



Parempia kasvilajikkeita kehitysmaille - miksi ja miten?

29.11.2004 Jussi Tammissola, kasvinjalostuksen dosentti.

Käsikirjoitus Futura-tiedelehteen (4/04). Perustuu Tulevaisuuden tutkimuksen seuran kesäseminaarissa 19.8. sekä Biologian ja maantieteen opettajien liiton syyspäivillä 16.10.2004 pidettyihin esitelmiin.

Ruokaa "sellaisena kuin luonto sen tarkoitti"

villiporkkana

villiretiisi



Porkkana "sellaisena kuin ihminen sen halusi"



Parempia kasvilajikkeita kehitysmaille - miksi ja miten?

Jussi Tammissola, FL, MMT, kasvinjalostuksen dosentti (HY), PL 30, 00023 Valtioneuvosto, jussi.tammissola@helsinki.fi

INGRESSI:

Geenitekniikka kehittää biologisia menetelmiä, joiden avulla perimää voidaan tutkia ja muuttaa ihmisen tarpeiden mukaan. 11 000 vuoden ajan jalostimme viljelykasveja primitiivisillä keinoilla. Nyt kasveja voidaan parantaa hallitusti. Lopputulos silti ratkaisee. Luonto kysyy, millaisen kasvin jalostimme, ei miten.

Geenitietoon ja uuteen osaamiseen perustuva jalostus on jo monessa suhteessa turvallisempaa, tarkempaa, nopeampaa ja halvempaa kuin "perinteinen". Julkista rahaa kuitenkin tarvitaan, jotta ihmisten enemmistö saisi varmemman sadon ja patoihinsa terveellisempää ravintoa.

Myös kehitysmaiden viljelijöille tarvitaan parempia työvälineitä. Uudella osaamisella niitä voidaan kehittää helpommin ja silloinkin, kun vanhat konstit eivät auta.

Mitä siis emo:illa¹ olisi annettavana?

Taulukko 1. Mitä apua kasvigeenitekniikasta kehitysmaille lähivuosina?

1. Suolankestävät viljelykasvit
 2. Kuidankestävät viljat
 3. A-vitamiiniriisi ja -peruna
 4. Proteiiniriisi, -peruna ja -bataatti
 5. Rautariisi ja -vihannekset
 6. Kasveissa tuotettavat rokotteet ja hoitoproteiinit
 7. Taudinkestävät lajikkeet
 8. Hyönteiskestävät kasvit
 9. Rikat kuriin - lapset kouluun
 10. Terveellisempiä kasviöljyjä
-

Suolankestäviä lajikkeita

Intiassa Swaminathanin tiedesäätiön tutkijat ovat jalostaneet suolankestävän riisin (Terra Green 31.1.2004). Kasvihuonekokeissa se on pystynyt kasvamaan jopa kolme kertaa merivettä suolaisemmassa vedessä.

Suola on yleensä viljelykasveille vahingollista. Kaikkiaan neljäsosa maapallon maa-alasta on suolapitoista. Yksin Kiinassa sitä on 33 miljoonaa hehtaaria. Tilanne pahenisi, jos merenpinta nousisi ilmaston muuttuessa.

Riisi ruokkii yli puolet maailman väestöstä. Jotta sen kasvavaan kysyntään voidaan vastata, käyttöön on otettava uusia tuotantotapoja ja -teknologioita. Riisin viljelyn tehostaminen taloudellisesti ja ympäristöllisesti kestäväällä tavalla on elintärkeää erityisesti Aasille ja Afrikalle, kiteytti FAO Maailman riisikongressin sanoman (12.1.2004).

Kolme vuotta sitten tutkijat eristivät rannikkovesien mangrovepuista geenin, joka auttaa niitä sietämään merivettä. Geeni lisättiin Intian tärkeimpiin riisilajikkeisiin, ja niistä tuli suolankestäviä. Vuodenvaihteessa Intian hallitus hyväksyi uudet lajikkeet kenttäkokeeseen (*Science* 16.1.2004).

Kiinassa Shandongin yliopistossa suolankestävä riisi on jalostettu suolakkokasvin (*Suaeda salsa*, merenrantakilokki) geenillä, ja ominaisuus on viety myös tomaattiin ja soijaan.

Viljelykasvien suolankestävyydellä voi olla suuri merkitys kehitysmaiden ruuantuotannolle, etenkin ajoittain meriveden alle jäävillä alueilla. Aiemmin viljelykelvottomia maita saadaan hyötykäyttöön. Viljely myös puhdistaa suolan pilaamaa maaperää, sillä uudet lajikkeet keräävät suolaa lehtisolujensa vakuoleihin (jätteitä säilöviin kalvopusseihin). Hedelmiin tai jyviin suolaa ei kuitenkaan kerry.

Läpimurtoja kuivankestävyydessä

Ajoittainen veden puute on uhka ruokaturvalle monissa kehitysmaissa ja lisää satoriskiä myös vauriaissa maissa. Useat tutkimusryhmät ovat kuitenkin löytäneet eri geenejä, jotka voivat tuoda merkittäviä parannuksia viljelykasvien kuivankestävyyteen. Kuivankestävyydessä on usein kuitenkin kyse usean geenin koordinoitusta yhteistoiminnasta, joten jalostus on vaikeampaa kuin suolankestävyydessä. Samoilla geeneillä on kuitenkin usein vaikutuksia niin kuivuuden, kylmyyden kuin suolaisuuden sietoon (Zhang ym. 2004).

Kestävyyden mekanismeja on erilaisia. Esimerkiksi täysin kuihtuneeksi kellastunut, kuolleelta näyttävä kasvi vihertyy sateen vaikutuksesta muutamassa päivässä normaaliin kuntoon.

Maailman maissin- ja vehnäntutkimuskeskus CIMMYT testaa viljelykokeissaan kuivankestävää vehnää (kuva 1).

Egyptissä on puolestaan tuotu koevehnään kuivankestävyyden geeni HVA11 ohrasta. Uutta vehnää viljeltäessä kastelukerrat vähenevät kahdeksasta yhteen - ja joillakin aavikkoalueilla selvittää pelkän sateenkin turvin (Bahieldin ym. 2004). Tämän ansiosta vehnää voidaan viljellä laajasti aikaisemmin viljelykelvottomilla alueilla. Kun selvittää vähemmällä kastelulla, vähenee myös maata pilaava suolaantumisen.



Kuva 1. Kuivankestävä vehnä.

Kenttäkokeissa on jo vehnää, joka on jalostettu tuomalla siihen lituruohosta kuivankestävyyden geeni DREB (CIMMYT 2004). Kestävä (vasemmalla) ja kontrollivehnä 10 vrk:n kuivana pidon jälkeen.

Kuivankestävyyden geenejä on viety myös maissilinjoihin. Ominaisuus parantaisi merkittävästi maissin satovarmuutta alueilla, joissa kasvia viljellään sateen varassa, varsinkin Afrikassa.

A-vitamiiniriisi ja -peruna

WHO pyrkii tervehdyttämään ihmisten enemmistöä parantamalla tärkeiden ruokakasvien ravintoarvoa. Tällaisia ovat mm. riisi, maissi ja juurekset. Yksipuolisessa kasviraivinnossa on liian vähän paitsi proteiineja ja välttämättömiä aminohappoja myös esimerkiksi rautaa, sinkkiä ja A-vitamiinia. Tämä aiheuttaa puutostauteja, heikentää vastustuskykyä ja lisää kuolleisuutta tartuntatauteihin, kuten malariaan (Welch 2002).

Jo A-vitamiinin puutteen vuoksi kuolee kaksi miljoonaa ihmistä ja puoli miljoonaa lasta sokeutuu joka vuosi. Maailman riisintutkimuskeskus (IRRI) Filippiineillä jalostaakin kehitysmaiden pienviljelijöille A-vitamiinin esiastetta (beetakaroteenia) sisältävää "kultaista" riisiä.

Tämänhetkisillä riisilinjilla riittää parinsadan gramman päiväannos jyvää todennäköisesti A-vitamiinin saannin minimitasoon, joka ehkäisisi parantumattomien vaurioiden syntymistä pikkulapsilla. Uusilla koelinjoilla pitoisuudet ovat korkeampia (Potrykus 2003).

A-vitamiiniriisin oikeudet länsimaissa omisti biotekniikkayhtiö Syngenta, joka lahjoitti ne lokakuussa 2004 kokonaisuudessaan IRRI:lle (oikeudet kehityskauppaan oli luovutettu jo aikaisemmin).

Kasveilla on meneillään jalostusohjelmia myös muiden vitamiinien sekä terveellisten flavonoidien edistämiseksi. Esimerkiksi tomaatin punainen väriaine (lykopeeni) ehkäisee syöpää, ja sen pitoisuutta on onnistuttu jo kasvattamaan merkittävästi, eräissä koelinjoissa jopa moninkertaiseksi. Riisin E-vitamiinipitoisuutta parannetaan geenitekniikalla. Niissä tapauksissa, jolloin ominaisuudessa esiintyy jalostusaineistoissa riittävää geneettistä vaihtelua, voidaan hyödyntää myös valintajalostusta.

Skotlannissa tutkijat ovat jalostaneet geenitekniikalla kehitysmaita varten perunalajikkeen, jonka karotenoidipitoisuus on kasvanut kuusinkertaiseksi ja jossa on myös terveellistä luteiinia. Yhdestä peruna-annoksesta saa nyt kolmasosan suositellusta päiväannoksesta A-vitamiinia (minimitasoon ylletään vähemmällä), ja pitoisuuksia parannetaan edelleen jalostuksella (Ducreux ym. 2004).

Fyysikko Vandana Shiva suosittelee Intian köyhille A-vitamiinilähteiksi lihaa, munia ja jauhosavikkaa. Edellisiin heillä ei ole varaa, ja jauhosavikkaa ei tulisi syödä, sillä se on myrkyllinen. Kasvissa voi olla haitallista oksaalihappoa jopa 11 %, ja se on aiheuttanut myrkytyksiä karjalle ja lampaille (Lopez ym. 1988).

Mikään toinen tapa puutosten poistamiseksi ei tule yhtä edulliseksi kuin kasvinjalostus. Lupamenettelyjen byrokratia on kuitenkin tehty erityisen hankalaksi juuri parannettuja ravinto-ominaisuuksia sisältäville kasveille.

EY:n vaatimukset ovat hidastaneet A-vitamiiniriisin pääsyä markkinoille arviolta viisi vuotta (Potrykus 2003). Suojelemmeko kenties itseämme kuvitteellisilta riskeiltä unohtaen täysin maailman todelliset ongelmat?

Proteiiniriisi, -peruna ja -bataatti

Monet "nälkäsairaudet" eivät johdu sinänsä ravinnon vaan erityisesti proteiinin puutteesta kehitysmaissa. Se hidastaa kasvua, haittaa henkistä kehitystä ja alentaa vastustuskykyä. Proteiinin puutteesta kertoo langanlaihojen lasten turvonnut vatsa, joka tuli suomalaisille tutuksi Biafran kuvista.

Viljojen siemenproteiinissa on tyypillisesti liian vähän ihmisille välttämättömiä aminohappoja kuten lysiniä ja metioniinia. Perunan mukuloissa proteiineja on lisäksi kovin niukasti, vain pari prosenttia.

Intialaiset tutkijat ovat jalostaneet riisin, jonka ravintoarvoa on parannettu vilja-amarantista siirrettyllä proteiinigeenillä. Amarantti on muinainen ravintokasvi, joka kuuluu revonhätäkasveihin. Geenin löysi Kansallinen kasviperimän tutkimuskeskus New Delhissä. Proteiinin aminohappokoostumus on ihanteellinen ihmisen ravitsemuksen kannalta (Raina ja Datta 1992). Proteiinilla on takanaan pitkä turvallisen käytön historia, eikä se aiheuta allergiaa.

Proteiinigeeni on nyt siirretty viiteen intialaiseen riisilajikkeeseen.

Samat tutkijat ovat aikaisemmin siirtäneet kyseisen proteiinigeenin jo perunaan (Chakraborty ym. 2000). Proteiiniperuna eli 'protaatti' odottaa parhaillaan viljely- ja markkinointilupaa, jotta sen myynti Intiassa voitaisiin aloittaa. Poliittisista syistä hakemus voi kuitenkin päätyä vitkuttelun kohteeksi vielä vuosikausiksi.

Bataatti eli "köyhän miehen peruna" on tärkkelyskasvi, jonka mukuloissa on vähän ja meille huonoa proteiinia. Geenitekniikalla on jo jalostettu proteiinibataatti, joka 5-10-kertaistaisi välttämättömien aminohappojen saannin bataatista. Kunhan joku vain rahoittaisi kalliin tuotehyväksynnän...

Rautariisi ja -vihannekset

Raudan puutteesta kärsii 2 miljardia ihmistä maailmassa. Se johtaa muun muassa anemiaan ja aiheuttaa viidesosan naisten kuolemantapauksista kehitysmaissa.

Rautaa esiintyy runsaasti pinaatissa mutta salaattissa vain vähän. Pinaatin haitta-aineet, kuten oksaalihappo, kuitenkin estävät sekä raudan että kalsiumin imeytymistä ravinnosta, joten pinaatin hyödyllisyys on kyseenalaista.

Kasvien rautapitoisuutta voitaisiin nostaa käyttämällä rautaa sisältäviä lannoitteita. Tästä olisi kuitenkin usein haittaa kasvin hyvinvoinnille ja kasvulle.

Rautariisissä rauta ei keräänny tarpeettomasti kasvullisiin osiin vaan se on ohjattu kertymään jyviin (niiden rautaa sitovaan proteiiniin, ferritiiniin). Sopiva geeni on tuotu riisiin esimerkiksi tarhapavusta (Lucca ym. 2001).

Myös riisinjyvien sinkkipitoisuutta yritetään parantaa sekä perinnejalostuksella että geenitekniikalla - sinkin puute heikentää vastustuskykyä. Tärkeitä mikroravinteita ei aina ole viljelymaassa riittävästi, mutta jalostetut kasvit pystyvät ottamaan niitä ympäristöstään riittävästi.

Rautasalaatti on puolestaan kehitetty jalostamalla soijapavun ferritiinigeeni (Goto ym. 1998) ilmentymään salaatin lehdissä. Kasvissa on melkein yhtä paljon rautaa kuin pinaatissa, mutta se on ihmiselle käyttökelpoisessa, biologisesti aktiivissa muodossa.

Hoitoproteiineja ja (syötäviä) rokotteita kasveilla

Jalostetuissa kasveissa voidaan tuottaa arvokkaita rokote- ja hoitoproteiineja ratkaisevasti edullisemmin kuin muilla keinoilla. Alalla on tapahtumassa "räjähtävää" kehitystä, ja toinen toistaan lupaavampia menetelmiä ja innovaatioita on nousemassa tuotantotasolle.

Islanti alkaa kasvattaa arvoproteiineja muuntogeenisessä ohrassa (Kristinsson 2004). Toisaalta suljetuissa laboratorioissa hoitoproteiineja voidaan tuottaa hämmästyttävän tehokkaasti ja suurella saannolla ilmentämällä niiden geenejä kasvissa vain tilapäisesti (Gleba 2004). Jopa EU on perustanut keväällä 2004 oman konsortion rokotteiden tuottamiseksi kasveissa kehitysmaita varten.

On osoittautunut, että kasvit pystyvät huolehtimaan ihmisproteiinien jälkikäsitteystä odotettua paremmin. Monet huippukalliit hengenpelastajat, jotka on jouduttu kasvattamaan hankalilla ja kalliilla eläinsoluviljelmillä, voidaankin pian tuottaa edullisesti kasveissa. Potilaille tämä on hyvä sanoma.

Jos tuote on niin yksinkertainen, että sen valmistaminen onnistuu myös muuntogeenisillä mikrobeilla, tämä on toistaiseksi edullisinta. Näin onkin jo vuosikymmeniä tuotettu esimerkiksi kaikki uudet ("luonnollista paremmat") insuliinit. Uusimmat niistä voidaan jo nauttia suun kautta, ilman pistoksia.

Lääketehtäjä Novo romuttikin jo kauan sitten valaanpyyntilaivastonsa, sillä diabeetikkojen elämä ei enää ole valaanhaimojen varassa.

Ripulitauteihin kuolee 3 miljoonaa lasta vuodessa. Riisissä voidaan jo tuottaa immuunipuolustusta vahvistavaa äidinmaidon laktoferriniä muun muassa Afrikan aids-orvoille (Nandi ym. 2002). - Tai voitaisiin. Jos järki ja etiikka, sivistys tai biologia näkyisivät maailman mediassa yhtä hyvin kuin kalsea katuteatteri. "Aktivismi" kampanjoi näet tämänkin tuotteen kaatamiseksi.

Kasvirokote ei sisällä mikrobeja, joten se ei voi aiheuttaa itse tautia. Niinhän voi joskus (harvoin) tapahtua, kun käytetään heikennettyjä taudinaiheuttajia sisältäviä perinteisiä rokotteita.

Parhaassa tapauksessa rokoteproteiinia ei tarvitse ollenkaan eristää tuotantokasvista, vaan se voidaan nauttia kasvin mukana. Syötävä rokote antaa tavallista paremman suojan myös limakalvoilla, joiden kautta tautien aiheuttajat usein tunkeutuvat elimistöömme (Rowlandson ja Tackaberry 2003, Tregoning ym. 2004).

Muuntogeenisessä tupakassa voidaan esimerkiksi tuottaa kehitysmaille edullisesti rokoteproteiinia kohdunkaulan syöpää vastaan (Mthembu 2004). Rokote on jo kolmannen vaiheen kliinisissä kokeissa. Syöpärokote voidaan tuottaa myös syötävässä kasvissa, kuten salaattissa tai perunassa, ja annostella suun kautta (Kapusta ym. 2001, Warzecha ym. 2003).

Rokotteet kasvatetaan ja jaellaan osana lääkintähuoltoa, erillään ravinnon tuotannosta. Kehitysmaille kasviksi sopisi banaani. Se ei tee siementä, ja sitä lisätään vain kasvullisesti, joten rokotekasvit on helppo pitää erillään muista.

Syötävät kasvirokotteet sopivat viidakoon ja savannille. Ei tarvita pistoksia, jotka puutteellisen hygienian oloissa levittävät tauteja, kuten aisia ja hepatiittia. Kuivatut banaanin siivut voidaan säilyttää huoneen lämmössä paperipussissa.

Ja ennen muuta, kasvirokote tulee sata kertaa halvemmaksi. Silloin köyhimmälläkin maalla on lopulta varaa rokottaa väestönsä.

Syötävän kasvirokotteen kulut ovat senttejä, tavallisen rokotuksen dollareita. Säästöt saadaan, kun ei tarvita eristystä, kylmäketjua, neuloja, ruiskuja, sterilointia, laitoksia eikä koulutettua väkeä.

Banaanien kasvatus lääkelaitoksessa ei käy kalliiksi. Hiukan kuluja tulee toki siivujen kuivauksesta sekä annosten pussittamisesta ja jakelusta kylien "poppahenkilöille".

Taudinkestäviä lajikkeita

Taudit ja tuholaiset verottavat raskaasti ravinnon tuotantoa maailmassa. Aasiassa ja Afrikassa ne vievät miltei puolet sadosta - tappiot ovat lähes kaksinkertaisia Eurooppaan verrattuna (Agrios 1997).

Kestävät lajikkeet olisivat kestävä ratkaisu kolmannen maailman ruokaturvan ja satovarmuuden parantamiseksi.

Viruksenkestävä papaija ja kassava

Virustaudit voivat aiheuttaa suuria tuhoja, eikä niitä vastaan useinkaan löydy kestävyyttä viljelykasvien jalostuspopulaatioista. Viruksen kasvu viljelykasvissa voidaan kuitenkin estää eräänlaisella geneettisellä rokotuksella.

Kasviin viedään geenitekniikalla osia sellaisesta viruksen geenistä, jonka avulla virus yrittää vallata kasvin. Tällöin kasvisolu tunnistaa tunkeutuvan viruksen ja hajottaa sen hyökkäysvälineet.

"On epätodennäköistä, että viruskestävistä gm-lajikkeista aiheutuisi erilaisia ongelmia kuin perinteisillä menetelmillä jalostetuista viruskestävistä lajikkeista", tiivistää seitsemän suuren kansallisen ja kansainvälisen tiedeakatemian raportti (Royal Society 2000).

Papaijan rengaslaikkuvirus löydettiin Havaijilta vuonna 1992. Virus tappaa kasvin, ja se aiheutti jo muutamassa vuodessa suuria tuhoja osavaltion papaijaviljelmillä. Kokonaisen kansan tärkeä elinkeino oli uhattuna. Kestävyyttä ei löytynyt mistään papaijalajista, joka voitaisiin risteyttää viljelypapaijan kanssa.

Parhaisiin papaijalajikkeisiin onnistuttiin kuitenkin lisäämään kestävyys virusta vastaan geenitekniikan avulla (Ferreira ym. 2002). Suosittujen lajikkeiden vanhat, hyvät ominaisuudet voitiin siten säilyttää. ("Perinteisellä" jalostuksella tällaisten lajikkeiden pelastaminen on mahdotonta).

Kestäviä taimia jaettiin viljelijöille ilmaiseksi, ja Havaijin papaijantuotanto on jo palannut ennalleen.

Nyt sama virus riehuu Aasiassa, ja jalostajilla on kiire edes parhaiden lajikkeiden pelastamiseksi. Havaijin kokemuksi ja tietotaitoa käytetään hyväksi, ja jalostustyöhön on perustettu viiden Aasian maan konsortio.

"Aktivistien" kampanja vaatii, että viruskestävät papaijat on tuhottava ("saasteena"). Papaijan ystävien ja biologien kannalta saastaa ovat kuolleet puut ja virusten tarvelemät hedelmät.

Eteläisen Afrikan kassavasadosta menetetään mosaiikkiviruksen vuoksi vuosittain jopa 60 %. Virustautiset kassavat eivät tuota kuin 2-6 tonnia juureksia hehtaarilta. Geenitekniikan avulla on kuitenkin jo jalostettu viruskestäviä kassavalinjoja, jotka tuottaisivat terveitä juureksia 30 tonnia/ha.

Terveet kassavat eivät ole vaaraksi ympäristölle eivätkä etenkin ihmiselle. Ne hidastaisivat myös taudinaiheuttajan evoluutiota vähentämällä sen mahdollisuuksia tunkeutua kasviin risteytymään muiden kasvivirusten kanssa.

Viruskestävän kassavan saaminen viljelyyn on kuitenkin viivästynyt vuosia, sillä Zimbabwen poliittiset päättäjät eivät ole uskaltaneet myöntää kasville koelupia.

Kuka pelastaisi banaanin?

Kehitysmaille banaani on tärkeä vientituote, mutta se on myös niiden neljänneksi tärkein ruokakasvi. Banaanista riippuu puolen miljardin ihmisen elanto kolmannessa maailmassa.

Uudet sienitautirodut ovat leviämässä (Romero 2002) ja uhkaavat viedä banaanit kaupoistamme - viljely voi romahtaa vuosikymmenessä (kuva 2).



Kuva 2. Banaanin lakastumistauti (Black Sigatoka)

Niin kävi jo kerran. Tauti autioitti 50 vuotta sitten Gros Michel -lajikkeen viljelmät. Nykyisiä makeampi ja suurempi, "naurava" banaani jäi pois käytöstä. Sen korvasivat nykyiset Cavendish-lajikkeet, joiden maku on hieman yhdentekevä.

Nyt Cavendish-banaanitkin ovat siis vaarassa, sillä ne eivät kestä uusia lakastumistaudin ja lehtilaikkutaudin rotuja. Lajikkeille on yritetty jalostaa taudinkestävää seuraajaa perinteisillä keinoilla jo 40 vuoden ajan - heikoin tuloksin. Viljelybanaanit ovat näet siemenettä, joten niiden risteyttäminen on hyvin vaikeaa.

Kymmenen hehtaarin viljelmä pölytettiin käsin kestävien aasialaisten villibanaanien siitepölyllä. Saadut 400 000 kiloa banaaneja survottiin ja suodatettiin. Siemeniä löytyi 15, ja niistä neljä iti.

Saadut kasvit risteytettiin sitten takaisin villibanaaneihin. Näin syntyi lopulta siemenetön lajike, joka on vastustuskykyinen kummallekin taudille.

Tilanne on siis pelastettu? Eipä todellakaan, sillä tämän "lehtolapsen" maku on hapan ja muistuttaa pikemminkin omenaa. Siitä ei ole vientiveturiksi kehitysmaille.

Banaanisuvun 35 lajissa on paljon hyviä ominaisuuksia. Niitä voidaan tuoda viljelybanaaneihin vain geenitekniikalla, varsinkaan puhtaina. Kiireellisintä olisi nyt löytää ja noutaa villibanaaneista kestävyysgeenejä. Naurava banaani odottaa ylönousemusta.

Rutonkestävä peruna on parempaa

Perunarutto on maailman tuhoisin perunatauti. Länsimaissa ruttosienen kurissa pitäminen vaatii usein yli 10 torjuntaruiskutusta. Lämpimässä ilmastossa, kuten Meksikossa, voidaan tarvita jopa 25 ruiskutuskertaa vuodessa. Tämä tulee kalliiksi ja rasittaa ympäristöä.

Yhdysvalloissa on villistä perunalajista löydetty kestävyysgeeni perunaruttoon vastaan. Geeni paikannettiin villiperunasta vuosikymmenen tutkimustyön tuloksena ja siirrettiin muutamaan tärkeään viljelyperunalajikkeeseen geenitekniikan avulla. Viljelykokeissa perunat ovat osoittautuneet kestäviksi kaikkia tunnettuja ruttorotuja vastaan (Song ym. 2003).

Perinteisessä jalostuksessa on käytettävä risteytyksiä, jolloin perunalajikkeiden ainutkertainen geeniyhdistelmä hajoaa. Geenitekniikkaa sovellettaessa uuden ominaisuuden tuova geeni voidaan lisätä (valmiin lajikkeen) kasvullisiin soluihin, jolloin lajikkeen hyvät ominaisuudet säilyvät.

Kyseistä villiperunalajia ei saada risteytymään viljelyperunan kanssa. Vaikka se onnistuisikin, ei biologian nykytasolla olisi enää järkevää noutaa kestävyysgeeniä myrkyllisestä villilajista risteyttämällä. Toivotun ominaisuuden lisäksi myös haitallisia ominaisuuksia siirtyisi silloin viljelyperunoihin.

Löydetty rutonkestävyys ei ole rotuspesifistä tyyppiä, joka usein murtuu taudinaiheuttajan evoluution myötä varsin pian. Uusi geeni vain hidastaa ruttosienen kasvua, jolloin kasvi ei ehdi vahingoittua eikä tauti levitä epidemiaksi asti. Tällainen "yleinen" kestävyys saattaa jalostuksen kokemusten mukaan usein säilyä murtumatta paljon pitempään.

Rutonkestävyydestä olisi suurta hyötyä myös vauraisissa maissa. Viljelemällä kestäviä perunalajikkeita säästytäisiin Euroopassa vuosittain 860 miljoonan kilon satovahingoilta ja levitettäisiin pelloille 7,5 miljoonaa kiloa vähemmän torjunta-aineita (Gianessi ym. 2002, 2003). Onhan ruton tarvelemä mukula myös karmea makuelämys. . .

Hyönteiskestävät kasvit

Kestävät kasvit säästävät ympäristöä, tuovat satovarmuutta ja parantavat satoa jopa kymmenillä prosenteilla erityisesti kehitysmaissa. Pahana tuholaisvuonna Intiassa hyönteiskestävät puuvillat tuottivat lajikekokeissa jopa 80 % enemmän satoa kuin muut puuvillat (Qaim ja Zilberman 2003).

Eniten kestävydestä hyötyvät pienviljelijät, joilla ei ole varaa viljelytekniikkaan eikä torjunta-aineisiin (Pray ym. 2002).

Yökkösenkestävä puuvilla - terveempää elämää viljelijälle ja luonnolle

Kestävät viljelykasvit selviävät vähemmällä torjunta-aineriskituksilla, joten haitat viljelijän terveydelle vähenevät ja ympäristön tila paranee. Hyödyt osoittautuvat yleensä suurimmiksi kehitysmaissa, etenkin pienillä viljelmillä.

Vuonna 2004 seitsemän miljoonaa kiinalaista pientalonpoikaa viljelee geenitekniikalla jalostettua Bt-puuvillaa, jonka haivenpalloja puuvillayökkönen ei tuhoa. He saavat varmemman, suuremman ja laadukkaamman sadon kuin intialaiset parhaista hybridilajikkeistaan. Kiina onkin vallannut Intian perinteiset asemat puuvilla-alalla.

Kestäviä Bt-lajikkeita on viljelty jo kauan laajassa mitassa, eikä niistä ole tutkimuksissa ilmennyt merkittäviä haittoja muille lajeille kuin torjuttaville kasvintuhoojille (O'Callaghan ym. 2004).

Perinteinen puuvilla on maailman myrkytetyin viljelykasvi. Kun siirryttiin kasvattamaan Bt-puuvillaa, vähenivät hyönteistuhojen torjuntariskit Kiinassa kahdestakymmenestä seitsemään ja Etelä-Afrikassa 14 kerrasta kolmeen. Samalla päästiin kokonaan eroon organofosfaateista ja -klooreista, jotka ovat vaarallisia viljelijöille erityisesti kehitysmaiden oloissa (Maumbe ja Swinton 2003).

Viljelijöiden myrkytystapaukset ovat vähentyneet Kiinan puuvillapelloilla kymmenillä tuhansilla (Hossain ym. 2004) ja pellon elämä on monipuolistunut merkittävästi (Chen ym. 2004).

Mikäli puolet EU:n maissi-, rapsi-, sokerijuurikas-, ja puuvilla-alasta viljeltäisiin kestäväillä gm-lajikkeilla, vähenisi torjunta-aineiden käyttö 14,5 miljoonaa kg, dieselöljyn kulutus 20,5 miljoonaa litraa, ja hiilidioksidipäästöt ilmakehään 73 000 tonnia vuodessa (Phipps ja Park 2002).

Eniten hyötyä pienviljelijälle

	Satolisä [kg/ha]	Muutos kokonaiskuluissa [\$/ha]	Muutos nettotuloissa [\$/ha]
<u>Tilakoko</u>			
0,0 - 0,47 ha	410	-162	401
0,47 - 1 ha	-134	-534	466
> 1 ha	-124	-182	185
<u>Talouden tulot [\$]</u>			
1-1200	170	-302	380
> 1200	65	-54	157
<u>Tulot henkeä kohti [\$]</u>			
1-180	456	-215	446
180-360	8	-284	303
> 360	-60	1	-15

Taulukko 2. Yökkösenkestävästä puuvillasta hyötyivät Kiinassa v. 1999 eniten köyhät pienviljelijät (Pray ja Huang 2003).

Satoetu ei ole yhtä merkittävä varakkaammille viljelijöille, jotka ovat voineet pitää tuholaiset paremmin kurissa hyönteismyrkkyjen avulla. Joissakin tapauksissa heidän satomääränsä on saattanut uudessa viljelytavassa jopa hieman laskea (joskin torjunta-aineiden käytössä tulee säästöjä).

Yökköskestävän puuvillan ansiosta voidaan nyt nimittäin siirtyä integroituun torjuntaan, jossa ruiskutetaan vain tarpeen mukaan. Tämä on ympäristölle ystävällisempää mutta vaatii paneutumista. Jos näet tuholaiden tarkkailu on puutteellista, saattaa esimerkiksi puuvillakärsäkkäiden määrä päästä lisääntymään - vanhassa viljelytavassa tiheään toistuvat myrkkuruiskutukset pitivät ne kurissa "automaattisesti".

Bt-puuvillan kylvösiemenen hinta on Etelä-Afrikassa yli kaksinkertainen tavanomaisiin lajikkeisiin verrattuna. Kulut korvautuvat kuitenkin normaalina tuholaisvuonna moninkertaisesti jo torjuntakulujen säästöinä. Samalla satovarmuus paranee.

Koisankestävä maissi suojelee luontoa ja ihmistä

Maissikoisa on epidemiaksi yltynyt tuhoperhonen, joka hävittää maailmassa vuosittain 17 Kheopsin pyramidin kokoista kekoa maissintähkiä. Torjunta vaatii tiheitä ruiskutuksia hyönteismyrkyillä. Varsinkaan toukansyömät sokerimaissin tähkät eivät innosta kuluttajia, vaan he valitsevat mieluummin koisankestäviä (gm-merkinnöillä varustettuja) tähkiä (Powell ym. 2003).

Kestävät kasvit selviävät ilman torjuntaruiskutuksia. Tästä hyötyvät viljelijä, kuluttaja ja pellon eliöstö. Maissipelloilla ja niiden ympäristössä onkin biologisen elämän monimuotoisuus kasvanut merkittävästi uusien lajikkeiden ansiosta.

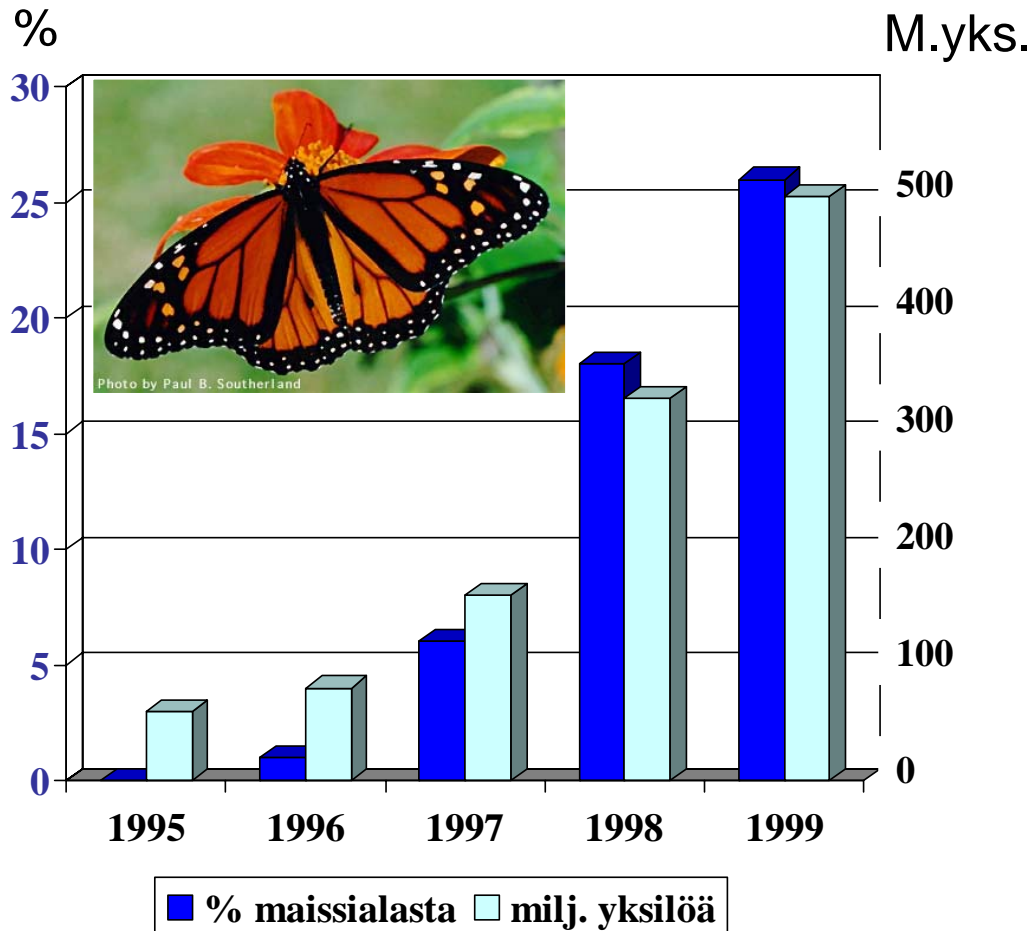
Tosiasiallisiin hyötyjiin kuuluu laajojen ekologisten tutkimusten mukaan myös monarkkiperhonen (Sears ym. 2001). Sen populaatio kasvoikin Amerikassa ennätyslukemiin (500 miljoonaa yksilöä) vuosina 1996 - 99 yhtä jalkaa Bt-maissin yleistymisen kanssa (kuva 3). Uusimmat lajikkeet ovat perhosen kannalta edullisimpia.

Maissikoisa ei kärsi ravinnon puutteesta, koska sille kelpaa luonnossa 200 ravintokasvilajia. Uusien maissien viljely on kuitenkin normalisoitunut tuholaisen armeijat kestävälle tasolle (Carpenter ja Gianessi 2001), mikä auttaa myös vanhojen maissilajikkeiden kasvattajia.

Koisankestävä maissi on terveystuote, jossa homemyrkyjä esiintyy kertaluokkaa vähemmän kuin tavallisessa maississa (Munkvold ym. 1999, Magg ym. 2002, Clements ym. 2003). Toukkien vaurioittamiin tähkiin iskevät näet homesienet. Ne tuottavat terveydelle haitallisia homemyrkyjä, jotka aiheuttavat munuais- ja maksavaurioita sekä syöpää (CFSAN 2001).

Ongelmallisimpia ovat luomumaissit, joista on tutkimuksissa löytynyt koisankestäviin maisseihin verrattuna jopa tuhatkertaisia homemyrkkypitoisuuksia. Britannian elintarviketurvallisuusviranomainen (FSA) poisti syyskuussa 2003 markkinoilta kaksi erää luomumaissijauhoa 4000 prosenttia liian korkeiden fumonisiinipitoisuuksien vuoksi.

Fumonisiini aiheuttaa kehityshäiriöitä sikiölle ja moninkertaistaa lasten pahalaatuisten hermostovaurioiden määrän runsaasti maissia käyttävissä kehitysmaissa (Marasas ym. 2004).



Kuva 3. Bt-maissiala (Carpenter ja Gianessi 2001) ja monarkkiperhosten lukumäärä USA:ssa (Monarch Watch 2000).

Meksikon maissit ja monimuotoisuus

Greenpeace rummuttaa mediaväelle ja päättäjille, että koisankestävä maissi uhkasi maissin ja sen kantamuodon (teosintin) geneettistä monimuotoisuutta Meksikossa. Maatyöläiset tuovat näet Bt-maissia salaa pelloilleen naapurimaista käydessään siellä vierastyöläisinä.

Mutta onko väitteessä biologista järkeä?

Onko viljelykasvista hyötyä vai haittaa ympäristölle tai ihmiselle, riippuu kasviin jalostetuista ominaisuuksista, ei suinkaan jalostuksessa käytetyistä menetelmistä. Tämä on selvää varsinkin ekologeille - ja sen on asiakirjoissaan todennut jopa EU.

Kasvilaji (kuten viljelijä) ottaa käyttöönsä vain ominaisuuksia, joista on sille hyötyä. Huonot ominaisuudet karsiutuvat "armottomasti" pois luonnon ja viljelijän valinnassa. Esimerkiksi teosintti on elänyt jalostetun maissin rinnalla jo 7 000 vuotta, eivätkä maissiin jalostetut ominaisuudet ole vallanneet sen populaatioita tai uhanneet sen elinkykyä.

Teosintti ottaa tosin muutoinkin huonosti vastaan maissin perimää omalaatuisen geneettisen estomekanisminsa takia. Tämä ominaisuus on nyt tuotu (perinteisellä risteytysjalostuksella) myös maissiin, jolloin geenivirtaa muista lajikkeista luomumaissiin voitaisiin ehkäistä.

Ominaisuutta ei kuitenkaan saatane avuksi luomuviljelijöille, sillä alan järjestö Soil Association laventaa nyt vastustuksensa koskemaan myös perinteistä kasvinjalostusta.²

Maatiaismaissit on perinteisesti jalostettu siten, että viljelijä heittää pellolleen kourallisen (naapurikylän pellolta pihistämäänsä) "parempaa" maissia, jossa on jokin kiintoisa ominaisuus. Se risteytyy hänen maatiaislajikkeensa kanssa, ja parin sukupolven valintatyön jälkeen viljelijällä on käytössään uudella ominaisuudella parannettu, kilpailussa elinvoimaisempi versio "maatiaisestaan".

Lisätty uusi geenimuoto ei suinkaan vähennä vaan nimenomaan lisää lajikkeen tai jalostuspopulaation geneettistä monimuotoisuutta (käytettiinpä mitä diversiteetin mittaria tahansa). Erityisesti tämä pätee sellaiseen lisättyyn geeniin, jolla ei ole ollenkaan kasvissa villialleelia ennestään.

Koisankestävyys on viljelymaissille hyödyllinen ominaisuus. Jos kestävyys leviäisi myös villiin teosinttiin, niin se voisi auttaa tätä uhanalaiseksi käyvää esi-isää sinnittelemään hieman pitempään luonnossa. Teosinttia esiintyy enää paikoin Meksikon eteläosissa ja Guatemalassa (mutta sen perinnöllinen vaihtelu on onneksi jo lähes kokonaan tallessa geenipankeissa).

Rikat kuriin - lapset kouluun

Peltojen hoito on kehitysmaissa usein naisten ja lapsien vastuulla. Pääosa perheenäitien ja lasten ajasta kuluu päivittäin rikkakasvien torjunnassa käsipelillä pelloilta.

Alituinen kuokkiminen ja kitkeminen rappeuttaa tukielimistöä ja vie ajan mittaan terveyden. Kalifornian maatyöläisten liitto onkin vaatinut käsinharauksen kieltämistä kokonaan.

Jos rikkakasvien torjuntaan löydetään helpompia keinoja, jäisi perheenäideille enemmän aikaa lasten ja sairaiden huoltoon ja lapsetkin ehtisivät käydä koulua.

Tällaisia etuja saataisiin herbisidinkestävistä lajikkeista. Saatavilla on esimerkiksi yli 1500 lajiketta RR-soijaa, jota viljeltäessä rikkakasvit voidaan torjua glyfosaatilla. Tehoaineen patentit ovat jo rauenneet, ja edullisia rinnakkaisvalmisteita on saatavissa mm. Kiinasta. Brasilian pienviljelijät ryhtyivätkin käyttämään RR-soijaa laajassa mitassa jo ennen kuin sille oli ehditty myöntää maassa viljelylupaa.

Uusi viljelytapa helpottaa myös siirtymistä kyntämättömään viljelyyn esimerkiksi soijan, maissin ja vehnän vuoroviljelyssä. Tällöin peltojen eroosio vähenee, maan biodiversiteetti kasvaa ja sen hiilensitomiskyky paranee.

Terveellisempiä ravintorasvoja

Rasvojen kovettamiseksi joudutaan eräitä tyydyttämättömiä kasviöljyjä käsittelemään siten, että osa niiden kaksoissidoksista pelkistetään yksinkertaisiksi. Prosessin sivutuotteena syntyy tällöin epäterveellisiä trans-rasvahappoja. Vuonna 2006 niille asetetaan tiukat rajoitukset USA:ssa.

Kasvinjalostuksella pyritään nyt muuttamaan kasviöljyjen koostumusta sellaiseksi, että transrasvahappoja ei muodostuisi. Tuotteita odotetaan markkinoille kahden vuoden kuluttua.

Viljelykasveihin jalostetaan myös geenejä, jotka ovat tarpeen pitkäketjuisten (20 tai 22 hiiliatomia sisältävien) monityydyttymättömien omega3-rasvahappojen muodostumiseksi kasvilla. Tällaiset rasvahapot vähentävät sydäntauteja, mutta niitä ei toistaiseksi muodostu viljelykasveissa. Tällä hetkellä saamme niitä vain kaloista. Tarvittavia geenejä on löydetty levistä ja sammalista.

Muuntogeenisen pellavan siemenissä pitkäketjuisia omega3-rasvahappoja on saatu äskettäin muodostumaan jo 2,5 prosentin osuus öljystä (ja lisäksi saman verran pitkäketjuisia omega6-rasvahappoja), mikä on jo lähellä ravitsemuksellisesti merkittävää tasoa. Niiden määrää pyritään jatkossa silti vielä lisäämään, jotta kaikissa viljelyoloissa saavutetaan varmasti riittävä taso (Abbadì ym. 2004, Qi ym. 2004).

Öljyalaadun parannuksista olisi apua myös kehitysmaille. Niiden nykyisten kasvirasvat, kuten kookosrasva tai sinappiöljy, ovat terveydelle epäedullisia. Merikalalan saanti on myös rajallista ja kalakannat vähenemässä. Sydänystävällisen omega3-rasvahapon saantia voidaan lisätä kestävästi vain jalostamalla terveellisempiä viljelykasveja.

Turvallisuutta allergikoille

Ruokavaliomme on viime vuosikymmeninä monipuolistunut ja tuonut ravintoomme kymmeniä- tai satojatuhansia uusia proteiineja. Pieni joukko niistä kehittää tavallista helpommin allergioita, kuten eräät "perinteisistäkin" proteiineista. Allergiakirjomme on muuttumassa vastaavasti (Tammisola 2003).

Vahvimpia allergiaproteiineja yritetäänkin poistaa tärkeiden ruokakasvien syötävistä osista. Proteiinin rakennetta voidaan myös jalostaa allergiaa aiheuttamattomaksi. Täsmäjalostus onnistuu parhaiten geeniteknikalla. Laaja ohjelma on käynnissä muun muassa maapähkinällä.

Soijaproteiinien tultua laajamittaiseen käyttöön alkavat soija-allergiat lisääntyä täälläkin. Soijaa on tuhansissa ruoka-aineissa, ja sille herkistyneelle se voi aiheuttaa vahvoja oireita. Useimmat soija-allergikot reagoivat proteiiniin P34. Sen tuotanto on jo onnistuttu sammuttamaan kääntögeenimenetelmällä, mistä ei ollut haittaa soijan kasvulle tai laadulle (Herman 2003).

Allergiaystävällisyys voidaan siirtää koelinjoista edelleen mihin tahansa parhaisiin soijalajikkeisiin tavallisella risteytysjalostuksella. Tässä tapauksessa se onnistuu, toisin kuin esimerkiksi hedelmä- ja marjakasveilla tai perunalla. Soija on nimittäin itsesiittoinen kasvi, joten sen viljeltävät lajikkeet ovat homotsygoottisia ns. puhtaita linjoja. Uusi ominaisuus voidaan silloin käytännössä lisätä lajikkeeseen sarjalla toistuvia takaisinristeytyksiä.

Vastaava hiljennyt mutanti löydettiin äskettäin yhdestä villistä soijalajista, kun käytiin molekyylianalyysin läpi tuhansia geenipankkien soijanäytteitä. Risteytysjalostuksen lähtöaineistona villilaji on kuitenkin aina arveluttavampi kuin viljelty lajike.

Jalostuksella yritetään myös poistaa viljelykasvien siitepölystä tärkeimmät hengitystieallergiaa aiheuttavat proteiinit, kuten raiheinän Lol p 5 (Tammisola 2004). Perinteisellä jalostuksella se ei onnistu, sillä kyseistä proteiinia tuottaa kymmenen geenin "perhe", eikä niihin kaikkiin voida osua sokean sattuman avulla. Kääntögeenimenetelmällä ne sammutettiin kohdistetusti yhdellä kertaa

(Bhalla ym. 1999). Kasvia itseään proteiinin puuttuminen ei näytä haittaavan (ainakaan viljelyoloissa), sillä "allergikon raiheinä" osoittautui tutkimuksissa aivan normaaliksi.

Myös allergiseen astmaan voi olla apua luvassa. Sen synty on onnistuttu jo ehkäisemään hiirillä syöttämällä niille muuntogeenisessä kasvissa tuotettua rokotetta. Lupiiniin siirrettiin geenitekniikalla auringonkukan allergisoiva proteiini, siemenalbumiini. Kun hiiret hengittivät auringonkukan albumiinipölyä, niille kehittyi normaalisti astma. Ne koehiiret, jotka olivat joskus syöneet muuntogeenistä lupiinia, säilyivät kuitenkin terveinä pölystä huolimatta (Smart ym. 2003).

Geenimuuntelun avulla voidaan pitkälliset (ja vaaralliset) siedätyspiikitykset joka tapauksessa korvata todellisella allergiarokotteella. Suojaavalla immunisaatiolla ja allergiareaktiolla on nimittäin eri mekanismit.

Muuttamalla allergiaproteiinia yksi aminohappo kerrallaan voidaan sen allergeenisuus (kyky aiheuttaa allergiareaktio) vähentää vaikkapa sadasosaan. "Kesytetty" proteiini aiheuttaa silti suojaavan immunisaation, ja sitä voidaan antaa potilaalle suuri kerta-annos pistoksena tavallisten rokotteiden tapaan. Paitsi hengitystieallergioihin, näin onnistutaan ehkä kehittämään turvallisia rokotteita myös ruoka-aineallergioihin, kuten maapähkinäallergiaan (Li ym. 2003).

Perinteinen kasvinjalostus vs. uusi täsmäjalostus

Evoluutio ja jalostus ovat eliön perimän muuttamista. Hyötykasveja on jalostettava, sillä useimmat kasvit eivät ole "tarkoittaneet" itseään ihmisen käyttöön (kuva 4). Niissä on paljon parannettavaa ihmisen hyvinvoinnin, tuotannon tehokkuuden ja ympäristön säästämisen kannalta. Monet edellä tarkastelluista edistysaskeleista olisivat olleet mahdottomia tai epävarmoja tai niihin olisi vaadittu moninkertaisesti vuosia ja työtä perinteisin menetelmin.



Kuva 4. Miten porkkana on kehittynyt.

Kuvassa jalostettu vs. villi porkkana ja retiisi. Muutamassa vuosituhannessa villiporkkanan juurakoista jalostettiin paksuja, pitkiä, lyhyitä, pulleita, valkoisia, keltaisia, punaisia, syvän punasinervia, jopa mustia. Oranssi karoteeniporkkana on uuselintarvike 1500-luvulta. Aikansa huippu-modernistit jalostivat Hollannissa neljä oranssia lajiketta, joista kaikki "oikeat" kaupan nyky-porkkanat polveutuvat.

Noin 11 000 vuotta kasvinjalostus oli luonnonoikkujen keräilytaloutta. Luonnon risteytymis- ja mutaatiomylllystä etsittiin onnenkantamoisia, "silmää tai suuta" miellyttäviä yksilöitä. Kasveista tiedettiin vähän ja niiden geneeistä tuskin mitään. Kehityksen raaka-aineena toimivat mutaatiot, joita luonto ja ihminen saavat aikaan esimerkiksi monilla kemikaaleilla sekä gamma-, röntgen- ja UV-säteilyllä. Mutaatiot ovat harvinaisia ja satunnaisia, ja yhtä toivottua muutosta kohti syntyy perimässä satojatuhansia ei-toivottuja muutoksia. Perinteisessä jalostuksessa kasveihin haetaan usein hyötyominaisuuksia villikasveista risteyttämällä. Tässä ei sinänsä ole mitään ihmeellistä, sillä lajien risteytyminen on kasveilla arkipäivää.

Toivottua geeniä tai geneejä ei tällöin useinkaan tunneta, vaan luotetaan onneen ja seulotaan jälkeläisistä esiin parhailta näyttäviä yksilöitä. Risteytyksissä siirtyy kuitenkin kasviin toivottujen geenien lisäksi tuhansia tuntemattomia geneejä. Niitä kaikkia ei voida puhdistaa pois kasvista, eikä tuntemattomien proteiinien haittomuutta (esimerkiksi allergiaominaisuuksia) voida selvittää.

Ei-toivottujen, "primitiivisten" geenien lukumäärää jälkeläistössä voidaan laimentaa tilastollisesti tekemällä kymmenien sukupolvien ajan takaisinristeytyksiä viljelykasviin päin. Jos valinnalla kuitenkin suositaan joitakin villikasvin geneejä, seuraavat kaikki niihin läheisesti kytkeytyneet villigenit sitkeästi mukana.

Vain väliin osuneet, harvinaiset tekijäinvaihdunnat (crossing-over) voivat pudottaa näitä "peukalokyytiläisiä" keltasta. Onnenkantamoisten löytämiseksi jälkeläistöistä tarvitaan mittavia molekyylibiologisia analyysejä. Tutkimuksissa on havaittu ei-toivottuja kyytiläisiä jopa 50 takaisinristeytyspolven jälkeen.

Ongelmallisinta on, jos toivottu geeni sijaitsee kromosomissa sentromeerin eli "vetokoukun" lähistöllä, missä tekijäinvaihdunta on estynyt. Mutta sentromeerin ympäristönsä on uskottu olevan geneeistä tyhjää aluetta? Väärin - sillä uudet tutkimukset osoittavat, että alueella sijaitsee jopa satoja aktiivisia geneejä, joita crossing-over ei voi käytännössä lohkaista erilleen toisistaan.

Uudessa jalostuksessa geeni sitä vastoin on aina selvillä, ja se siirretään geenitekniikan avulla kasviin puhtaana, ilman salamatkustajia. Vierasta dna:ta siirtyy kasviin miljoona kertaa vähemmän, ja valmiiseen lajikkeeseenkin sitä jää satoja (ellei tuhansia) kertoja vähemmän kuin vanhoilla menetelmillä.

Kun jalostettava geeni tunnetaan, sen tuottaman proteiinin (proteiinien) ominaisuuksia voidaan tutkia haittomuuden varmistamiseksi. Nisäkkäillä geeni saattaa kyllä tuottaa useita eri proteiineja - toisin kuin kasveilla on tapana. Mutta kaikki ne voidaan silti tunnistaa solun proteiini kirjosta ja ottaa erilleen tutkittaviksi.

Perinteinen jalostus ei ole vähemmän ongelmallista kuin täsmäjalostus

Viimeisten kolmen vuoden aikana kasvibiologien käsitykset perinteisestä jalostuksesta ovat kokeneet mullistuksen. Tulokset ovat tärkeitä käytännön sovelluksille mutta myös evoluutiobiologian teorialle.

"Perinteinen", vuosituhansia harjoitettu kasvinjalostus on osoittautunut keskeisiltä osiltaan kaoottisemmaksi kuin on osattu ajatella. Se voi laukaista kasvissa liikkeelle "hyppivät geenit" ja

mutaatiovyöryn, kaivaa esiin kätkeytyä geneettistä vaihtelua, vaimentaa tärkeiden geenien toimintaa sekä kiihdyttää perimäaineksen järjestäytymistä uudelleen.

Geenimuunteluun perustuva täsmäjalostus sitä vastoin selviää näistä ongelmista puhtain paperein.

Risteytykset kaukaisten sukulaisten kanssa laukaisevat viljelykasvissa hallitsematonta geneettistä muuntelua.

Hyppivät geenit, joita voi olla lähes 80 prosenttia perimäaineesta, lähtevät silloin liikkeelle ja voivat käynnistää kasvissa laajamittaisen "mutaatiomylllytyksen". Myös perinnöllinen uudelleenjärjestäytyminen (somaattinen rekombinaatio) kiihtyy kasvin soluissa.

Geenien toimintaa vaimentava dna-metylaatio voi lisäksi purkautua ja rakentua uudelleen. Tällöin kasvissa piilevää geneettistä vaihtelua ilmestyy näkyviin ja jotkin toimivista geeneistä vaimenevat.

Suuri osa kasvien geeneistä voi nimittäin olla normaalisti täysin vaimennettuina. Kasveilla siihen on varaa, sillä niillä on usein soluissaan koko geenistö useana kerranteena (80% kasvilajeista on alkuperältään polyploideja). Monet näistä vastingeeneistä voivat puolestaan olla kotoisin eri kasvilajeilta, joten kasvin ominaisuudet riippuvat siitä, mitkä versiot ovat toiminnassa.

Myös geenitekniikkaa sovellettaessa saattaa siirretty geeni hiljentyä useissa kasvilinearjoissa. Vaimeneminen ei tällöin kuitenkaan koske perimän muita geenejä. "Hiljaisten linjojen" ongelmasta selvittää kuitenkin jalostuksen koetelluilla periaatteilla. Alkuvaiheessa tuotetaan näet kymmeniä tai satakin muuntogeenistä koelinjaa, joista sitten vain parhaat kelpuutetaan jatkoon.

Jalostajalle geneettinen vaihtelu on sinänsä arvokasta raaka-ainetta, mutta sen tulisi olla mahdollisimman hallittua. Satunnaiset muutokset ovat joskus hyödyksi, mutta pitkälle kehityksessä lajikkeissa niistä on useimmiten haittaa.

Esimerkiksi korvaamattomat vanhat marja-, hedelmä-, viiniköynnös- ja perunalajikkeet hajoavat risteytettäessä. Ne löydettiin aikanaan geneettisinä onnenkantamoisina jopa satojentuhansien taimien jalostusaineistoista. Mikään määrä perinnejalostusta ei voi rakentaa niitä taas takaisin.

Uhanalaisia arvolajikkeita ei kannata hävittää geneettisellä arpapelillä, vaan niitä voidaan suunnitelmallisesti parantaa ja säilyttää kilpailukykyisinä tuotannossa. Lajikkeeseen vain lisätään sen elinkelpoisuudelle tarpeellinen uusi ominaisuus puhtaana geenitekniikalla.

Osaamisen vaihe vuonna 2004

Mikrobien perimää on jo jonkin aikaa voitu muuttaa tarkasti sellaiseksi kuin halutaan - yhden emäsparin tarkkuudella - käyttämällä geenitekniikkaa. Kasveilla tähän vaiheeseen ollaan pääsemässä vasta lähivuosina.

Kokeissa osataan jo toisinaan korvata kasvin oma geeni muunnetulla geenimuodolla, joskin rutiinitasolle on vielä matkaa (Hanin ja Paszkowski 2003).

Kasvien plastideilla (esimerkiksi kloroplasteilla) tämä sen sijaan jo onnistuu - niillä on oma perimänsä rengasmaisena dna-molekyylinä, jonka geenejä ja geenien väliin jääviä alueita voidaan jo muuntaa tarkasti (Daniell ym. 2002, Tregoning ym. 2004). Viemällä tuotantogeeni kloroplastiin

voidaan haluttua proteiinia tuottaa nyt kasvissa jopa 1000 kertaa enemmän kuin perinteisillä gm-menetelmillä. Yhdessä kasvissa voidaan näin tuottaa 400 miljoonaa annosta esimerkiksi pernarutturokotetta (joka on jo terveysviraston testeissä USA:ssa).

Kasveilla voidaan nyt jo kuitenkin lisätä jalostettu geeni ennalta valittuun, tutkittuun ja hyvin toimivaan vapaaseen paikkaan kromosomissa (Ow 2004).

Luonto itse muuttaa geenien sijaintia kromosomeissa klassillisilla mutaatioilla (inversio, deleetio, duplikaatio, translokaatio). Ilmiö on tunnettu jo 1920-luvulta asti, eikä se aiheuta huolta kasvinjalostukselle.

Uudessa paikassa geeni voi toimia paremmin tai huonommin kuin ennen. Kromosomeissa on joka tapauksessa tuhansia alueita, joissa jalostettu geeni toimii hyvin. Tilaa kyllä riittää, sillä geenituotetta koodaa vain 1-2 prosenttia kromosomin dna:sta.

Lähistön geeneillä saattaa teoriassa olla joskus vaikutusta toistensa säätelyyn. Sen estämiseksi osataan nykyisin laittaa jalostettavan geenin ympärille tyhjää dna-rihmaa eristeeksi.

Spekulointi jalostetun geenin paikasta ja sen vaikutuksesta siirtyi kuitenkin juuri historian lehdille (Preuss 2004). Jalostettavat geenit voidaan näet viedä nyt kasviin yhtenä pakettina omassa minikromosomissaan. Tämä on muita paljon pienempi kromosomi, joka kootaan etukäteen (Ikeno ym. 1998).

Minikromosomin toiminnalliset rakenneosat (kromosomin päät eli telomeerit sekä kromosomia liikuttava senromeeri) ovat kotoisin kasvista itsestään, ja käsivarsissaan se sisältää vain kasviin siirrettävät paremmat geenit tai geenimuodot. Minikromosomi viedään soluun tavallisilla (jo "perinteisillä") geeninsiirtotekniikoilla.

Luonnon kasveilla, varsinkin heinillä, esiintyy usein ylimääräisiä, pieniä ns. B-kromosomeja. Kasvit ottavatkin helposti vastaan jalostettuja minikromosomeja ja kohtelevat niitä huolellisesti kuin omiaan.

Osaamisen kehitys on parissa vuodessa ollut erittäin nopeaa. Kasvigeenitekniikassa ollaan siirtymässä ns. kolmanteen vaiheeseen. Nyt hienosäädetään jo kasvin omien geenien toimintaa tarkoituksenmukaiseksi viljelyn ja tuotelaadun kannalta (Swords 2004).

Ihminen odottaa näet sadolta aika tavalla eri asioita kuin kasvi itse. Kasvin ominaisuudet on optimoitu kasvia tai sen jälkeläisiä, ei ihmistä varten. Viljelyolot poikkeavat myös monella tavoin niistä luonnon oloista, joissa villi kantamuoto aikoinaan kehittyi.

Elintoimintojen säätöjä rukkaamalla voidaan siksi parantaa merkittävästi viljelykasvin sopeutuneisuutta ja kestävyttä. Jo ensimmäiset koetulokset kertovat suurista, kymmenien prosenttien satoparannuksista riisillä (Broekaert 2004).

Millaisia todellisia riskejä voi liittyä kasvigeenitekniikan käyttöön?

Kasveja on satojatuhansia lajeja, ja niistä käy ihmiselle ravinnoksi vain pieni vähemmistö. Luonto ei näet ole ystävämme vaan torjuu meitä kykyjensä mukaan. Kasvit tekevät sen muun muassa

torjunta-aineillaan. Ainoat tuotteet, jotka kasvit ovat "tarkoittaneet" nisäkkäiden syötäviksi, ovat eräät hedelmät ja marjat, nekin vain kypsinä.

Kasvit eivät pääse karkuun, joten niiden on puolustauduttava. Apunaan ne käyttävät usein kemialla.

Kasvit valmistavat ainakin 200 000 erilaista toissijaisen aineenvaihdunnan tuotetta, ns. sekundaarimetaboliittia. Nämä ovat kemiallisia aineita, joista monilla on torjuntatehtäviä. Puolet niistä aiheuttaa tutkimusten perusteella syöpää ja perimävaurioita - suurina annoksina hiirikokeissa (Ames ja Gold 2000).

Puolustusproteiineista monet haittaavat myös ruoansulatusta tai aiheuttavat allergioita. Tällainen "sivutoimi" puolustustehtävissä näyttää olevan myös erällä varastoproteiineilla (jotka siis on varsinaisesti tarkoitettu pilkottaviksi kasvavan taimen tarpeisiin). Esimerkiksi patatiini, joka on perunan mukuloiden tärkein varastoproteiini, aiheuttaa raakana allergiaa (Seppälä ym. 1999).

Kasveja halutaan jalostaa paremmiksi. Mutta voiko käydä niin, että tulemmekin muuttaneeksi kasvia huonommaksi itsemme tai luonnon kannalta?

Periaatteessa tämä on aina mahdollista. Käytännössä kasvinjalostus on kuitenkin osoittautunut varsin turvalliseksi toiminnaksi. Kymmeniätuhansia lajikkeita on saatu aikaan ilman merkittäviä haittoja luonnolle tai ihmiselle.

Yhtenä syynä on varmaankin se, että jalostukseen kuuluu perusperiaatteena ankara karsinta. Laajoista aineistoista säästetään jatkoon aina vain parhaat yksilöt - keskinkertaiset tai epäonnistuneet karsitaan vuosi vuodelta pois lajikkeita kehitettäessä. Kasvinjalostuksessa on näin ollut jo vuosisatoja sisäänrakennettuna laatujärjestelmän idea.

Lipsahduksia tunnetaan vain muutamia. Parissa tavanomaisessa perunalajikkeessa pääsi myrkyllisten alkaloidien (chakoniini, solaniini) pitoisuus nousemaan epähuomiossa takaisin kohti muinaista tasoa, joten lajikkeet oli vedettävä viljelystä.

Selleriltä löydettiin lupaava kasvinlaji, jota hyönteiset eivät vaurioittaneet. Siitä kehitettiin valintajalostuksella hyönteiskestävä lajike, joka menestyi luomuviljelyssä ilman torjuntäkäsittelyjä. Kasvia viljeltäessä huomattiin kuitenkin, että sadonkorjaajien kädet saivat ihovaurioita.

Lajikkeessa oli liian paljon psoraleenia, joka on sarjakukkaiskasvien luontainen torjunta-aine. Sitä esiintyy esimerkiksi jättiputkessa, jonka koskettamista kannattaa varoa - auringonvalossa aine polttaa ihoon valkolaikkuja. Lajike poistettiin markkinoilta.

Kurkkukasvit suojautuvat hyönteistuhoilta cucurbitasiinilla (joka antaa kurkuille kitkerän maun). Villimuodoilla ja vanhoilla lajikkeilla sitä voi olla "liikaa", varsinkin jos kova tuholaispaine kiihdyttää sen tuotantoa kasvissa (Rymal ym. 1984). Lukuisia myrkytystapauksia tunnetaan vuosien varrelta sekä kurpitsalta että kesäkurpitsalta (Herrington 1983, Ferguson ym. 1983, Kirschman ja Suber 1989).

Uusista lajikkeista on tämä taipumus liikatuotantoon jalostettu pois. Uudessa Seelannissa luomutuottajat halusivat kuitenkin käyttää vanhoja, vapaapölytteisiä lajikkeita (mm. koska niitä voitiin itse lisätä siemenestä). Tämä "tee se itse"-jalostus saattoi johtaa vielä ominaisuuden korostumiseen, kun vuosittain jatkoon valittiin "terveimmät" kasviyksilöt.

Pahana tuholaisvuonna (2002) myrkyin tuotanto karkasi sitten käsistä ja 16 ihmistä joutui cucurbitasiinin takia sairaalahoitoon.

Miten tällaisilta ilmiöiltä voitaisiin suojautua nykyjalostuksessa? Uusin biologian kehityslinja on ns. metabolomiikka, jossa pystytään jo analysoimaan periaatteessa kaikki kasvin tuhannet sekundaarimetaboliitit (Aharoni ym. 2002, Goodenowe 2002). Menetelmät ovat jo kehitymässä rutiinivaiheeseen.

Vanhaan jalostukseen verrattuna kertyy näin arvokasta tietoa kasvien ominaisuuksista ja saadaan lisää turvallisuutta odottamattomien muutosten varalta.

Ekologian osalta tilanne on yleensä varsin selvä (Conner ym. 2003). Ihminen jalostaa kasveja omiin tarkoituksiinsa sopiviksi, kun taas luonnon kasvilaji ottaa käyttöönsä vain ominaisuuksia, joista on sille itselleen hyötyä. Useimmiten jalostusominaisuus on sellainen, että siitä ei voi aiheutua haittaa viljelyseudun luonnolle.

Ekologisesti ongelmattomia ovat esimerkiksi lyhyt korsi, hidaskasvuisuus, ravinnon laadun parannukset, haitta-aineiden vähentäminen, hedelmien maukkauden tai kuljetuskestävyyden parantaminen, sekä kasvin sopeuttaminen tiettyyn viljely-ympäristöön tai kasvatukseen.

Vaikka myös kasvi voisi hyötyä ominaisuudesta, ei se useimmiten vaikuta merkittävästi ympäristöön. Esimerkiksi kylmänkestävämpi peruna ei valtaisi Suomen mäntymetsiä eikä niittyjä. Peruna on alkuperältään eksoottinen kasvilaji, ja sillä on monta muutakin ekologista rajoitinta, jotka estävät sitä valtaamasta Pohjolan ekosysteemeitä.

Ominaisuus voi toisaalta olla joskus myös sellainen, että se voisi levitä paikallisiin villoihin kasvilajeihin ja myös suoda niille "kohtuuttomasti" etua täkäläisissä luonnonoloissa. Silloin ekologiset kysymykset on syytä selvittää perin juurin etukäteen. Näissä tapauksissa lainsäädännön tiukkuus on hyvin perusteltavissa.

Lopuksi

Kehitysmaat eivät uhkaa paremmat kasvilajikkeet vaan niiden puute. Köyhiä maita auttamaan pyrkivä kehityskumppani kuitenkin suunnittelee kolmannen maailman väestölle tehtävää museon vahtimestarina. Köyhien viljelijöiden (eikä yhteisten geenipankkien) tulee nykyisen kehitysyhteistyöajattelun mukaan säilyttää heikkosatoiset maataislajikkeet peltotilkuillaan. Itse asiassa kolmas maailma pelkää nyt eniten EU:n säädöksiä ja kauppapolitiikkaa, jotka hyydyttävät siltä ruokaturvan sekä mahdollisuudet kehittää parempia menetelmiä ja tuotteita tarpeisiinsa (Webster 2004).

Intia ja Kiina ovat suuria riisin viejiä, ja maatalous toimii monissa köyhissä kehitysmaissa kansantalouden moottorina. Maailmankauppa perustuu bulkkituotantoon, jossa lajikkeita on vaikea pitää täysin erillään toisistaan. Jäämiä kotimaahan tarkoitetuista uusista lajikkeista saattaa siten esiintyä hieman myös vientierissä.

“Yliviritettyjen“ EY-säädösten vaatimaa jäljitettävyyttä ja seurantaa on kehitysmaissa mahdotonta järjestää.

Muuntogeenisten lajikkeiden laaja hyödyntäminen kehitysmaan kotimarkkinoilla edellyttää siksi käytännössä tuotehyväksynnän hankkimista etukäteen myös kasvilajin läntisissä ostajamaissa. Poliitikamme on osoittautunut käytännössä niin "tahmeaksi" ja kalliiksi, että se jarruttaa vakavasti paremman ravinnon saamista käyttöön kehitysmaissa.

Läntisen taikauskon tulevista käännteistä riippuu nyt kolmannen maailman tila vuonna 2015 ja 2050. Biologian opetuksella voidaan siihen ajan myötä hiukan vaikuttaa - ja mediaväkeäkin kannattaisi hieman auttaa ekologian viidakoissa.

Kasvien jalostamiseen olisi jo köyhilläkin mailla varaa, mutta tuotehyväksynnän hankkiminen paremmille lajikkeille on tehty (vastoin biologisia perusteita) "käsittämättömän" vaikeaksi ja kalliiksi.

Kehitysmaiden kasvilajikkeet on jo 40 vuotta jalostettu kansainvälisissä maatalouden tutkimuskeskuksissa (Future Foods), joiden rahoitusta FAO yrittää nyt turvata. Näitä ovat muun muassa CIMMYT Meksikossa (vehnä, maissi), IRRI Filippiineillä (riisi), ICRISAT Intiassa (puolikuivan tropiikin kasvit) ja ICARDA Syyriassa (kuivan tropiikin kasvit).

Julkisen sektorin kasvinjalostus tarvitsee tukeamme. Puolet Suomen kehitysavusta kannattaisi ohjata näille keskuksille parempien kasvien jalostamiseksi kolmannen maailman pienviljelijöille.

Viitteitä

- Abadi A, Domergue F, Bauer J, Napier JA, Welti R, Zähringer U, Cirpus P, Heinz E (2004). Biosynthesis of Very-Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids in Transgenic Oilseeds: Constraints on Their Accumulation. *The Plant Cell* 16:2734-2748.
- Aharoni A, Ric de Vos CH, Verhoeven HA, Maliepaard CA, Kruppa G, Bino R, Goodenowe DB (2002). Nontargeted metabolome analysis by use of Fourier transform ion cyclotron mass spectrometry. *OMICS* 6: 217-34.
- Agrios, GN (1997). Plant pathology. Fourth edition, Academic Press, USA.
- Ames BN³, Gold LS (2000). Paracelsus to parascience: the environmental cancer distraction. *Mutat. Res.* 447: 3-13.
- Bahieldin A ym. (2004). [Kuivankestävä vehnä kehitetty Egyptissä tuomalla ohrasta geeni HVAI1]. *Physiol. Plantarum* (in press).
- Bhalla PL, Swoboda I, Singh MB (1999). Antisense-mediated silencing of a gene encoding major ryegrass pollen allergen. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 11676-11680.
- Broekaert W (2004). Crop Design. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.
- Carpenter JE, Gianessi LP (2001). Agricultural Biotechnology: Updated Benefit Estimates. Nat. Center for Food and Agric. Policy, Washington. www.ncfap.org
- CFSAN (2001). Background Paper in Support of Fumonisin Levels in Corn and Corn Products Intended for Human Consumption. U. S. Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Center for Veterinary Medicine, Nov. 9, 2001.
- Chakraborty S, Chakraborty N, Datta A (2000). Increased Nutritive Value of Transgenic Potato by Expressing a Non-allergenic Seed Albumin from *Amaranthus hypochondriacus*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97: 3724-3729.
- Chen XX, Li W-D, Wu K-M, Feng H-Q, Xu G, Guo Y-Y (2004). Effects of transgenic cotton carrying *CryIA+CpTI* and *CryIAC* genes on diversity of arthropod communities in cotton fields in North China. *Chinese J Agric. Biotech.* 1: 17-21.

- CIMMYT (2004). In quest for drought-tolerant varieties, CIMMYT sows first transgenic wheat field trials in Mexico. www.cimmyt.org/english/webp/support/news/dreb.htm
- Clements MJ, Campbell KW, Maragos CM, Pilcher C, Headrick JM, Pataky JK, White DG (2003). Influence of Cry1Ab Protein and Hybrid Genotype on Fumonisin Contamination and Fusarium Ear Rot of Corn. *Crop Sci.* 43:1283-1293.
- Conner AJ, Glare TR, Nap J-P (2003). The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. *The Plant J* 33: 19–46.
- Daniell H, Khan MS, Allison L (2002). Milestones in chloroplast genetic engineering: an environmentally friendly era in biotechnology. *Trends Plant Sci.* 7: 84-91.
- Ducreux LJM, Morris WL, Hedley PE, Shepherd T, Davies HV, Millam S, Taylor MA (2004). Metabolic engineering of high carotenoid potato tubers containing enhanced levels of β -carotene and lutein. *J Exp. Botany*, Adv. Access Nov. 8, 2004.
- Ferguson JE, Fischer DC, Metcalf RL (1983). A Report of Cucurbitacin Poisonings in Humans. *In: Cucurbit Genetics Cooperative Rep.* CGC 6: 73.
- Ferreira SA, Pitz KY, Manshardt R, Zee F, Fitch M, Gonsalves D (2002). Virus coat protein transgenic papaya provides practical control of *Papaya ringspot virus* in Hawaii. *Plant Dis.* 86:101-105.
- Gianessi LP, Silvers CS, Sankula S, Carpenter JE (2002). Plant Biotechnology: Current and Potential Impact For Improving Pest Management In U.S. Agriculture An Analysis of 40 Case Studies. Nat. Center for Food and Agric. Policy, Washington. www.ncfap.org
- Gianessi LP, Sankula S, Reigner N (2003). Plant Biotechnology: Potential Impact For Improving Pest Management In European Agriculture. Potato case study. Nat. Center for Food and Agric. Policy, Washington. www.ncfap.org
- Gleba Y (2004). New generation technologies for expressing proteins in plants. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.
- Goodenowe DB (2002). Comprehensive metabolic profiling - concepts and applications in bioequivalence and functional genomics research. Plant, Animal & Microbe Genomes X Conference, San Diego, CA, 12.-16.1.2002.
- Goto F, Yoshihara T, Saiki H (1998). Iron accumulation in tobacco plants expressing soybean ferritin gene. *Transgenic Res.* 7: 173-180.
- Hanin M, Paszkowski J (2003). Plant genome modification by homologous recombination. *Curr Opin. Plant Biol.* 6:157-162.
- Herman EM (2003). Genetically modified soybeans and food allergies. *J Exp. Botany* 54: 1317-1319.
- Herrington ME (1983). Intense Bitterness in Commercial Zucchini. *In: Cucurbit Genetics Cooperative Rep.* CGC 6: 75.
- Hossain F, Pray C, Lu Y, Huang J, Fan C, Hu R (2004). Genetically modified cotton and farmers' health in China. *Int. J Occup. Environ. Health* 10: 296-303.
- Ikeno M, Grimes B, Okazaki T, Nakano M, Saitoh K, Hoshino H, McGill NI, Cooke H, Masumoto H (1998). Construction of YAC-based mammalian artificial chromosomes. *Nature Biotech.* 16:431-439.
- Kapusta J, Modelska A, Pniewski T, Figlerowicz M, Jankowski K, Lisowa O, Plucienniczak A, Koprowski H, Legocki AB (2001). Oral immunization of human with transgenic lettuce expressing hepatitis B surface antigen. *In: Adv. Experim. Medicine and Biology; Progress in Basic and Clinical Immunology* 495. Kluwer Academic/Plenum Publisher.
- Kirschman JC, Suber RL (1989). Recent Food Poisonings from Cucurbitacins in Traditionally Bred Squash. *Food Chem. Toxicol.* 27: 555-556.
- Kristinsson JB (2004). Production of transgenic plants and purified recombinant proteins. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.

- Li XM, Srisvastava K, Grishin A, Huang C, Schofield BH, Burks AW, Sampson HA (2003). Persistent protective effect of heat killed *E. coli* producing “engineered,” recombinant peanut proteins in a murine model of peanut allergy. *J Allergy Clin. Immunol.* 112: 159-167.
- Lopez T, Odriozola ER, Cseh S (1988). Toxicological aspects of *Chenopodium album*. *Veterinaria Argentina* 5: 230-236.
- Lucca P, Hurrell R, Potrykus I (2001). Approaches to improving the bioavailability and level of iron in rice seeds. *J Sci. Food Agric.* 81: 828-834.
- Magg T, Bohn M, Klein D, Merditaj V, Melchinger AE (2002). Concentration of moniliformin produced by *Fusarium* species in grains of transgenic Bt maize hybrids compared to their isogenic counterparts and commercial varieties under European corn borer pressure. *Plant Breeding* 122: 322-327.
- Marasas WFO, Riley RT, Hendricks KA, Stevens VL, Sadler TW, van Waes JG, Missmer SA, Cabrera J, Torres O, Gelderblom WCA, Allegood J, Martínez C, Maddox J, Miller JD, Starr L, Sullards MC, Roman AV, Voss KA, Wang E, Merrill AHJr (2004). Fumonisin Disrupt Sphingolipid Metabolism, Folate Transport, and Neural Tube Development in Embryo Culture and In Vivo: A Potential Risk Factor for Human Neural Tube Defects among Populations Consuming Fumonisin-Contaminated Maize. *J. Nutr.* 134: 711-716.
- Maumbe BM, Swinton SM (2003). Hidden health costs of pesticide use in Zimbabwe's smallholder cotton growers. *Soc. Sci. Med.* 57: 1559-1571.
- Monarch Watch (2000). [Monarkkiperhosen populaatiokoko]. *Monarch Watch* vol.3 (1995) - vol.8 (2000), Univ. of Kansas. www.MonarchWatch.org
- Mthembu N (2004). Genetically altered tobacco fights cervical cancer. *Sci. Afr. onl.* March 2004.
- Munkvold GP, Hellmich RL, Rice LG (1999). Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids. *Plant Disease* 83:130-138.
- Nandi S, Suzuki YA, Huang J, Yalda D, Pham P, Wu L, Bartley G, Huang N, Lönnerdal B (2002). Expression of human lactoferrin in transgenic rice grains for the application in infant formula. *Plant Sci.* 163: 713-722.
- O'Callaghan M, Glare TR, Burgess EP, Malone LA (2004). Effects of Plants Genetically Modified for Insect Resistance on Nontarget Organisms. *Annu Rev Entomol.* 2004 Aug 18 [Epub ahead of print].
- Ow D (2004). Expression of transgenes from specific chromosome locations. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.
- Phipps RH, Park JR (2002). Environmental benefits of genetically modified crops: Global and European perspectives on their ability to reduce pesticide use. *J Animal Feed Sci.* 11: 1-18.
- Powell D, Blaine K, Morris S (2003). Agronomic and consumer considerations for Bt and conventional sweet-corn. *British Food J* 105: 700-713.
- Potrykus I (2003). Golden rice - the numerous challenges of a humanitarian project. Biotech Helsinki 03, 24.-26.3.2003.
- Pray CE, Huang J, Hu R, Rozelle S (2002). Five years of Bt cotton in China - the benefits continue. *The Plant Journal* 31: 423-430.
- Pray CE, Huang J (2003). The impact of Bt cotton in China. In N. Kalaitzandonakes (ed.) *The economic and environmental impacts of agbiotech: a global perspective*. New York, USA, Kluwer-Plenum Academic Publishers.
- Preuss D (2004). Assembling plant chromosomes: Analysis of centromere structure and function. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.
- Qaim M, Zilberman D (2003). Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science* 299: 900-902.

- Qi B, Fraser T, Mugford S, Dobson G, Sayanova O, Butler J, Napier JA, Stobart KA, Lazarus CM (2004). Production of very long chain polyunsaturated omega-3 and omega-6 fatty acids in plants. *Nature Biotechnol.* 22: 739-745.
- Raina A, Datta A, (1992). Molecular Cloning of a Gene Encoding a Seed-specific Protein with Nutritionally Balanced Amino Acid Composition from *Amaranthus*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89: 11774-11778.
- Romero RA (2002). Introduction: The spread, detection and impact of black Sigatoga and other *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas in the decade of the 90's. 2nd Int. Workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas. Costa Rica 20.-23.5.2002.
- Rowlandson K, Tackaberry E (2003). Edible vaccines: alternatives to conventional immunization. *AgBiotechNet* 5 (Sep. 2003): 1-7.
- Royal Society (2000). Transgenic plants and world agriculture. Doc. 08/00.
- Rymal KS, Chambliss OL, Bond MD, Smith DA (1984) Squash containing toxic cucurbitacin compounds occurring in California and Alabama. *J. Food Protect.* 47: 270-271.
- Sears MK, Hellmich RL, Stanley-Horn DE, Oberhauser KS, Pleasants JM, Mattila HR*, Siegfried BD, Dively GP (2001). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98: 11937-11942.
- Seppälä U, Alenius H, Turjanmaa K, Reunala T, Palosuo T, Kalkkinen N (1999). Identification of patatin as a novel allergen for children with positive skin prick test responses to raw potato. *J Allergy Clin. Immunol.* 103: 165-171.
- Smart V, Foster PS, Rothenberg ME, Higgins TJV, Hogan SP (2003). A Plant-Based Allergy Vaccine Suppresses Experimental Asthma Via an IFN- γ and CD4⁺CD45RB^{low} T Cell-Dependent Mechanism. *J Immunol.* 171: 2116-2126.
- Song J, Bradeen JM, Naess KS, Raasch JA, Wielgus SM, Haberlach GT, Liu J, Kuang H, Austin-Phillips S, Buell CR, Helgeson JP, Jiang J (2003). Gene RB cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100: 9128-9133.
- Swords K (2004). All-Native DNA Transformation. A new approach for genetic engineering. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.
- Tammisola J (2003). Kasvinjalostus ja ruoka-allergiat. *Allergia & Astma* 3/2003.
- Tammisola J (2004). Syödäänkö rokote allergiaan? *Allergia & Astma* 2/2004.
- Tregoning J, Maliga P, Dougan G, Nixon PJ (2004). New advances in the production of edible plant vaccines: chloroplast expression of a tetanus vaccine antigen, TetC. *Phytochem.* 65: 989-94.
- Warzecha H, Mason HS, Lane C, Tryggvesson A, Rybicki E, Williamson A, Clements JD, Rose RC (2003) Oral immunogenicity of human papillomavirus-like particles expressed in potato. *J. Virol.* 77:8702-8711.
- Webster J (2004). Biotechnology and food security for the resource poor: Case study Southern Africa. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.
- Welch RM (2002). Breeding strategies for biofortified staple plant foods to reduce micronutrient malnutrition globally. *J Nutr.* 132: 495S-499S.
- Zhang JZ, Creelman RA, Zhu J-K (2004). From laboratory to field. Using information from *Arabidopsis* to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. *Plant Physiology* 135: 615-621.

Abstract

Genetic modification means biological tools for analyzing and adjusting heredity for human needs. Crop plants have been bred for 11 millenia with primitive means. Much more controlled ways are

available today. However, it is always the end product that matters. What is the new variety like? That is the question Nature poses - methods of breeding are irrelevant ecologically.

Developing countries could benefit from many topical crop traits. E.g. salt and drought tolerant crops; A-vitamin rice; protein rice, potato and sweet potato; iron rice and vegetables; resistance to pests and diseases; and healthier oils. Advances in weed management lessen the burden of mothers and emancipates children to school. Plant vaccines are very cheap and save lives.

Modern breeding is based on knowledge and often surpasses traditional means in safety, speed, affordability and precision. However, common money is needed for food security and better nutrition for the majority of humankind.

¹ 'Elävä muuntogeeninen organismi' (Living Modified Organism, LMO) on Cartagenaan bioturvallisuuspöytäkirjan käyttämä nimitys muuntogeeniselle eliölle. (Lyhenne voidaan suomen kielessä kirjoittaa myös pienin kirjaimin, kun se tulee yleiseen käyttöön).

² "Luomuviljelijöistä ei saa tehdä marsuja geneettiseen kokeeseen" (BBC News Online 13.10.2000).

³ Yksi maailman 25 siteeratuimmasta tutkijasta. Ympäristötoksikologian pioneeri (Amesin mutaatiotestin kehittäjä) ja lukuisien ympäristöpalkintojen saaja.