

Geneettisesti muunneltujen kasvien riskit ja mahdollisuudet kasvinsuojelussa

Jarmo Holopainen

Suomessa ei toistaiseksi viljellä muuntogeenisiä viljelykasveja (GM kasvit) kaupallisesti ja EU:n alueellakin subtautuminen geenimuunneltuihin lajikkeisiin on hyvin kriittistä. Maailmalla GM-kasveja kuitenkin viljellään jo laajalti ja vähitellen on alkanut kertyä kokemuksia niiden tarjoamista mahdollisuuksista kasvinsuojelun tehostamisessa. Samalla on myös saatu tietoa GM-viljelyyn liittyvistä ympäristöriskeistä.

GM-kasvien viljely on maailmanlaajuisesti jatkuvassa kasvussa. Vuonna 2004 GM-lajikkeiden viljelypinta-ala oli arviolta noin 81 miljoonaa hehtaaria, jossa kasvua edellisestä vuodesta oli lähes 20%. Laajinta GM viljely on Yhdysvalloissa, Argentiinassa, Kanadassa, Brasiliassa, Kiinassa ja Paraguayssa. GM-lajikkeiden viljelyala ylittää 15.000 ha kaikkiaan 14 maassa. Eniten viljeltiin soijaa (60% koko GM alasta), maissia (23%), puuvillaa (11%) ja rapsia (6%). EU:n alueella ainoa viljelyssä olevaa GM kasvi on Bt maissi, jota viljeltiin vuonna 2004 58.000 ha alueella Espanjassa (www.isaaa.org). Suomessa ilmasto-olosuhteiden vuoksi nykyisistä GM-kasveista viljelyyn sopisi vain rapsi.

Tubolais- ja herbisidikestävyttä

On merkillepantavaa, että toistaiseksi myyntiluvan saaneet ja laajimmin viljeltyt GM-lajikkeet tehostavat viljelyvaiheen kasvinsuojelua. Laboratorioissa on kuitenkin kehitetty runsaasti siirtogeenisiä lajikkeita, joiden ominaisuuksiin kuuluu mm. parempi yhteytystehokkuus, korkeampi vitamiini-, isoflavonoidi- tai karotenoidipitoisuus. Markkinoille tullessaan nämä edustavatkin toisen "GM-sukupolven" lajikkeita, joiden tarkoitus on parantaa elintarvikkeiden siäistä laatua. Kolmanteen sukupolveen kuuluvat muuntogeeniset viljelykasvit, joissa voidaan tuottaa erilaisia rokotteita ja lääkeaineita.

Tällä hetkellä herbisidikestävyys on ylivoimaisesti tärkein GM-lajikkeiden ominaisuus, jota on erityisesti GM-soijassa, mutta myös maissi-, puuvilla- ja rapsilajikkeissa. *Bacillus thuringiensis* -maabakteerista peräisin olevaa perhostoukille myrkyllistä (Kuva 1) Bt kidetoksiinia tuottavaa maissia, puuvillaa ja soijaa on noin 19% viljellystä GM-alasta. Lisäksi noin 9% GM-kasvien viljelyalasta on lajikkeilla, joissa on sekä tubolais- että herbisidikestävyttä antava geeni. Kasvitaustikestävyttä on siirretty eräisiin puutarhakasveihin ja perunaan, mutta vain harvoja tautiresistenttejä GM-lajikkeita on kaupallistettu tai niitä on vedet-

ty pois markkinoilta kysynnän puutteen vuoksi. Kysynnän puute lopetti myös kolera-
donkuoriaista kestävä *Bt* perunan viljelyn Yhdysvalloissa.

Inhimillinen tekijä

GM-kasvien viljelyn vastustus ja kriittinen suhtautuminen niistä tehtyihin tuotteisiin on yleistä Euroopassa. Kansalaiset eivät luota kovinkaan paljoa monikansallisten yhtiöiden GM-lajikkeistaan tekemiin toksisuus- ja ympäristövaikutus selvityksiin. Osittain syynä huoleen ovat myös yhtiöiden itsensä tai viljelijöiden osoittama erehtyväisyys. Keväällä 2005 sveitsiläinen biotekniikkayhtiö ilmoitti myyneensä epähuomiossa neljän vuoden ajan väärää *Bt* lajiketta. Se sisälsi eri kideproteiinin kuin lajike, jolle myyntilupa oli myönnetty. Luvatonta lajiketta on tuona aikana viljelty 150.000 km² alueella Yhdysvalloissa.

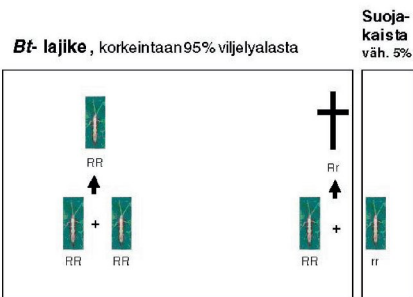
Myös myyntiluvan saaneiden lajikkeiden käyttö muuhun kuin hyväksytyyn tarkoitukseen on aiheuttanut huolestumista. Aiemmin Yhdysvalloissa vedettiin markkinoilta maissituotteita, joissa käytetty jauho oli tehty ainoastaan rehukäyttöön sallitusta *Bt*-maissista. Tänä vuonna on Kiinasta tullut tietoja, että eräät kaupassa olleet riisierät ovat sisältäneet *Bt* siirtogeenin, vaikka yhtään kaupallista *Bt*-riisilajiketta ei ole markkinoilla Kiinassa eikä muualla maailmassa. Ilmeisesti viljelykokeissa olleen *Bt*-riisin satoa on laskettu salaa markkinoille. Huolestuttavammaksi tilanne käy silloin, jos elintarvikemarkkinoille alkaa tulla eriä sellaisista GM-koekasveista, joiden sisältämän siirtogeenin terveysvaikutukset ovat täysin tutkimatta.

GM viljelyn ympäristöriskit

Mahdollisten allergia- ja terveyshaittojen ohella GM viljelykasvien pahimpina ris-



Kaalikoivin toukat voittavat voimakkaasti tavantavan rapsilajikkeen (Westar) lehtiä. *Bt*-rapilla toukat lopettavat syömisen maistettuaan kasvia. (Kuv. Jarmo Holopainen)



Siirtogeenisten *Bt*-lajikkeiden viljelyssä tarvitaan suoja-kaistatekniikka tuholaisresistenssin kehittämisen estämiseen. Tuholaiselle herkkää lajiketta kasvatetaan, jotta *Bt*-lle herkät kannat voivat risteytyä kestävien kantojen kanssa ja tuottaa *Bt*-myrkylle alttiita jälkeläisiä. *Bt*-kasvissa on oltava riittävän suuri *Bt*-proteiinipitoisuus, jotta se antaa suojaa heterotsygooteille resistenssigeeniä **R** kantaville kannoille. Vain homotsygootit **RR** resistenssigeeniä kantavat toukat selviävät hengissä *Bt*-kasveilla. Suoja-kaistalla elävillä perhosilla resistenssi geeni on resessiivisenä **rr**. Suurin osa **RR** geeniä kantavista perhosista parittelee suoja-kaistalla kehittyneen runsaslukuisen **rr** kannan kanssa, jolloin jälkeläistä on myrkylle herkkää **Rr** tyyppiä. (Kuv. Jarmo Holopainen)

GM viljelyn vaikutuksia:

Tubolaislajiston muuttuminen

Kasvien lehtiä pureskeleville tuohyönteisille myrkyllistä *Bt* proteiinia tuottavia GM lajikkeita on markkinoitu erityisen ympäristöystävällisinä, koska tuohyönteisten kemiallisen torjunnan tarve vähenee ja siten ympäristön kuormitus pienenee. Näin usein onkin, mutta *Bt*-geenin spesifisyydestä johtuen monet imeväsuiset hyönteiset kuten kirvat ja luteet eivät kärsi siitä, vaan niiden lukumäärät saattavat olla suurempia *Bt*-kasveilla. Näin on todettu mm. *Bt*-puuvillalla, jonka kukinnoille pelto-luteensukuiset *Lygus*-luteet tekevät huomattavaa vioitusta. Tämän vuoksi niitä joudutaan *Bt*-lajikkeil-takin torjumaan kemiallisesti.

Resistenssin kehittyminen siirtogeeneille

Yksipuoliseen kemialliseen torjuntaan liittyä aina torjunta-aineresistenssin kehittymisen riski tuholaislajissa. *Bt*-toksiinia kestäviä tuohyönteiskantoja on kehittynyt jo silloin kun ainetta on käytetty biologiseen tuholaisorjuntaan mikrobipreparaattina. Jatkuva *Bt*-kasvien viljely suosii kasvin *Bt*-toksiinia kestävien perhoskantojen kehittymistä. Jotta *Bt*-resistenttien tuholaiskantojen kehittymistä voidaan ehkäistä, on laajamittaisessa *Bt*-viljelyssä perustettava herkkiä tuholaiskantoja ylläpitäviä suoja-kaistoja, joilla kasvaa tavallista viljelylajiketta (Ks. kuva ed. sivulla). Toimiakseen suojakaistateknika vaatii myös viljelijöiltä tarkkaa viljelyohjeistusten noudattamista. Puuvillalla suojakaistan pinta-alan on oltava vähintään 5 % *Bt*-viljelylajikkeen alasta.

Vaikutukset muubun eliöstöön

Lisääntyneen rikkahävitteiden käytön vaikutuksia useiden herbisidiä kestävien GM-rapsin koetiljel-mien ja niiden ympäristön lajiston vasteisiin selvitettiin Englannissa. Pellon pintakerroksen petokova-kuoriaisista eniten vähenivät osittain rikkakasvien siemeniä ravintonaan käyttävät lajit kun taas nopeasti liikkuvien saalistajien määrät jopa lisääntyivät rikkakasveista vapailla pelloilla. Luteiden ja mesipistiäis-ten määrät vähenivät hieman, mutta kaikkien voimakkaimmin tehostunut herbisidien käyttö vähensi pelloilla ja peltojen pientareilla esiintyvien päiväperhosten määrää (Kuva seuraavalla aukeamalla).

Lokakuussa 2005 Amerikan hyönteistieteellisen yhdistyksen julkaisusarja Environmental Entomology julkaisi tuloksia 11:sta useampivuotisesta seurantakokeesta, joissa arvioitiin maissin ja puuvillan siirtogeenisten *Bt*-lajikkeiden viljelyn ja insektisidikäsitteilyjen vaikutuksia peltojen hyönteislajistoi-hin. Osa tutkimuksista oli julkisella rahoituksella tehtyjä ja osa GM-lajikkeita tuottavien yritysten ra-hoittamia. Kaikkien tutkimusten pääasiallinen sanoma oli, että *Bt*-lajike ei aiheuttanut merkittäviä haittavaikutuksia peltojen ei-kohde eliöstöön, mutta kohdehyönteisten määrät olivat yleensä selvästi alentuneet. Torjunta-ainekäsittelyt aiheuttivat selvästi voimakkaamman haitallisen vaikutuksen pelto-jen hyönteislajistoon kuin *Bt*-lajike.

GM-siitepölyn mahdolliset haitat ei-kohde-eliöille

Yksi laajimmin siteeratuista GM kasvien ympäristöhaittoja selvittävästä julkaisuista on ollut Nature tie-delehden raportoima tutkimus, jossa laboratorio-oloissa todettiin monarkkiperhosen toukkien kuol-leisuuden nousevan, jos ne syövät *Bt* maissin siitepölyllä käsiteltyä ravintokasvia. Tutkimuksessa oli monia puutteita ja käytetyt siitepölymäärät olivat suuria, mutta se läpäisi arvostetun tiedelehden seu-lan. Tämän jälkeen sekä laboratoriossa että kenttäolosuhteissa tehtiin useita kattavia tutkimuksia, joissa osoitettiin, että *Bt* kenttäoloissa maissin siitepölyä ei esiinny perhostoukille haitallisissa määrin kasvien lehdistä, mutta näitä tuloksia lehti ei suostunut julkaisemaan. Nykyisin viljelyssä olevissa *Bt*-maissilajikkeissa *Bt*-toksiinia ei kerry siitepölyn merkittäviä määriä, joten riski GM-kasvien siitepö-lyn suorista haittavaikutuksista hyönteisille on alentunut.

GM kasvin leviäminen ympäristöön siemenistä ja mukuloista

Satokasvista varisseista siemenistä tai peltoon jääneistä mukuloista kasvaneet kasvit voivat villiintyä ja levitä myös ympäristöön. Kymmenen vuotta kestänyt englantilainen pitkäaikaistutkimus, joka ver-taili tavanomaisten ja GM lajikkeiden menestymistä luonnossa osoitti, että herbisidikestävyys tai *Bt*-geeni eivät antaneet muunnetuille kasveille mitään kilpailuetua tavanomaisiin maissi-, rapsi-, peruna-tai sokerijuurikasvajikkeisiin nähden. Sekä tavanomaiset että GM-lajikkeet hävisivät kilpailussa luon-nonkasveille ja katosivat kasvupaikalta neljässä vuodessa lukuun ottamatta perunaa, joka säilyi 10 vuotta samalla paikalla.

Siirtogeenin siirtyminen viljely- ja luonnonkasveihin

Kukkavien kasvien siitepöly leviää pääosin tuulen tai pölyttäjähönteisten mukana. Tavanomaiset ja siirtogeeniset viljelykasvilajikkeet pystyvät risteytymään lähisukuisten viljelykasvien, viljelykarkulaisen tai luonnonkasvien kanssa. Suomessa GM-rapsilla ja rypsilä siitepölyn kautta tapahtuva leviäminen luonnonkasveihin olisi suurinta, koska rypsin villimuoto, peltokaali, on yleinen pellon pientareilla ja rikkakasvina esiintyvä laji. Australialaisen selvityksen mukaan herbisidejä kestävä GM-rapsin läheisyydessä kasvaneissa peltokaalipopulaatioissa risteymäyksilöiden osuus on vain noin 0,03 % luokkaa. Rapsin ja peltokaalin risteymien elinvoima on varsin heikko. Risteymien ja takaisinristeymien avulla siirtogeenin osuus luonnonkasvipopulaatioissa saattaa kuitenkin lisääntyä. Luonnonpopulaatioissa kasvin kestävyys rikkakasvihäviöitä vastaan ei anna mitään kilpailuetua ja sen säilyminen ei ole todennäköistä.

Bt-kasvin risteymissä geenin antama suoja luonnonkasvin tärkeimpiä tuholaisia vastaan voi antaa merkittävän kilpailuedun, joka lisää karanteen geenin esiintymistiheyttä luonnonpopulaatioissa. Nebraskassa tehdyssä kokeessa todettiin *Bt*-geenin siirtyvän *Bt*-auringonkukan ja villien auringonkukkakantojen välillä. *Bt*-risteymistä tuli sitkeitä rikkakasveja ja niiden siementuotto saattoi nousta jopa 55 % luonnonkantaan verrattuna, kun tärkeimmät perhostuholaiset eivät enää pystyneet hillitsemään niiden kasvua.

Hajottajaeliöiden vasteet sadonkorjuun jälkeen

Maaperässä kasvimateriaalin hajottajina toimivien organismien joukossa ei ole perhostoukkia, mutta osa kovakuoriaisista on hajottajia. Siten kuoriaistuholaista vastaan tarkoitettu *Bt* proteiini saattaisi olla haitallinen myös hajottajille, mutta asiaa ei ole tutkittu. Lierojen nuoruusasteisiin *Bt* ei näytä vaikuttavan, mutta sukukypsissä yksilöissä on havaittu lievää painon alenemista *Bt* karikkeella.

Bt geenin pleiotrooppisista vaikutuksista (geeni vaikuttaa muihinkin kuin kohdeominaisuuksiin) on toistaiseksi raportoitu varsin rajoitetusti. *Bt* maissilla on varren ligniinipitoisuus todettu useammassa tutkimuksessa kohonneeksi verrattaessa vastaavaan ei-*Bt* lajikkeeseen. Tämä on johtanut *Bt* maissin rankojen hitaampaan biologiseen hajoamiseen.

GM-viljelykasvin suoran ja epäsuoran kemiallisen puolustuksen mahdollinen heikkeneminen

Bt kasveissa toimii geeni, joka tuottaa normaalille kasville vierasta proteiinia kasvisolukkuon. Voidaan ajatella, että tämä aiheuttaa kasville kustannuksia ja johtaa muutoksiin kasvin sekundaaraineenvaihdunnassa, mikä voi alentaa kasvin omien puolustusyhdisteiden synteesiä. Omat havaintomme kuitenkin viittaavat siihen, että *Bt* rapsin lehtien suoraan kemialliseen puolustukseen kuuluvien glukosinolaattien pitoisuudet saattavat olla jopa korkeampia kuin vastaavassa lajikkeessa, jossa *Bt*-siirtogeeniä ei ole. Tuhoeläinten vioittamat kasvit houkuttavat tuholaisen luontaisia vihollisia haihtuvilla houkuteyhdisteillä. Myös tämä kasvin epäsuora kemiallinen puolustus näyttää toimivan *Bt*-rapsissa yllättävän hyvin.

Vasteet ilmaston muutokseen

Fossilisista polttoaineista ilmakehään vapautuva hiili on nostanut ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden (CO_2) nykyiselle noin 370 ppm tasolle. CO_2 :n nousun aiheuttaman kasvihuoneilmaston vuoksi ilmasto lämpenee koko ajan. Hiilidioksidipitoisuuden kohoaminen aiheuttaa myös kasvien hiili:typpi-suhteen kohoamista. *Bt*-proteiini rakentuu tyyppiä sisältävistä aminohapoista, mistä johtuen kohotetussa CO_2 -pitoisuudessa kasvaneessa puuvillassa havaittiin alempia *Bt*-pitoisuuksia kuin vallitsevassa CO_2 -tasossa kasvaneella *Bt*-puuvillalla. Tällöin myös *Bt*-toksiinin vaikutus lehtiä syöviin perhostoukkiin oli alentunut. CO_2 -pitoisuuden kohoamiseen liittyvä lämpötilan nousu saattaa kuitenkin kumota tämän vaikutuksen, jos *Bt*-proteiini vaikuttaa toukkien kasvuun ja kuolleisuuteen tehokkaammin korkeammassa lämpötiloissa. Korkeampi lämpötila voi myös lisätä toukkien syöntiä, ja sitä kautta toukkien elimistöön tulevaa vaikuttavan toksiinin määrää.

keinä pidetään niiden mahdollista leviämistä pelloilta ympäröivään luontoon, risteytymistä muiden viljelykasvien, etenkin luomuviljelykasvien kanssa sekä niiden sisältämän muunnellun geenin aiheuttamia haittoja eliöyhteisöjen toiminnassa.

Tulevaisuuden näkymät

Kasvitautekestävyyttä lisäävien ominaisuuksien siirtäminen luonnonkasveista viljelykasveihin yleistyneen tulevaisuudessa. On myös esitetty, että *Bt*-toksiinin sijasta siirretään hyönteisten ruuansulatusta haittaavia entsyymi-inhibiittoreita tuottavia geenejä, jolloin resistenttien tuholaiskantojen kehittyminen ei olisi niin ilmeistä.

Elintarvikkeiksi tuotettavien kasvien kestävyden lisäämisessä on se ongel-

ma, että perinteisin jalostusmenetelmin tuotetuista nykyisistä voimakaskasvuisista lajikkeista on poistettu runsaasti niitä ominaisuuksia, jotka ovat antaneet niille suojaa kasvinsyöjiä vastaan. Tuomalla takaisin näitä ominaisuuksia vaikutetaan aina myös kasveista valmistettavien elintarvikkeiden laatuun. Nykyisin toimiviksi osoittautuneet GM -ratkaisut sisältyvät tulevaisuudessakin geeniteknisesti rakennettuihin lajikkeisiin.

Viljelylajikkeet, jotka houkuttavat erityisen tehokkaasti tuholaisten luontaisia vihollisia heti ensimmäisten voituotoireiden ilmestyttyä, saattavat olla yksi ratkaisu haattaessa keinoja tuholaistorjunnan kehittämiseen. Edellytyksenä on, että kasvit tuottavat näitä haihtuvia signaaliyhdisteitä vain silloin, kun tuholaista on kasvustossa ja saalistajat ja loiset saavat etsinnästä myös palkintonsa.



Yleisimmät päiväperhoset (vas.ylh. lanttuperhonen, tesmaperhonen, neitoperhonen ja nokkosperhonen) kärsivät voimakkaasti rikkakasvitorjunnan tehostumisesta siirtogeenisellä herbisidikestävällä rapsilla Englannissa tehdyissä kokeissa. Niiden populaatiotiheys GM peltojen ympäristössä oli vain puolet siitä mitä esiintyi verrannepeltojen ympäristössä. (Kuv. Jarmo Holopainen)

Villityypin lituruoho ei tuota petopunkkeja houkuttavaa DMNT-homoterpeeniä kuten esimerkiksi papu, kurkku ja tomaatti tekevät vihannespunkkivioituksen jälkeen. Kun lituruohon siirretään DMNT-synteesiä säättävä geeni, muuttuvat lituruohokasvit ilman vihannespunkkivioitustakin voimakkaasti petopunkkeja houkuttaviksi. Geenin toiminta voidaan aktivoida esimerkiksi tiettyssä kasvin kehitysvaiheessa tapahtuvaksi tai se voidaan tarvittaessa käynnistää mm. lannoitus- tai rikkahävitökäsitte-

lyn yhteydessä ruiskutettavalla heräteyhdisteellä. Satoa korjattaessa kasvien tuottamista omista luontaisista houkuteyhdisteistä ei ole enää jäämiä havaittavissa, koska ne ovat haihtuneet kasvukauden aikana hajuna ilmaan.

Kirjoittaja toimii määräaikaisena professorina Kuopion yliopiston Ekologisen ympäristötieteen laitoksella (Pl 1627, 70211 Kuopio, jarmo.holopainen@uku.fi). Kirjoitus perustuu Suomen Akatemian 1.11.2005 järjestämässä kansainvälisessä Geneflow -seminaarissa pidettyyn esitelmään.

Maatalous muutoksessa – tulevaisuudenkuvia vuoteen 2025

Pasi Rikkinen

Erilaiset maatalouden toimintaympäristön muutokset, muutostekijät ja kehitystrendit, kuten ruokamarkkinoiden globalisaatio, Euroopan unionin laajeneminen ja maatalouspolitiikan suunta, kuluttaja- ja ympäristövaatimusten vahvistuminen ja maatalousteknologian kehittyminen (erityisesti bio- ja geeniteknologia), muovaavat maatalouden, maaseudun ja elintarviketuotannon toimintaympäristöä seuraavien vuosikymmenten aikana.

Kansallisesti merkittävimpiä muutoksia ovat elintarvikeketjun asiantuntijoiden mukaan maaseudun autoituminen erityisesti Itä- ja Pohjois-Suomessa sekä maatalouden rakennemuutoksen aiheuttamat haasteet. Rakennemuutok-

sen suurimpina haasteina nähdään tuotannon keskittyminen, maatalouden teollistuminen, tilakoko- ja määräm muutokset sekä viljelyalaan kohdistuvat muutokset.

Edellä mainittuihin vaikuttaa erityises-



(Kuv. Tom Murmann)