

УТИЦАЈИ И АДАПТАЦИЈА ТРАНСГЕНИХ БИЉАКА У АГРОЕКОСИСТЕМИМА

Јелена Бошковић¹, В. Исајев², М. Бошковић³, З. Хојка¹,
Жељана Пријић¹, Ј. Симић⁴

Апстракт: Биотехнологијом и увођењем генетички модификованих (ГМ) или трансгених биљака стварају се нове могућности за повећање продуктивности усева и допринос решавању неких проблема у пољопривреди; као што су болести, штеточине, корови, абитички стресови и др. Пошто су ГМ биљке прилагођене у различитим локалитетима, агроекосистемима, екосистемима, пољопривреда, биодиверзитет и пољопривредна агротехника, треба да поседују научна сазнања за утицај на животну средину у системима одрживости. У раду се разматрају неки најважнији проблеми везани за ГМ усеве у условима животне средине, као што су заштита биљака, еколошки ефекти отпорности на хербициде (ХРЦс), хоризонтални пренос гена (ХТГ), проток гена, стрес итд. Потребна је процена интеракције ГМ усева са постојећим гајеним биљним врстама, бољем интердисциплинарном и трансдисциплинарном сазнању, које омогућава боље сагледавање сигурности, коју може да пружи наука о биљкама везано са ризицима за шире гајење ГМ биљака.

Кључне речи: генетички модификоване биљке (ГМ), животна средина, заштита биљака, HRCs, HTG, проток гена, биодиверзитет.

Увод

Кроз историју биљне селекције редовно су укључиване нове комбинације гена; вештачка манипулација броја хромозома, развој адиција и

¹ Проф. др Јелена Бошковић, проф. др Здравко Хојка, мр Жељана Пријић, Мегатренд универзитет применејних наука, Београд, Факултет за биофарминг, Сомбор jelenabo@eunet.yu, 025/28 526

² Проф. др Василије Исајев, Шумарски факултет, Београд

³ Проф. др Момчило Бошковић, Пољопривредни факултет, Нови Сад

⁴ Проф. др Јеремија Симић, Пољопривредни факултет, Земун

супституција, линија са специфичним хромозомима, хемијска и радиоактивна третирања за индуковање мутација и хромозомских реаражмана, културе ћелија, ткива и ембрија, *in vitro* оплодња и фузија протопласта да би се омогућило откривање интерспецијес врста и генус хибридизације. Интеграције ових технологија дале су највеће доприносе за генетичка унапређења у приносима, адаптацији на животну средину (Dale, 2002), отпорност према паразитима и штеточинама, као и поправљању квалитета који су стално захтевани од произвођача индустрије хране и потрошача. Развојем истраживања молекуларне биологије, генетичког инжењерства омогућена је ефикасна модификација гајних биљних врста. Ове технологије могу имати нежељени утицај на животну средину (Copper и сар., 2003), здравље људи и економски ниво повећања сиромаштва. У предстојећим периоду потребно је посветити више пажње за комерцијалну и економску оправдану примену ГМ усева у пољопривредној производњи хране (Бошковић Јелена и сар., 2004)

Повезивање науке и политике би требало да буде важно за општу процену прихватања и ширења ГМ усева. У већини земаља још постоје значајна неслагања у којој мери су области као одрживост, глобализација, етика и економско-економски приступ требали да буду део ризика процене примене ГМ усева.

Хоризонтални пренос гена

Хоризонтални пренос гена (ХТГ) је преношење генетичког материјала између ћелија или генома који припадају различитим врстама, а то су други процеси од уобичајене репродукције. У основним процесима репродукције гени се преносе вертикално од родитеља на потомства, и тај процес се запажа само у оквиру врста или између сродника. Бактерије су познате да учествују у размењивању гена између различитих врста у природи. То се оставрује на три начина; код коњугације када генетички материјал пролази између супротних ћелија, трансдукцијом где је генетички материјал ношен из једне ћелије у другу од инфективних вируса и код трансформације када је генетички материјал преузет директно од ћелије из њене животне средине (Daniell, 2002). За успешани хоризонтални пренос гена страни генетички материјал мора да постане присаједињен у ћелијски геном, или да се стабилно одржава у ћелији примаоцу друге форме. У неким случајевима, страни генетички материјал који улази у ћелију, посебно ако је од других врста, биће уклоњен пре него што се угради у геном. Под специфичним еколошким условима који су још увек научно неразумљиви страни генетички материјал избегава да буде уклоњен и уграђује се у геном.

Хоризонтални пренос гена је добро познат код бактерија, али је последњих година ова појава више препознатљива и код виших биљака и животиња. У основи овај процес обухвата целу биосферу, а бактерије и вируси служе као интермедијарни за пренос гена, скупа гена (гене поол), умножавање и рекомбинације (Connet и сар., 2003; Snow и сар., 2004).

Има много потенцијалних праваца за хоризонтални пренос гена код биљака и животиња. Трансдукција се очекује да буде главни начин, пошто има много вируса који инфицирају биљке и животиње. Последња истарживања у ген терапији упућују да је трансформација потенцијално веома важна за ћелије сисара укључујући и човека. Директна трансформација није тако значајна за биљне ћелије које имају заштитне ћелијске зидове. Међутим, земљишне бактерије које припадају роду *Агробактериум* су у могућности да пренесу Т (тумур) сегмент његовог индуцираног тумора (Ти) плаزمида у биљне ћелије у процесу коњугације. Овај Ти – ДНК је широко употребљаван као средство преноса гена у биљном генетичком инжењерингу. Страни генетички материјал може такође да буде уграђен у биљне и животињске ћелије од инсеката и артропода са јаким мутагеним реакцијама. Додатно, бактеријски патогени који продиру у биљне и животињске ћелије могу преузети страни генетички материјал и пренети га у ћелије као вектори у ћелије, вероватно ма које врсте организама на земљи. Најзначајније баријере за хоризонтални пренос гена делује после уласка страног генетичког материјала у ћелију.

Међутим, вируси и други генетички паразити, као што су плазмиди или транспозони, имају посебне генетичке сигнале и вероватно могућу структуру која им омогућава да избегну разграђивање. Вируси поседују генетички материјал који је заштићен у протеинском омотачу. Они одбацују свој протеински омотач за продирање у ћелију и може да омогући стварање много више копија, или да директно пређе у ћелијски геном. Плазмиди су *слободни делићи* обично кружног облика, тако да генетички материјал може коначно да се одржава у ћелији одвојено од ћелијског генома. Транспозони (*jumping genes*) су блокови генетичког материјала који имају могућност да се убацију у/или ван генома, са или без њиховог умножавања у процесу, а да буду задржани у плазмидима за даље размножавање. Гени ови генетичких паразита, као што су вируси, плазмиди и транспозони, имају знатно већу могућност да буду успешно пренети у ћелије и геноме. Тако ови генетички паразити функционишу као вектори за хоризонтални пренос гена, а такође је јасно да је пренос гена регулисан од унутрашњих карактеристика органама, а посебно је везано за специфичне еколошке услове (Dale, 2002; Snow и сар., 2004).

Евидентирање хоризонталног преноса трансгене ДНК

Сматра се да трансгена ДНК једанпут уграђена у трансгени или модификовани организам постаје толико стабилна колико и организми који поседују и ДНК. Али постоје како директна тако и индиректна евиденција против ове претпоставке. Вероватно се трансгена ДНК више шири, као што је било нађено за ширење хоризонталног преношења гена. Трансгене линије су у основи нестабилне, и често се међусобно не укрштају. Постоје молекуларни подаци који доказују структуралну стабилност трансгене ДНК, у вези са њеном локацијом, места продирања у геном и распоредом гена у следећим генерацијама. Уствари трансгени могу да буду стабилизовани у сукцесивним генерацијама или изгубљени у целини. Ген за толерантност према хербицидима унет у *Arabidopsis* са вектором, може да буде 30 пута више оријентисан да избегне и шири се као исти ген који је добијен са мутагенозом. Ако се то може догодити са секундарним хоризонталним преносом гена преко инсеката који посећују биљке за полен и нектар, саопштени су резултати који указују да полен може пренети трансгену ДНК на бактерије у црево ларве пчеле (Snow и сар., 2004).

Експериментално је потврђено да секундарни хоризонтални пренос трансгена и ген маркера отпорности на антибиотике код биљака створених генетичким инжењерингом у земљишне бактерије и гљиве. Пренос у гљивице једноставно је постигнут са кокултивацијом, пошто је пренос на бактерије постигнут са реизолацијом трансгене ДНК или укупно целе ДНК трансгене биљке. Успешни преноси маркера канамицин гена отпорности на земљишну бактерију *Acinetobacter* добијен је употребом екстархованог укупног ДНК из хомогенизованог биљног листа из низа трансгених биљака: *Solanum tuberosum* (кромпир), *Nicotiana tabacum* (дуван), *Beta vulgaris* (шећерна репа), *Brasica napus* (уљана репица) и *Lyopersicum esculentum* (парадаиз). Процењено је да око 2500 копија канамицин гена отпорности довољан за успешно трансформисање једне бактерије, без обзира да ли постоји 6 милиона пресавијених завојница присутне биљне ДНК.

Међутим, природни услови у животној средини су широко непознати и непредвидиви, а истраживања појединих научника о синергедским ефектима не би могли бити у овом случају занемарени. Слободна трансгена ДНК била би слободна у ризосфери око биљног корена, а она је такође значајна критична тачка животне средине. Други научници су пронашли да код хоризонталног преноса гена отпорности према канамицину из трансгене ДНК на *Acinetobacter* и добијени су позитивни резултати управо употребом хомогенизованог 100μл биљног листа.

Биотехнолошка индустрија инсистира да упрово због тога што хоризонтални пренос гена постоји у лабораторијама не значи да се појављује у природи. Међутим, постоје већ истраживања која потрђују да се може

појавити у природи. Пре свега, генетички материјал узет из мртвих и живих ћелија опстаје у свим спољним условима, брзо се не разграђује или разара као што се раније предпостављало. То наводи на тврдњу да песак, хумусно кисели делови и биљни остаци омогућују инфекције са више микроорганизама у земљишту. Трансформација бактерија у земљишту од апсорбоване ДНК у пешчану глину потврђена је са експериментима микроорганизама.

Истарживачи у Немачкој почели су серију експеримената од 1993. године за прихватање у пољу отпорних трансгених биљака шећерне репе на ризоманију (Pidgeon и сар, 2001), који су садржавали ген маркер за отпорност на канамицин, стабилност трансгене ДНК и хоризонтални трансфер гена трансгене ДНК у земљишне бактерије

Тако је хоризонтални пренос гена водећи феномен, који је заузимао важно место у еволуцији врста, а наставља се и данас. Сви знаци за природни хоризонтални пренос гена представља регулисани процес, ограничен од специфичних препрека и од механизма који одбацују и инактивирају страни генетички материјал. Генетички инжењеринг је креирао велику варијабилност вештачких конструкција за превазилажења баријера између свих врста организама и овладавање свим геномима.

Заштита биљака и GMCs

Главна разматрања примене ГМ усева (GMCs) за заштиту биљака су могућност уграђивања отпорности у заштити од инсеката, гљивичних и бактеријских патогена, вируса, са нагласком на главни проблем дуготрајније отпорности (Бошковић и сар., 2000). Заштита биљака од штеточина генетским модификацијама је примена Бт токсина из *Bacillus thuringiensis*, (успешно коришћен у виду спреја током много година) унет у више биљних врста: парадајз, дуван, памук и др. Доказано је да лецитин ген грашка штити против напада инсеката у трансгеном кромпиру и дувану. У примени је такође трипсин инхибитор протеина сточног грашка. ГМ биљке дају велику могућност користи по животну средину са редукованом применом пестицида, развојем отпорности код штеточина и могу се брзо негирати овакве предности; ту су могуће стратегије редукације излагања штеточина трансгеним производима, тако да се снизи ниво отпорности и примени ограничено деловање трансгена (Боуцхард и сар., 2003).

Показало се да је примена трансгене отпорности на вирусе кроз индиректну заштиту *цан*-протеина могућа, те се може користити као метод за широк спектар вируса и домаћина, напр., експресија TMV *цан*- протеина за вирус мозаика дувана на кромпиру и парадајзу отпорном на PVX и PVY (Daniell, 2002).

Развијала се и примена генетичке модификације у сузбијању гљивичних и бактеријских биљних патогена. Као и код штеточина главни проблем је краткотрајност отпорности и комплексност интеракцијских односа патогена и домаћина. Настоји се да се ова отпорност побољша применом ГМ биљака. Поред тога потребно је тражити стратегије за мултиплу отпорност (*pyramiding resistance genes*) према различитим вирулентностима биљних паразита (FAO, 2003; Бошковић Јелена и сар., 2004).

Толерантност и отпорност биљака на хербициде (HRC)

Много напора је усмерено и на повећање толерантности гајених биљних врста на хербициде, што је и тестирано широм света. Толерантност на хербициде може се постићи кроз повећање заштитних механизма, редукацијом усвајања хербицида, деградацијом или смањењем пријемчивости. Гени толерантности на хербициде се широко примењују као маркери у селекцији трансгених биљака. Ако су гени различите толерантности на хербициде, развијени или уграђени у исте биљне врсте, могли би да услове стварање корова који садрже мултипле гене отпорности (Dewar и сар., 2003; Хибридизација биљака отпорних на хербициде (HRC) са популацијама дивљих сродника чини ове биљке сложене за контролу, посебно ако су оне већ познате као корови и ако имају отпорност на широко примењиване хербициде (Altieri, 2000, FAO, 2003;). Трансгена отпорност биљака на хербициде поједностављује хемијску контролу корова, због тога што пре свега укључује једињења која су активна на веома широк спектар коровских врста.

Некултивисане популације трансгених биљака и проток гена

Могућност увођења трансгених биљка ће у многоставити од њихове способности прилагођавања новој животной средини. За многе усева је познато да формирају привремене некултивисане популације, а ту спадају врсте као што је уљана репица, луцерка, ротквица, шаргарепа, раж, детелина, шећерна репа, цикорија, репа, купус, од којих су неки аутохтони, док су други вероватно били унети за гајење. У неким случајевима гајених врста, нпр., ражи, разлика између некултивисаних и природних популација је нејасна, док у случају других врста насељавање није екстензивно и вероватно да нема штетног утицаја по некултивисане биљне врсте. Могућности преноса гена из огледног поља са ГМ биљкама преко полена ће зависити од степена сексуалне компатибилности између ГМ усева и дивљих сродника, те могућности за опрашивање и добијања семена (Pretty, 2001).

На учесталост ове појаве биће важна просторна изолација између ГМ биљака и погодних прималаца који зависе од метода опрашивања, ветра или инсеката, изолација у времену, односно сезона цветања. Изведени су експерименти да се одреде дозе укрштеног опрашивања између кромпира и не-ГМ кромпира засађеног на различитим размацама један од другог. Ови резултати су добро усаглашени један са другим, те оба показују да је кретање трансгена изван ГМ огледног поља занемарљиво испод 10 м, а усаглашене су и ниске дозе укрштеног опрашивања које се обично налази у кромпиру.

Насупрот, семе уљане репице је присутна компатибилна самооплодна, може да произведе велике количине семана, опрашује се ветром и инсектима. Опрашивања на великим удаљеностима догађају се вероватно због инсеката: ваздухом ношен полен може се открити 30-50 м од биљака уљане репице, али то се смањује са растојањем.

Експерименти типа огледног поља који примењују или ГМ или не-ГМ биљке могу да обезбеде корисне податке указујући на неопходне изолационе размаке који су потребни да би се избегло да се трансген ослободи. Међутим, радови на природним популацијама указују да би ситуација у ствари могла да буде сложенија, а под-поделе локалне популације могу јако да утичу на уношење трансгена у дивље популације (Dale, 2002). Интерпретација резултата је такође сложена, а истакнута је важност прорачуна промена у дози са размаком од ГМ огледног поља, пре него апсолутни проценти ГМ семена на датој дистанци од парцеле. Штавише, проток гена може да зависи не само од усева него и од сорте, места и годишњег доба (Marshall и сар., 2003). Експерименти на протоку гена у популацијама дивље ротквице указују да величине даваоца и популације примаоца играју важну улогу у протоку гена. Тако би велики извори полена, као што је то велики спектар увођења ГМ гена би имао значајан утицај на малу дивљу популацију компатибилних биљака. Они такође, запажају да су присутне знатне варијације у проценама протока гена, вероватно због локално-позиционог и ефекта опрашивача. Други истраживачи пронашли су сличне ефекте у популацијама *Cucurbita* и пиринчу. Даљи рад на ширењу гена у популацијама може бити неопходан када се разматра потенцијално ширење трансгена. Оваква разматрања постају посебно актуелна у сагледавању могућности преношења трансгена од гајених усева од сродних врста. Глобална група за житарице идентификовала је три усева који имају сексуално компатибилне коровске сроднике за које је вероватно да ће бити предмет преласка гена у пољопривредним системима. Укрштење путем опрашивања и производња плодног хибрида варира од случаја до случаја. Уколико одабране карактеристике имају позитивну предност, ипак је могућа интрогресија нових карактеристика у постојећу коровску популацију. Ризик штете по животну средину, тада зависи од станишта корова. У комплексима усев-коров који су у овим истраживањима разматрани, где су станишта

коровских сродника ограничена на пољопривредне системе, не постоји могућност да нова особина угрози природне екосистеме (Creswell и сар., 2002; Lu и сар., 2005).

Хибридизација

Екологија корова и еволуциона биологија су веома важне у процени перспективе случајног преласка трансгена отпорности на штетне организме у популацији пољопривредних корова (Bradley и сар., 2000; Marshall и сар., 2003).

Модел за случајан прелазак трансгена има три фазе, које доводе до формирања широко распрострањених популација корова који носе трансген. Хибридизација између корова и трансгеног усева је прва фаза. Друга је појава процеса интрогресије и адаптације у коме механизми еволуције побољшавају неадаптибилне особине у хибридним производима ране генерације. То има за последицу, да корови носе трансген отпорности на штетне организме и имајући нормално висок ниво адаптације на одређене агроекосистеме. Коначно, процес ширења и распрострањена ових нео-корова у природи заједно са локалном адаптацијом различитих услова, битно је приликом преласка довољно широког подручја.

Аспекти екологије корова и еволуционе биологије су важни за међусобно деловање напред описане три фазе. Недостају прави научни подаци о екологији корова. Научници који се баве проучавањима корова, њихов фокус последњих деценија је усмерен на сузбијање корова хербицидима. У том преовлађујућем истраживању занемарена су еколошка истраживања, а посебно торетски опис (Altieri, 2000; Conner и сар., 2003).

Хибридизација између трансгених или конвенционалних биљних врста и сексуално компатибилних сродника појављује се у многим усевима и произвела је нове форме корова у добијеним популацијама. У бројним радовима ова хибридизација описана је датаљно и може се очекивати да ће трансгени прећи чак и преко великих просторних и значајних препрека генетских некомпатибилности (Peggy, 2002). У неким системима је случајан прелазак трансгена, хибридизацијом изгледа неизбежан. Међутим, у другим случајевима није јасно да ли је хибридизација сразмерно ограничавајућа фаза у преласку трансгена. Претпоставка је да хибридизација штавише може бити сразмерно ограничавајућа у неким околностима, на пример када се хибридизација појављује преко знатних препрека некомпатибилности. Аспекти екологије корова, који могу да утичу на нивое хибридизације у овим ситуацијама укључују узгојне системе корова и ефекте просторне и временске распрострањености корова на неколико етапа.

Систем селекције између корова у пољским агроекосистема усева је мешани систем оплодње у коме се појављује и самооплодња и странаоплодња, иако су познати и други репродуктивни системи. Стога, најраспрострањенији систем селекције корова, омогућава хибридизацију, али таква укрштања морају да се догоде приликом знатног нивоа самооплодње.

За системе селекције и друге аспекте генетичких система и репродуктивне екологије, који утичу на нивое хибридизације познато је да варирају у оквиру и између популација корова. На пример, популације *Datura stramonium* у Северној Каролини имају цветове који се отварају опрашивачима и показују отприлике 10% нивоа странаоплодње. Супротно томе, одређене популације су искључиво самоопрашујуће, са цветовима који се не отварају опрашивачима. У неким случајевима, ова варијација се односи на адаптацију система селекције након великог проширења (Cresswell и сар., 2002), али понашање полинатора може да варира и географски. Ови аспекти репродукције стога не би требало сматрати сталним карактеристикама у оквиру коровских врста.

Просторно ширење корова може јако да утиче на хибридизацију коров-биљне врсте. Прво, многи корови имају веома неједнаку распрострањеност у пољима, а неким радовима описује се да неједнака распрострањеност у неким врстама има одређен степен привремене стабилности (Регу и сар., 2003). До неједнаке распрострањености може да дође због едафских фактора или од перзистентних ефеката високе продукције семена. У оквиру поља, неједнака распрострањеност корова може да смањи хибридизацију коров-усев. Уколико се корови појаве у склопу одговарајуће густине, тако да је пропорција појединачних корова на крајевима тих склопова мала, а то ограничава популације сразмерно хибридизацији. Хомогенија и неравномерна распрострањеност може знатно да погодује знатно вишим степенима страног укрштања. Изолованим јединкама локално могу бити присутне веће количине полена усева или због промена у кретању опрашивача као функције локалне густине. Густина корова може да има супротан ефекат на нивое хибридизације, када биљка служи као женски родитељ. У овом случају, велике густине може да потпомогне хибридизацију уз предност постизања великих локалних густина полена корова, а хомогена густина корова може да смањи хибридизацију биљака.

Интрогресија и адаптација

На еволуциони процес који следи након хибридизације ће вероватно утицати многе еколошке карактеристике корова у агросистемима гајених биљака. Прво, природа ових система изгледа да се намеће код корова само неколико израженијих фактора регулације популације. То у поређењу са

већином једногодишњих биљних популација, које су кратког животног века, а насељавају друге врсте екосистема. Ово може да погодује интрогресији трансгена, чак уколико хибриди и почетне повратно укрштене генерације имају низак ниво адаптивних особина у поређењу са коровима који не носе трансгене (Fagan и сар., 2003).

Популације корова често се појављују мале и понекад су привремене, тако да ће ефекти селекције, миграције и случајне генетске промене утицати на еволуцију интрогресије. Коначно, екологија семена је примарна за преживљавање корова, стога, ефекти трансгена на друге гене биљних врста и екологију семена ће вероватно испољити јаке селективне ефекте на ове гене. Интрогресија гена који побољшавају адаптацију корова на ове доминантне селективне чиниоце може знатно да повећа просечну адаптивност коровске популације. Размене између адаптација на различите ограничавајуће факторе резултирајући из интрогресије једног јединог гена могу такође да буду минималне. Најбољи пример је еволуција отпорности према хербицида код корова (Piegte и сар., 2003).

Појава отпорности према хербицидима, често знатно повећава просечно преживљавање и ниво раста популације корова. Хербицидно отпорне мутације могу да имају високу апсолутну адаптивност, упркос основним функционалним оштећењима који проистичу из плеiotропичних ефеката мутација отпорности. Овај пример илуструје, како селекција може да фаворизује мутанте који превазилазе лимитирајуће факторе. Друга линија доказа за ово становиште произилази из вишеструких примера повећане распрострањености и густине корова резултирајући из пољских огледа преко хибридизације (Peggy и сар., 2003). Коначно, многи случајеви основног повећања у дистрибуцији и густини одређених корова следе умерене промене у системима обраде, обезбеђујући додатни доказ да су многе коровске заједнице су регулисане са неколико снажних фактора.

Уколико је тачна, ова претпоставка сугерише да адаптација корова који носе случајно пренесене трансгене након хибридизације је увелико олакшана биолошком једноликошћу актуалних екосистема пољских усева. Корови могу захтевати релативно мало еволуционо померање, као што је то прекид повезаности према непожељним карактеристикама биљних врста у складу са адаптацијом на широком пространству. Један критеријум за процену ширења трансгена у коровске популације је да преживљавање хибрида коров-усев, који носи трансген би требало да буде већи од адаптивности не-хибридних корова. Овај критеријум може много лакше да се сретне у привременим екосистемима пољских усева пре него у већини других. Стога прелазак трансгена може да буде брз процес. Чак и хибриди са веома ниском адаптивношћу и раним повратним укрштањима могу да опстану у агросистемима у одговарајућим густинама. Постоји могућност за

интрогресију и адаптацију, која олакшава њихов опстанак. Ова разматрања могу да се примене на случајан прелазак трансгена, који утичу на толерантност на абиотичке факторе. Међутим, могуће је да су у ширим подручјима коровске популације буду ограничене једним биотичким фактором на кога би адаптација дала основно повећање у преживљавању (Snow и сар., 2004).

Друга карактеристика екологије корова која вероватно, утиче на адаптацију хибрида усев-коров је фреквенције догађаја ниске ефикасне популационе величине и високих нивоа самоплодне нарочито у процесу колонизације. Мале величине популација проузрокују случајне промене у генетској композицији. Ови механизми могу да делују на генетичкој основи произведеној хибридизацијом, производећи низ генетички диференцираних малих популација из генетички различитих повратно укрштених коровских популација.

Овде се подразумева да ће на адаптацију у коровским популацијама које садрже случајно трансгене вероватно утицати и селекција и случајном генетском променом. Када су присутна оба фактора, могу да се појаве еволуциони процеси, који се не би појавили када је селекција доминантан еволуциони механизам. Специфично, адаптивни ефекти комбинација трансгена, других гена усева и гена корова може да буде много адаптивнија у експресији уз заједничко деловање случајних генетских размена у односу на селекцију која делује сама (Conner и сар., 2003). Овај механизам може бити нарочито снажан када коровске популације имају високе нивое слабљења и поновне колонизације, стога формирајући еколошке и генетичке метапопулације. Иако, још није јасно да ли корови у пољопривреди имају метапопулациону структуру, појава оваквих структура, у комбинацији са малом величином популације и варирајућим селекционим притисцима ствара повољне услове за процесе еквилибријума. Међутим, дејство ових процеса може по себи да буде непредвидиво због географских варијација у структури популације у неким коровским врстама због система узгоја, локалне адаптације након колонизације, времена од колонизације и хибридизације са сродним категоријама (Dale, 2002).

Молекуларни и биохемијски подаци о нивоима хомологије између врста усева и њихових дивљих сродника широм света указују на интрогресију гена из усева у популације дивљих сродника. Интрогресија може да се појави код разних биљних врста, укључујући кукуруз, дињу, шаргарепу, шећерну репу и пиринач. Могућност интрогресије трансгена у дивље популације, током времена, у неким врстама и неким географским подручјима била би веома висока. Хибриди између усева и њихових дивљих сродника највероватније се појављују са усевима који су мало прилагођени и узгајани у оквиру истог региона из ког воде порекло. Треба обезбедит минималну дивергентност и

максимум излагања од других сродника. На ниво интрогресије трансгена у дивље врсте из усева, утичу фактори као што су преклапање периода цветања са дивљим врстама, а и способност хибрида да се повратно укрсте са дивљим сродницима у популацији. Из овог проистиче да је вероватноћа преноса гена нарочито значајна у тропским областима, јер многе важне биљне врсте усева еволуционо потичу из ових области.

Утицај ГМ биљака на биодиверзитет

Једно од ограничења за увођење ГМ биљака у животну средину је да ове биљке могу утицати па и разорити биодиверзитет. Бојазан за губитак биодиверзитета (Анон, 1994) је важна основа за противљење неколико утицајних научних група из света за заштиту животне средине, који су против генетичких модификација и ГМ биљака. Утицај ГМ биљака на биодиверзитет је комплексан и сложен проблем. Научне дискусије и радови су усмерени у првацу разграничења да ли ГМ усеви утичу на биодиверзитет, и које су квалитативне и квантитативне разлике од комерцијалних усева. Биодиверзитет је веома важан за опстанак, регулисње и одржавање глобалних планетарних услова, који даје естетске, научне, културне и друге вредности. Општа вредност светског биодиверзитета процењена на износ око 33 трилона \$ годишње (Costanza et al., 1997). У вези са мултидимензионалном комплексношћу концепта биодиверзитета, узимајући у обзир значај технолошког развоја ГМ биљака, потребна су истарживања која ће још више разјаснити ову међузависност. То ће бити у ширем смислу социјално-економски и политички контекст примене генетских модификација које ће одредити да ли досадашњи ризици или потенцијалне предности ГМ биљака на биодиверзитет могу постати реалност.

Мониторинг

У комплексним екосистемима и после комерцијализације ГМ биљака потребан је еколошки мониторинг. Ова сложеност варира из године у годину и показује индиректне биотичке ефекте. Пошто лабораторијски и пољски експерименти не могу одговарајуће поновити све интеракције које се појављују у једном екосистему, једини начин за процену пуног нивоа еколошких ефеката ГМ биљака су праћења у природним екосистемима. Неки од ових ефеката не могу унапред бити предвиђени, тако да ће еколошки мониторинг бити потребан да открије и диференцира постојеће еколошке утицаје (Altieri, 2000; Dale, 2002).

Мониторинг животне средине је веома скуп, тако да информације за активности треба да буду употребљене у оквиру јасног система адаптивног

менаџмента. Овај менаџмент укључује поновљене циклусе постављених правила дизајнираних програма, примену, евалуацију и процену целокупног мониторинга (Snow и сар., 2004).

Значајнији проблем за мониторинг ГМ биљака је да системи адаптивног менаџмента нису били посебно развијени за ову примену. За управљањем еволуцијом отпорности према патогенима и штеточинама, фреквенција отпорности требала би да буде праћена у пољу, али су потребна додатна истраживања за постављање стандарда мониторинга и одређивање одговарјућег менаџмента у циљу лакшег разјашњавања проблема (Бошковић Јелена и сар., 2004). За мониторинг нових ГМ биљака требаће да буду процењивани од ширих група научника укључујући пољопривреду, шумарство, екологију водених површина, ентомологију, патологију итд. У будућности научници и технолошки напредак наставиће да проширују могућности за вештачки дизајн и конструкције биљних организама. Геномика и биоинформатика утичу на лакшу идентификацију комерцијално важних гена који потенцијално могу да буду пренешени између биљних врста. Еколози ће знатно више допринети за ширу јавну расправу како друштво и животна средина могу да спрече ризике и допринесе предностима од ових иновација.

Литература

1. Altieri, M., A. (2000): The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health. *Ecosystem Health*, 6:13-23.
2. Бошковић Јелена, Бошковић, М., Хојка, З., Симић, Ј., Мићановић Жељана (2004а): Genetically modified plants and environment. International Conference on Sustainable Agriculture and European Integration Processes. September 19-24, 2004. Novi Sad, Serbia and Montenegro. Programme & Abstracts, p.56.
3. Бошковић, М., Browder, L. E., Бошковић Јелена, Јерковић, З. (2000): International survey approach for *Puccinia recondita tritici* of wheat using multilocation testing. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 35 (1-4), pp. 351-358.
4. Bouchard, E., Michaud, D., & Cloutier, C. (2003) Molecular interactions between an insect predator and its herbivore prey on transgenic potato expressing a cysteine proteinase inhibitor from rice. *Mol Ecol*, 12, 2429-2437.
5. Conner, A.J., Glare, T.R., & Nap, J.-P. (2003) The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. *Plant J*, 33, 19-46.

6. Costanza, R., De Arge, De Groot, R. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387: 253-260.
7. Cresswell, J.E., Osborne, J.L., & Bell, S.A. (2002) A model of pollinator-mediated gene flow between plant populations with numerical solutions for bumblebees pollinating oilseed rape. *Oikos*, 98, 375-384.
8. Dale, P.J. (2002) The environmental impact of genetically modified (GM) crops: a review. *Journal of Agricultural Science*, 138, 245-248.
9. Daniell, H. (2002): Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. *Nature Biotechnology* 20:581-586.
10. Dewar, A.M., May, M.J., Woiwod, I.P., Haylock, L.A., Champion, G.T., Garner, B.H., Sands, R.J.N., Qi, A., Pidgeon, J.D. (2003) A novel approach to the use of genetically modified herbicide tolerant crops for environmental benefit. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, 270, 335-340.
11. Fagan, J., Schoel, B., Haegert, A., Moore, J., Beeby, J. (2003) Performance assessment under field conditions of a rapid immunological test for transgenic soybeans. *Int J Food Sci Tech*, 36, 357-367.
12. FAO (2003): Expert Consultation of Environmental Effects of Genetically Modified Crops, 16-18 June 2003, Rome, Italy.
13. Kwon, Y.w., Kim, D.S., Yim, K.-O. (2001) Herbicide-resistant genetically modified crop: assessment and management of gene flow. *Weed Biol Manage*, 1, 96-107.
14. Lu, B. R., A. A. Snow. (2005): Gene flow from genetically modified rice and its environmental consequences. *BioScience* 55: 669-678.
15. Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R., Ward, L.K. (2003) The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Res*, 43, 77-89.
16. Perry, J.N. (2002) Sensitive dependencies and separation distances for genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, 269, 1173-1176.
17. Pretty, J. (2001) The rapid emergence of genetic modification in world agriculture: contested risks and
18. *Molecular Biology and Genetics*, Vol.3.
19. Snow, A.A., Andow, D.A., Gepts, P., Hallerman, E. M., Power, A., Tiedje, J.M., Wolfenbarger, L.L.(2004): Genetically engineered organisms and the environment: Current status and recommendations. ESA Public Affairs Office, GEO Position Paper 2004, 1-38.

UDC: 631.528.6:574.4

THE IMPACTS AND ADAPTIONS OF TRANSGENIC PLANTS IN AGROECOSYSTEMS

Jelena Bošković¹, Vasilije Isajev², Momčilo Bošković³,
Zdravko Hojka¹, Željana Prijić¹, Jeremija Simić⁴

¹Megatrend University of Applied Sciences, Belgrade

Faculty of biopharming, Sombor

²Faculty of Forestry, Belgrade

³Faculty of Agriculture, Novi Sad

⁴Faculty of Agriculture, Belegrade-Zemun

Symmary

There is a multitude of concerns about the impact of genetically modified crops (GMC's) on the environment. The main important enviromental assessment of GM crops are putative invasiveness, vertical and/or horizontal gene flow, other ecological mechanisms, effects on biodiversity and the impact of presence of GM material in other products. These inetigations are all highly interdisciplinary and complex issues. Deposite the potential benefits of this new technology to improve the reliability and quality of the world food supply, public and scientific concerns have been raised about the environmental and food safety of Gm crops. In these paper same of most important problems related to the GM crops into the environment are inspect such as; plant protection, ecological effects of HRCs, gene flow, biodiversity, stress, effects on the soil ecosystem etc. Not enough scientific research has been done to evaluate the environmental and health risks of GMC's, an unfortunate trend. Most scientists feel that such knowledge is crucial to have before biotechnological innovations are implemented. There is a clear need to further assess the severity, magnitude and scope of risks associated with the massive field deployment of transgenic crops. The putative impacts identified for GMC's are very similar to the impacts of new cultivars derived from traditional breeding. When assessing GMC's relative to existing cultivars, the increased knowledge base underpinning the development of GMC's will provide greater confidence in the assurances plants science can give on the risks of releasing such crops.

Key words: genetic modificatins crops (GMC), enviroment, plat protection, HRCs, HTG, gene flow, biodiversity.