: The segregation of Genetically Modified Foods, London, 2000.
22. Brookes, G. (2002): GM and non GM ingredient market dynamics and implications for the EU feed industry. *Agro food Industry hi-tech*. January/February 2002, pp.13 – 16.
23. Mackie, E.J., A.D. Taylor, D.L. Finegold, A.S. Daar, P.A. Singer (2006): Lessons on ethical decision making from bioscience industry. *Plos Med* 3(5):e129.
24. <http://ep.llni.gov/bep/english/19/sEth.html>.
25. <http://www.uib.no/People/mblpp/bioethics/Bioethics.html>.
26. Brittenden. Wayne (1998):“Terminator“ seeds threaten a barren future for farmers. *The Independent*, March 22, pp.3.
27. Terris, D (2005): *Ethics at work: Creating virtue at an American corporation*. Waltham (Massachusetts): Brandies University Press 160p.
28. Turner, L (2004): Bioethics Inc. *Nat biotechnol*. 22: 947-948.
29. Dhanda, R.K (2003): Time for bioethics and business to start talking. Commerce and idealism need to be mutually exclusive. *Nature* 421:573.
30. Lewis, S (2006): Application for the approval of ice structuring protein typ III HPLC12 preparation for use in edible ices. Safety and Assurance Centre 2006. <http://www.acnfp.gov.uk/assess/fullaplics/isp>
31. US Food and Drug Administration Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN000117 (2003): <http://www.cfsan.fda.gov/~rdb/opa-g117.html>
32. Food Standards Australia New Zeland Initial Assessment Report Application A544 Ice Structuring Protein as a Processing Aid for Ice Cream and Edible Ices. (2004): [http://www.foodstandards.gov.au\\_srefiles/A527\\_Dimethyl\\_ether\\_IAR\\_Final.pdf](http://www.foodstandards.gov.au_srefiles/A527_Dimethyl_ether_IAR_Final.pdf)
33. Wildt, S., T.U. Gerngros (2005): The humanization of N-glycolysation pathway in yeast. *Nat. Rev. Microbiol*. 3(2),119-128
34. Verdier, J.M., K.W. Evert, M. Griffith, C.L. Hew (1996): An immune response to ice crystals in North Atlantic fishes. *Eur.J. Biochem* 241(3),740.
35. Mae-Wan Ho (2000): *Towards a New Ethics of Science*. Institute of Science in Society. <http://www.biosafety-info.net/printpage.php>
36. Brown, P., (2002): „Mexico’s Vital Gene Reservoir Polutted by Modified Maize“, *The Guardian*, May 24, 2002, p.8.
37. Chapela, H.I : Letters Column, *The Gardian*, May 24, 2002, p
38. Vidal, J. (2005): „Enemy of the State“. *The Guardian*, January 19, 2005.
39. Mackie, E. J., D.A. Taylor, L.D. Finegold, S.A. Daar, P.A. Singer (2006):
40. Lessons on Ethical Decision Making from Bioscience Industry. *Plos Medicine*, Vol.3 No.5, May 2006.