

Presoja okoljskih tveganj pridelave GSR

Branka Javornik

- 4. Vrednotenje možnih škodljivih vplivov gensko spremenjenih rastlin na okolje
- 4.1 Prenos genov iz transgene kmetijske rastline v netransgeno kmetijsko rastlino
- 4.2 Prenos transgenov v sorodne rastline
- 4.3 Prenos transgenov v druge organizme
- 4.4 Nenamerni vplivi na neciljne organizme
- 4.5 Viri

4 Vrednotenje možnih škodljivih vplivov gensko spremenjenih rastlin na okolje

Glede na splošno sprejet "princip previdnosti" pri vrednotenju okoljskih tveganj je vsak nov, nepoznan produkt ali proces subjekt presoje tveganja preden pride v splošno uporabo. Gensko spremenjene rastline so načeloma nove, nepoznane - torej dovolj nepredvidljive, da zahtevajo celovito presojo z namenom minimiziranja tveganja, ki bi lahko škodilo zdravju človeka ali okolju.

Na konceptualni ravni je presoja tveganja relativno preprosta in je sestavljena iz združevanja dveh komponent, nevarnosti (hazarda) in izpostavljenosti (ekspozicija). Presoja tveganja združuje verjetnost pojava nevarnosti in izpostavitve tej nevarnosti, ki bi lahko rezultirala v možnih škodljivih vplivih. Pri sproščanju GSR pomeni »nevarnost« dejansko lastnost transgene rastline, izpostavljenost pa pomeni možnost, da bo občutljivi prejemnik (osebek, populacija, sistem) v stiku s to GS rastlino. Pri presoji tveganja je potrebno tako identificirati nevarno lastnost GSR, ogrožene populacije, pogoje izpostavljenosti in meriti učinke na polju. Zato je potrebno veliko različnih podatkov, ki se z novimi geni še povečujejo. Zanesljivost in kredibilnost presoje tveganja možnih škodljivih vplivov na okolje zavisi od natančnosti in popolnosti podatkov, ki jih praksa opredeljuje s pravnimi predpisi. Za pridobivanje zadostnih podatkov so izdelana natančna vprašanja, ki sestavljajo tehnično dokumentacijo in so osnova za presojo tveganja, ki se vrši od primera do primera (case-by-case). Podatki se nanašajo na starševske organizme, gensko spremenjene rastline, metode transformacije, lastnosti transgena, toksičnost produkta transgena in vmesnih produktov, občutljivost neciljnih organizmov, opise lokacije sproščanja, ekološke vplive in monitoring.

Namen ocene okoljskega tveganja, povezanega z gensko spremenjenimi rastlinami, je določitev in ovrednotenje tveganja, ki bi lahko nastalo s sproščanjem v okolje in kultivacijo GS rastlin v primerjavi z enakimi netransgenimi rastlinami, za katere nam je znana pretekla dolgoletna varna uporaba. Pri presoji tveganja primerjamo lastnosti in karakteristike gensko spremenjene rastline z vključeno novo lastnostjo z enako rastlino, ki te nove lastnosti nima in pri tej primerjavi ugotavljamo dejansko enakovrednost med obema rastlinama. Namen te primerjave je ocenjevanje, ali transgena rastlina prinaša nova ali obsežnejša tveganja za okolje, in ali je mogoče obstoječo netransgeno rastlino nadomestiti s transgeno brez povečanih negativnih vplivov za okolje. Za ocenjevanje okoljske sprejemljivosti GSR je potrebno dobro poznavanje lastnosti gojenih rastlin (botanike), kmetijskih tehnologij pridelovanja (agronomije) ter okoljskih razmer v kmetijskih in naravnih habitatih (ekologija). Poznavanje botanike poljščine, agronomske prakse in ekologije je ključnega pomena za identifikacijo in ovrednotenje škode v okolju, ki bi lahko nastala zaradi pridelovanja transgenih poljščin. Poznavanje agronomske prakse je pomembno tudi s stališča upravljanja s tveganjem, ker

lahko z ustreznimi kmetijskimi tehnologijami in drugimi ukrepi odločilno vplivamo na zmanjšanje ali celo omejitev ocenjenega okoljskega tveganja.

Pri opisu kmetijske rastline (prejemnice oz. starševske rastline za gensko spremembo) za namene ocene okoljskih tveganj pridelovnja GSR je potrebno natančno navesti vrsto podatkov splošne narave, in sicer taksonomsko razvrstitev rastline in njeno geografsko razširjenost, podatke o načinu razmnoževanja rastline in spolni kompatibilnosti z drugimi kultiviranimi ali divjimi rastlinskimi vrstami, zmožnosti preživetja in razširjanja rastline. Specifične lastnosti pa se nanašajo na določena okolja in vključujejo podatke o razširjenosti in ekologiji sorodnih rastlinskih vrst ter samosevnih biotipov s podatki o možni plevelnosti, opisi naravnega habitata rastline, vključno s podatki o naravnih predatorjih, parazitih, kompetitorjih in simbiotih v primeru, da rastlinska vrsta ni naravno prisotna v določenem okolju, potencialno pomembne interakcije rastline z drugimi, nerastlinskimi organizmi v ekosistemu, kjer običajno raste, ter podatke o toksičnih učinkih na človeka, živali ali druge organizme.

Gensko spremenjena rastlina vsebuje nov(e) gen(e), ki pogojujejo neko lastnost rastline, in za razumevanje te genske spremembe ter za ocenjevanje pojava nenamernih lastnosti je potreben natančen molekularni opis vnešenega genskega elementa te gensko spremenjene rastline. Pri GSR se podatki nanašajo na značilnosti spremenjene lastnosti, molekularne opise o številu, stabilnosti in izražanju vključenih segmentov DNA v genomu rastline. Za ugotavljanje, ali so se zaradi vnosa novih lastnosti v rastlino spremenile njene znane karakteristike, primerjamo transgeno in netransgeno rastlino na lastnosti kot so način razmnoževanja, diseminacije, preživetja ali prenos genskega materiala v druge rastline, interakcije s ciljnimi in neciljnimi organizmi ter ocenjujemo pojave kakršnihkoli toksičnih ali škodljivih vplivov na zdravje človeka in za okolje. Gensko spremenjena rastlina postopoma prehaja v okolje, najprej se testira v poljskih poskusih in po teh preverjanjih eventualno pridobi dovoljenje za kmetijsko pridelavo. Za ocenjevanje vplivov GSR na okolje so potrebni natančni opisi lokacije in velikost parcel(e), ekosistema mesta sproščanja vključno s klimo, floro in favno, nadalje opisi kateregakoli spolno kompatibilnega divjega sorodnika ali gojene rastlinske vrste, ki raste na (ob) mestu sproščanja, in ali so v bližini mesta sproščanja uradno zabeleženi biotopi ali zaščitena območja, ki bi lahko bila prizadeta.

Na osnovi opisov rastline, genske spremembe in okolja je mogoče ocenjevati potencialne vplive GSR na okolje, kjer so obravnavane predvsem sledeče možnosti:

- možnost, da gensko spremenjena rastlina postane bolj trdoživa kot rastlina prejemnica oz. starševske rastline v kmetijskih habitatih ali bolj agresivna v naravnih habitatih,
- možnost nastanka selektivnih prednosti ali pomankljivosti drugih spolno kompatibilnih rastlinskih vrst, ki bi lahko nastale zaradi genskega prenosa iz gensko spremenjene rastline,

- možnost pojava novih vplivov na okolje zaradi interakcije med gensko spremenjeno rastlino in ciljnim organizmi,
- možnost pojava novih vplivov na okolje, ki bi nastali zaradi potencialnih interakcij z neciljnimi organizmi.

Glede na ugotovljene možne škodljive vplive GSR na okolje je za njihovo zmanjšanje ter za upravljanje s tveganjem potrebno predpisati ustrezne kmetijske tehnologije pridelovanja ter izdelati načrte za nadzor izvajanja predpisanih tehnologij in načrte dolgoročnega monitoringa za spremljanje pričakovanih interakcij med okoljem in GSR in za ugotavljanje eventualnih nenamernih vplivov.

V nadaljevanju bodo predstavljeni nekateri vidiki prenosa (trans)genov v netransgene rastline, v sorodne rastline, v druge organizme ter vplivi GSR na neciljne organizme zaradi pomena pri presoji ekoloških tveganj uporabe GS rastlin.

4.1 Prenos genov iz transgene kmetijske rastline v netransgeno kmetijsko rastlino

Prenos genov iz transgene v netransgeno poljščino in obratno lahko poteče na tri načine: prenos genov s pomočjo prenosa peloda med polji, prenos genov preko semen, ki so se pomešala med razmnoževanjem, transportom ali pri sejanju, in prenos genov preko posrednega gostitelja, kjer so pomembni predvsem samosevci kot bazen genov.

Prenos genov s pelodom močno zavisi od kmetijske prakse (velikost polj in kolobarjenje) in od sposobnosti rastline za razširjanje peloda. Tveganje prenosa genov med različnimi polji iste poljščine zavisi predvsem od tujeprašnosti rastline, ki se le izjemoma spreminja s klasičnimi ali biotehnološkimi pristopi žlahtnjenja (npr. moška sterilnost). Žlahtnitelji in pridelovalci uporabljajo to lastnost za soglasno sprejete izolacijske razdalje med polji, ki preprečujejo medsebojno opraševanje in s tem zagotavljajo genetsko čistot semen. Vendar pa je toleranca za prenos transgenov veliko nižja kot je za vzdrževanje genetske čistosti. V ta namen je bilo opravljenih veliko študij, ki so poskušale ugotoviti ustrezne izolacijske razdalje za preprečevanje prenosa (trans)genov med polji. Zgodnje študije so bile opravljene večinoma na poskusnih poljih, pozneje pa so začeli meriti prenos genov tudi na večjih površinah redne pridelave transgenih rastlin, predvsem oljne orgrščice. Za to poljščino, na primer, študije kažejo, da je možna nizka stopnja križanja oziroma genetske izmenjave med rastlinami na različnih, tudi oddaljenih, poljih. Kakšen vpliv ima lahko ta nizka stopnja prenosa transgena je stvar subjektivne presoje, pomembno pa je ovrednotiti prenos transgena predvsem na lastnosti, ki jih transgen pogojuje v rastlini. Izolacijske razdalje lahko bistveno zmanjšajo prenos (trans)genov, vendar lahko v mnogih primerih

pride do omejenega križanja, kar je potrebno upoštevati pri ocenjevanju okoljskih tveganj.

Pri prenosu genov med poljščinami so nekatere študije obravnavale možnost, da bi lahko gensko spremenjena rastlina postala invazivna za naravno okolje tako, da bi *de novo* naselila nek naravni habitat ali da bi se transgen prenesel v obstoječe podivjane populacije in bi s tem povečal njihovo invazivnost. Izražena je skrb, da bi lahko nove lastnosti rastlin vodile k tekmovalnosti z divjimi varietetami in da bi rastlina lahko postala nadležen plevel na polju. Nasproti tej trditvi je mnenje, da so današnje "moderne" poljščine kompleksne sorte žlahtnjene za intenzivno kmetijstvo in niso nagnjene k tekmovalnosti v naravnem okolju, kjer ni gnojil, pesticidov in ostalih ukrepov, ki jih uporablja sodobno kmetijstvo. Pri ocenjevanju tveganja glede tekmovalnosti gensko spremenjenih rastlin se opazuje ali lahko rastlina preživi daljši čas v okolju kot netransformirana rastlina, na primer kot samosevci, ki preživijo do naslednje sezone in postanejo plevel v sklopu novega posevka, ali da rastlina naseli nov habitat in tvori t. i. podivjano populacijo. Pri oljni ogrščici je bilo ugotovljeno, da so se podivjane populacije pojavile predvsem zaradi razsutja semena ali premeščanja kmetijske zemlje in ne s prenosom transgenov s pelodom. Ta opazovanja opominjajo na preišljen vnos novih lastnosti v oljno ogrščico ter na zagotavljanje ustreznega ravnanja s pridelki transgenih rastlin po pravilu.

Pri ocenjevanju ali ima transgena rastlina spremenjene lastnosti v smislu povečanega potenciala plevelnosti je potrebno preveriti, ali se je spremenil način razširjanja semen ter njihova dormantnost in kalivost v primerjavi z netransgenimi rastlinami. Podobna primerjava se vrši pri vrednotenju kompetitivnosti nekaterih agronomskih lastnosti (npr. odpornost na bolezni in škodljivce) in ali se je spremenila toleranca na abiotske stresne dejavnike. Lastnosti, ki jih mora vsebovati rastlina, da bi postala plevel, so številne in plevelnost zavisi od selekcijskih prednosti mnogih kombinacij genov, ki so praviloma zelo drugačni od agronomsko koristnih genov. Vendar lahko lastnosti, ki povečajo odpornosti na okoljske neugodne dejavnike (suša, nizke temperature), prispevajo k boljšemu preživetju in distribuciji rastline v kmetijskem ali naravnem okolju. Prav tako lahko geni, ki pogojujejo odpornosti na bolezni in škodljivce, prispevajo k eventualni povečani sposobnosti preživetja in razširjanju rastline v okolju.

4.2 Prenos transgenov v sorodne rastline

Vertikalni prenos transgena od gensko spremenjene rastline na divjega sorodnika je eden glavnih pomislekov za širše uvajanje GSR v kmetijsko pridelavo. Prenos genov ni nekaj novega, značilnega le za GSR, saj je dobro poznan fenomen v populacijski in evlucijski genetiki. Vertikalni prenos genov iz kulturne (transgene) rastline na divje sorodnike zahteva uspešno križanje med tema dvema rastlinama. Križanje lahko opišemo kot medsebojna

“izmenjava dednega materiala” med različnimi individualnimi rastlinami. Ti osebki so si lahko genetsko podobni, lahko se razlikujejo v nekaj ali več genih ali pa so si genetsko zelo različni. Pripadajo lahko različnim populacijam iste taksonomske vrste (znotrajvrstna in medpopulacijska križanja) ali različnim taksonomskim vrstam (npr. medvrstna križanja). S stališča kmetijstva in pridelovanja hrane je križanje izjemno pomembno, ker je to glavni mehanizem za vzgojo novih sort kmetijskih rastlin in večina današnjih kulturnih rastlin je rezultat križanj med različnimi obstoječimi sortami ali križanji z divjimi sorodniki.

Prva in poglobitna zahteva za uspešno križanje med dvema rastlinama je, da sta spolno kompatibilni. Verjetnost za uspešno križanje pa zavisi še od velikega števila drugih, med seboj odvisnih dejavnikov, kot na primer:

- nivo produkcije peloda (transgene) rastline,
- hitrost oploditve s tujim oz. lastnim pelodom rastline prejemnice,
- hitrost razširjanja peloda donorske (transgene) rastline,
- lastnosti opraševalnih vektorjev (žuželk); nekatere rastline imajo strukturirane cvetove za visoko specializirane opraševalce, kar predstavlja zelo učinkovito genetsko izolacijo (mehanska prepreka),
- prostorska razdalja med donorjem peloda in divjim prejemnikom peloda (prostorska izolacija). Kako velika prostorska razdalja še omogoča oprašitev, zavisi od turbulence vetra, hitosti in smeri preleta žuželk, časa živosti peloda itd.,
- gostota rastlin populacije prejemnice,
- razlike v času cvetenja med transgeno rastlino in divjo populacijo (fenološka izolacija).

Pri ocenjevanju tveganja možnih škodljivih vplivov, povzročenih s prenosom genov, je potrebno ločevati med zmožnostjo križanja transgene rastline in divjega sorodnika ter med stabilno vključitvijo (*introgresijo*) transgena iz GSR v genom divjega sorodnika. Proces introgresije je zahtevnejši od preproste oprašitve in križanja, ker vključuje več generacij križancev, ki morajo biti istočasno prisotni na skupnem prostoru daljše obdobje, in ki medsebojno izmenjujejo (trans)gene. Pogostost introgresije v naravi je veliko nižja kot je zmožnost križanja med različnimi rastlinskimi vrstami in je opisana večinoma pri različnih podvrstah. Razlog za nizko pogostnost introgresije v naravi je moč iskati tudi v pomanjkanju ustreznih detekcijskih markerjev za sledenje introgresije. Poznane pa so izkušnje iz žlahtnjenja, kjer poteka stabilno vključevanje gena iz divjih sorodnikov v kulturno sorto več generacij ob visokem selekcijskem pritisku in takšni pogoji niso vedno navzoči v naravnih razmerah. Vendar so obsežne molekulske raziskave nedvoumno pokazale možnost prenosa genov iz kmetijskih rastlin v divje sorodnike ter stabilne vključitve genov v divje vrste. Podatki teh raziskav so služili za razdelitev v pridelavi najbolj razširjenih ter potencialno gensko spremenjenih poljščin v

štiri varnostne razrede glede na pogostnost introgresije genov iz poljščin v divje sorodnike:

- *poljščine z zelo nizkim tveganjem*, pri katerih ni pričakovati introgresije transgenov v divje sorodnike, so soja, ječmen, proso, fižol, orešček in krompir;
- *poljščine z nizkim tveganjem*, pri katerih je bila ugotovljena nizka pogostnost introgresije transgenov v divje sorodnike, so koruza, riž in bombaž. Za navedene transgene poljščine se priporoča kot previdnostni ukrep pridelovanje izven območij, kjer se pojavljajo divji sorodniki. Na primer, transgena koruza se ne prideluje v območjih rasti divje sorodnice teosinte, čeprav je dokazano, da je možen le prenos genov iz koruze v teosinto;
- *poljščine z zmernim tveganjem* so lucerna, sladkorna pesa, pšenica, oljna ogrščica in sončnica, za katere je dokazana introgresija genov iz kulturne rastline v divje sorodnike. Divji sorodniki navedenih poljščin lahko tvorijo večje populacije v naravnih habitatih ali pa so kmetijski plevel. Vsekakor pa je potrebno pri ocenjevanju potencialnega vpliva na okolje upoštevati vsak posamezen primer posebej. Introgresija herbicidnega transgena v plevel bi vplivala na kontrolo plevela v posevkih, vendar bi bil ta vpliv omejen na kmetijski prostor, kjer se uporablja herbicid. Transgen, ki pogojuje odpornost na škodljivce ali bolezni, bi lahko povzročil ekološke ali agronomske probleme. Takšen transgen bi lahko povečal zmožnost preživetja divje vrste, če bi na primer ciljni škodljivec omejeval velikost njene populacije ali razširjenosti. Oljna ogrščica se lahko križa z mnogimi vrstami, vendar je do danes najbolj dokazana introgresija v strniščno repo (*Brassica rapa*). V naravnih razmerah na polju je bila ugotovljena nizka stopnja križanja, kar ne predstavlja visokega tveganja za introgresijo. Vendar je bil pozneje potrjen prvi hibrid med plevelom in poljščino v posevku transgene oljne orgščice, kjer je prišlo do introgresije herbicidnega transgena v *B. rapa*;
- *poljščina z visokim tveganjem* za pogosto introgresijo transgenov v divje sorodnike je sirek. Sirek se križa z divjimi populacijami iste vrste, *Sorghum halepense* (divji sirek), *S. almum* in *S. Propinquum*, dokazana je introgresija v prvi dve sorodni vrsti. Divji sirek je eden najbolj nadležnih plevelov in bi bilo zato verjetno zelo nespametno transformirati sirek za odpornost na herbicid.

Stabilna vključenost transgenov iz gensko spremenjenih rastlin v divje sorodnike je mogoča in potrebno je pretehtati vplive takšne introgresije na okolje, predvsem v smislu možnosti povečanja plevelnosti in s tem vpliva na našo zmožnost nadzora nad kmetijskim plevelom ali povečanja zmožnosti preživetja in kompetitivnih prednosti divjih sorodnikov v naravnih habitatih. Za preprečevanje možnosti nastanka introgresije so na voljo nekatere

biotehnološke možnosti, kot na primer vključevanje transgenov v predele genoma z manjšo stopnjo rekombinacije, transformacije plastidov, zmanjšanje fertilitet peloda ali preprečevanje kalitve semena druge generacije. Za zmanjševanje možnosti nastanka introgresije pa je potrebno upoštevati ustrezne kmetijske prakse (načini kolobarjenja, obdelava zemlje, uporaba herbicidov, nadzor nad samosevci itd.).

4.3 Prenos (trans)genov v druge organizme

S (horizontalnim) prenosom genov v druge organizme razumemo nesporno izmenjavo genetskega materiala med organizmi iste ali različne vrste. Takšna izmenjava genov je naravni pojav pri bakterijah in je pomembno gonilo evolucijskega razvoja mikroorganizmov.

Dobro je poznano vključevanje genov bakterije *Agrobacterium tumefaciens* v genom rastlin, s čimer si bakterija izposodi rastlinske celice za sintezo svojih hranljivih snovi. Transformacijski mehanizem *A. tumefaciens* vključevanja genov je danes osnova za namerno gensko spreminjanje rastlin oziroma vključevanje različnih genov v genom rastlin. Vendar pa horizontalen prenos genov ni omejen samo na bakterije, saj so bili odkriti geni gliv v rastlinah ali izmenjava genov med različnimi vrstami žuželk ter med bakterijami in žuželkami.

Pri vrednotenju tveganj uporabe transgenih rastlin je (bilo) pogosto obravnavano vprašanje možnosti prenosa rastlinskih transgenov v bakterijo predvsem zaradi bojzani nenamerne vključitve genov za odpornost na antibiotike v črevesne bakterije. Prav tako so bila postavljena vprašanja možnosti horizontalnega prenosa (trans)genov v zemlji med različnimi bakterijami in drugimi organizmi. Vendar so dosedanje obsežne raziskave pokazale, da je takšen prenos genov izjemno redek dogodek. Kljub temu je pri presoji tveganja potrebno upoštevati to možnost glede na naravo transgena in ugodnih selekcijskih pritiskov za eventualno vključitev v druge organizme, ker je horizontalni prenos genov naraven proces izmenjave genov in v to izmenjavo so lahko vključeni tudi transgeni.

4.4 Nenamerni vplivi na neciljne organizme

Pri presoji tveganja škodljivih vplivov na okolje zaradi uporabe gensko spremenjenih rastlin je potrebno obravnavati tudi nenamerne vplive in nastale posledice, ki lahko vplivajo na obstoječo kmetijsko prakso in agro-ekološki sistem. Neciljni organizem je katerakoli rastlina, žival ali mikrob, na katerega ima transgena rastlina nenameran škodljiv vpliv. Zato je potrebno eksperimentalno proučiti eventualne vplive transgene rastline oziroma proteina (toksina), kodiranega s transgenom na organizme v zemlji in v vodah, na druge rastline ter na koristne žuželke. Eksperimenti se izvajajo najprej v laboratoriju s prehranskimi testi indikatorskih predstavnikov posameznih skupin

organizmov in v primeru zaznave škodljivih vplivov se izvedejo poljski poskusi, kjer se oceni dejanska prisotnost izpostavljenega organizma in druge okoljske razmere. Izbira indikatorskega organizma temelji na potencialni izpostavljenosti skupin organizmov na polju in širšem okolju. Na primer za ocenjevanje škodljivih vplivov Bt-toksina se preučijo vplivi na ptice, ribe, čebele in druge koristne žuželke (pikapolonice) ter predatorske in parazitske insekte ter vplive na v zemlji živeče nevretenčarje (glej Okoljska tveganja GSR z Bt-geni). Med nanamerne vplive GSR prištevamo tudi tveganja, povezana s transgenimi rastlinami, odpornimi na viruse, predvsem zaradi možnosti nastanka novih virusov (glej Okoljska tveganja GSR z odpornostjo na viruse).

4.5 Viri

- Agbios (2004) Principles and Practice of Environmental Safety Assessment of Transgenic Plants. Agriculture and Biotechnology Strategies (Kanada). <http://www.agbios.com/cstudies.php?book=ESA&ev=MON810>
- Conner AJ, Glare TR, Nap J-P (2003). The release of genetically modified crops into the environment. Part II: Overview of ecological risk assessment. *Plant Journal*, 33: 19-46
- Stewart CN, Halfhill MD, Warwick SI (2003) Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nature (review)*, 4: 806-817.
- Wilkinson M (2002) Transgene flow from transgenic plants. V: *Biotechnology and Safety Assessment*. Elsevier Science (ZDA), 413-433