

Kasvigeenitekniiikan Top Ten Futures

Jussi Tammisola, kasvinjalostuksen dosentti

(Kirjoitus on julkaistu Tiedelehti Futuran numerossa 2/2009, s. 28–44, ja se perustuu Tulevaisuuden tutkimuksen seuran Top Ten Futures VIII -luentosarjassa 13.2.2009 pidettyyn luentoan: www.geenit.fi/TF130209.pdf, 65 s.)

Pian meitä on 9 miljardia, ja ruokaa on vuonna 2050 tuotettava kaksi kertaa enemmän, toteaa Maailman elintarvikejärjestö FAO (2009). Jos olot maailman tärkeillä tuotantoalueilla huononevat, kuten ennustellaan, on ennen kokemattomia nälkäkuureja tiedossa köyhissä maissa.

Maatalouden tuottavuus on 10 000 vuodessa kasvanut jopa 10–30-kertaiseksi. Puolet siitä katsotaan viljelymenetelmien kehityksen, puolet taas kasvinjalostuksen ansioksi. Elämme muutoksen aikaa, ja tänään kasvinjalostuksen vastuu on suurempi.

Jos ilmasto tosiaan muuttuu oleellisesti, täytyy maailman kymmenentuhannet tärkeät kasvilajikkeet jalostaa nopeasti uudelleen. Viljelykasvit on päivitettävä uusiin ekolokeroihin sopiviksi. Kasvilajikkeisiin on jalostettava kuivan-, suolan-, tulvan-, ja kylmänkestävyyttä, jotka niiltä nyt puuttuvat. On myös tehostettava viljelykasvien vastustuskykyä ärhäköityville taudeille ja tuholaisille.

Ruokakasvien ravintoarvoa pitää kohentaa kasvinjalostuksella, jotta köyhät ihmiset voisivat saada kaikki välttämättömät ravintoaineet päivän ainoasta ateristaan. Tämä parantaisi merkittävästi kansanterveyttä kolmannessa maailmassa.

Vallattu peltoala on maatalouden suurin suonenisku maailman luonnolle. Aura on aseemme, ja kehitysmaiden köyhillä yhä myös ekosysteemien tuhopoltto. Jäljellä olevan biologisen monimuotoisuuden suojelemiseksi täytyy nykyiseltä peltoalalta tuottaa tehokkaammin ravintoa, rehua, kuituja ja energiaa (Trewavas 2008).

Fossiilitaloudesta haluttaisiin siirtyä uusiutuvien biologisten raaka-aineiden käyttöön. Niiden tuotanto kilpailee kuitenkin peltoalasta ravintokasvien kanssa. Vuodenvaihteen 2008 kokemusten mukaan tämä voi heikentää ruokaturvaa ja lisätä mahdollisuuksia ravinnon hinnalla keinotteluun maailmankaupassa (FAO 2008 b).

Bioenergiakasvien tuottavuutta ja tehokkuutta täytyy radikaalisti parantaa, jotta niiden tuotannosta voisi tulla taloudellisesti, eettisesti ja ekologisesti kestävä. Uuden geenitiedon ja -osaamisen avulla se on mahdollista.

Näistä biologian haasteista ovat maailman kasvitiedejärjestöt yksimielisiä (EPSO 2007). Näköpiirissä oleviin uhkiin voidaan ehkä vastata, mutta ei ilman parasta uutta luonnontiedettä.

Maailman pelastamiseksi tarvitaan niitä satoja biotieteen läpimurtoja, jotka nyt pölyttyvät yliopistojen hyllyillä käyttöönottoa odottamassa, myyttitehtailun myrkyttäminä (Tammisola 2008)

Biologia ei ole aate vaan elämän tiedettä. Seuraavassa Top Ten –luettelossa visioin maailmaa vuonna 2025, jos elämän tiedettä sovelletaan ennakkoluulottomasti. Väitteet eivät ole tärkeysjärjestyksessä. Artikkelissani perustelen väitteitäni.

Kasvigeenitekniiikan mahdollistaman maailman Top Ten vuonna 2025

1. Kolmannessa maailmassa 'nälkä' tarkoittaa ennen kaikkea proteiinin ja hiivenaineiden puutetta. Puuvillan siemenet ovat maukkaita, ja niissä on noin 22 % erittäin korkealaatuista proteiinia, mutta ne ovat myrkyllisiä. 800 miljoonan ihmisen perusruoan kassavan eli maniokin juurakot sisältävät lähes pelkkää tärkkelystä ja kassava vaatii myrkyllisenä perusteellisen käsittelyn. Yli miljardi henkeä käyttää 2025 ravinnokseen geenimuuntelun avulla syötäväksi tehtyjä puuvillan siemeniä tai ravinteikasta kassavaa.
2. Kasvien suojelemiseksi tuholaisilta on otettu käyttöön tarkasti tiettyyn tuholaiseen kohdistuvia suojelukeinoja. Kasvia syövän tuholaisen epidemiat voidaan taltuttaa mm. sammuttamalla kohdennetusti jokin sen tärkeistä geeneistä. Valikoiva sammutus onnistuu jalostamalla kasviin juuri tuohon tuholaisen geeniin kohdistuvia lyhyitä häirintä-rna-jaksoja.
3. Banaani on pelastettu geenimuuntelulla. Tuhoisien sienitautien uudet rodut uhkaavat hävittää nykyiset viljelybanaanit. Näin kävi puoli vuosisataa sitten isolle ja makealle Gros Michel –lajikkeelle, ”hymyilevälle banaanille”. Geenimuuntelulla tämä lajike voidaan ”herättää henkiin”.
4. Banaanin ohella monia vanhoja marja-, viinirypäle-, omena- ja perunalajikkeita, joiden kaupallinen tuotanto on käynyt vähiin jonkin jälkeensä jääneen ”pullonkaula”-ominaisuuden takia, on herätetty henkiin ja viljellään laajasti.
5. Kasveja käytetään laajasti rokotteiden valmistukseen influenssaa ja muita nopeasti leviäviä tauteja vastaan.
6. Maailmalla viljellään laajalti suolaista maaperää sietäviä ja/tai suolaista vettä hyödyntäviä kasveja. Nyt vain prosentti maakasvilajeista pystyy kasvamaan ja lisääntymään suolaisilla mailla, ja niistäkin vain muutama laji kestää meriveden suolapitoisuutta. Kaukaisessa muinaisuudessa kaikki kasvit kasvoivat merissä ja olivat sopeutuneet korkeaan suolapitoisuuteen.
7. Maissin, riisin, vehnän, puuvillan ja rapsin kuivankestävyyttä kehittämällä on yleisesti saavutettu yli 25 % satoparannuksia kuivuuden oloissa nykyiseen verrattuna.
8. Kasvien hallankestävyyttä on onnistuttu merkittävästi parantamaan. Halla haaskaa nykyisin noin 15 prosenttia maailman kasvintuotannosta. Ongelma pahenee tulevaisuudessa, jos tärkeät viljelyalueet siirtyvät ylemmille leveysasteille ja olot muuttuvat siirtymäkautena vaihtelevammiksi.
9. Geenimuuntelua käytetään aktiivisesti ilmastomuutoksen torjuntaan. Suorakylvössä eli kyntämättömässä viljelyssä menestyvät lajikkeet vähentävät kasvihuonepäästöjä ja eroosiota, parantavat maan rakennetta sekä lisäävät pellon biologista monimuotoisuutta. Bioetanolin valmistukseen viljellyn sokeriruo’on polttoaineen tuotto on keskimäärin kaksinkertainen nykyiseen etanolin tuottoon verrattuna.
10. Valtaosa Suomessa viljellyistä perunoista on kehitetty geenisiirtoin rutonkestäviksi.
11. Kasvin luontaisten geenien toimintaa hienosäädetään tarkasti ja tehokkaasti omilla paikoillaan kromosomeissa. Tarvittavat täsmälliset muuntelumenetelmät kehitettiin ja luovutettiin tutkijoiden vapaaseen käyttöön kaikkialla maailmassa vuonna 2009. Niiden avulla kehitysmaiden biologisista nyrkkipajoista alkaa vuosikymmenen kuluttua virrata parempia kasvilajikkeita avuksemme maailman muutoksessa.

Syötävä puuvilla hävittää pullovatsat

Kehitysmaissa ruoan ravitsemukselliset vajavuudet aiheuttavat puutostauteja ja kehityshäiriöitä sekä tekevät tavallisista tartuntataudeista paljon tuhoisampia. Miljardien ihmisten terveydentilaa voitaisiin kohentaa jalostamalla ravintoarvoltaan parempia kasvilajikkeita.

Kehitysmaissa 200–300 miljoonaa esikouluikäistä lasta kärsii A-vitamiinin puutteesta. Se lisää lasten sairastumista yleisiin lastentauteihin, kuten tuhkarokkoon ja ripulitauteihin, jotka kehitysmaiden oloissa ovat vakavia ja usein kuolemaksi. Esimerkiksi puoli miljoonaa lasta sokeutuu vuosittain A-vitamiinin puutteen takia, ja heistä 70 % kuolee vuoden kuluessa siitä (Miller 2009).

Kasvien geenimuuntelun ensimmäisiä sovelluksia on ollut ”kultainen riisi”, joka tuottaa jyviinsä A-vitamiinin esiastetta, beetakaroteenia (Paine ym. 2005, IRRI 2005, GMO Compass 2008, GRP 2009). Tavallisessa riisissä sitä syntyy vain muualla versossa, mutta riisiinjyviin beetakaroteenia ei muodostu. Ravinnosta saatu beetakaroteeni muuttuu sitten solujen tarpeen mukaan A-vitamiiniksi ihmisen elimistössä. Vitamiinin liikasaannin vaaraa ei siis ole (Portin 2009).

Kolmannessa maailmassa ’nälkä’ tarkoittaa usein proteiinin puutetta. Sen tuloksena lapsille kehittyy pullovatsa, jollaisia aloimme nähdä Biafran uutiskuvissa vuonna 1968. Proteiinin puute vahingoittaa lapsia pysyvästi – se haittaa muun muassa aivojen kehittymistä.

Kehitysmaissa yksipuolinen kasvipohjainen ruokavalio sisältää usein ihmisen kannalta liian vähän ja heikkolaatuista proteiinia. Yli puolet maailman väestöstä elää riisillä. Myös muut viljat, esimerkiksi maissi, vehnä, ohra ja durra, ovat tärkeässä asemassa ravitsemuksessa, samoin kuin eräät juurekset, kuten kassava, bataatti ja peruna.

Näiden kasvien varastosolukot (jyvät ja juurakot) ovat melkein pelkkää tärkkelystä, joka toimii meille hyvänä energian lähteenä. Niissä on kuitenkin aivan liian vähän proteiinia, ja proteiinin laatukin on ihmisen kannalta huono. Jyvät ja juurakot on näet tarkoitettu kehittyvän taimen eikä kasvia syövän tuholaisen ravinnoksi.

Viljakasvien proteiineissa on puutetta useista ihmiselle välttämättömistä aminohapoista, kuten lysiinistä ja metioniinista. Syömästämme kasviproteiinista joutuu siksi suuri osa hukkaan tyypipitoisina eritteinä, jotka osaltaan saastuttavat ympäristöä. Sama ongelma on myös sioilla (varsinkin ”viljasioilla”) sekä muilla yksimahaisilla nisäkkäillä.

Luonnon puuvilla on myrkykasvi

Puuvillan siemenet ovat maukkaita, ja niissä olisi runsaasti (22 %) erittäin korkealaatuista proteiinia. Niitä ei kuitenkaan voida syödä, sillä puuvillakasvi on myrkyllinen: se tuottaa suojakseen gossypol-alkaloidia. Puuvillan siemenissä syntyy vuosittain 10 miljardia kiloa proteiinia, mikä riittäisi kohentamaan 500 miljoonan ihmisen terveyttä kehitysmaissa.

Puuvillan siemenet jalostettiin syötäväksi

Geenimuuntelun avulla puuvillan siemenet on nyt jalostettu syötäväksi (Sunilkumar ym. 2006). Työ tehtiin rna-häirinnällä, joka palkittiin vuoden 2006 lääketieteen nobelilla (Fire 2006). Myrkyllisen muodostuminen estettiin vain ravinnoksi aiotussa kasvinosassa, sammuttamalla gossypol-geenin

toiminta kohdistetusti ainoastaan siemenissä. (”Perinteisillä” jalostusmenetelmillä tällainen ei ole mahdollista.)

Muut kasvinosat säilyttivät siis tärkeän puolustuskykynsä. Ilman sitä puuvilla ei voi menestyä pelloilla, minkäänlaisista viljelijän ponnisteluista huolimatta. Vanhalla jalostuksella myrky saatiin kyllä sammumaan koko kasvista, mutta tuhohyönteiset söivät koeviljelmät suihinsa kiitokseksi.

Syötävät lajikkeet eivät valtaa luontoa

Kasviin jalostetut ravintoparannukset eivät auta millään tavalla kasvia itseään, vaan niistä on hyötyä ainoastaan kasvia syöville eläimille. Jos tällainen ’epäadaptiivinen’ ominaisuus sattuisi kulkeutumaan luontoon jossain kasvissa, se ei siellä yleistyisi, vaan luonnonvalinta karsisi ominaisuuden nopeasti pois kasvin luonnonpopulaatiosta (Eucarpia 1989, Ritala ym. 2002, Tammisola 2004, 2006 b, 2009 a).

Tuloksena ei siis suinkaan olisi käsistä riistäytynyt maanvaiva, kuten uuden jalostuksen vastustajat pelottelevat, vaan ehkä jokunen kiiltäväturkkisempi kauris tai terveempi varpunen. Tosin vain tilapäisesti, koska terveellisempää kasvia riittäisi niille luonnossa vain hetken aikaa.

Jos vakavat tai palautumattomat vahingot uhkaavat, ei ehkäiseviä toimia tule lykätä sillä syyllä, ettei täyttä tieteellistä varmuutta vielä ole, todetaan varovaisuusperiaatteessa (Rion julistuksen periaate n:o 15, UNEP 1992). Ravitsevammat kasvilajikkeet tulisikin varovaisuusperiaatteen mukaan ottaa käyttöön kolmannessa maailmassa heti, kun alustavaa näyttöä niiden paremmasta ravintoarvosta on saatavissa.

Annos biokassavaa turvaa päivän ravitsemuksen

Kassava eli maniokki (*Manihot esculenta*) on 800 miljoonan ihmisen perusruokaa kehitysmaissa. Sitä voidaan kasvattaa vaatimattomissakin oloissa, ja myrkykasvina se pitää pintansa monia tuholaisia vastaan. Haittapuolia kuitenkin riittää.

Perinteinen kassava on keuhkoa ruokaa. Sen juurakot sisältävät lähes pelkkää tärkkelystä, kun taas proteiinia, vitamiineja ja mineraaleja niissä on niukasti. Sitä vastoin kassava sisältää myrkyllistä syaanivetyä, johon kuolee joka vuosi ihmisiä. Myrkyä vähentämiseksi juurakoita on prosessoitava 3–6 päivän ajan.

Kasvia vaivaa virustauti, joka hävittää jopa 30–50 % sadosta. Lisäksi kassavan juurakot pilaantuvat jo kahdessa päivässä korjuun jälkeen, joten viljelmien sato soveltuu huonosti kaupankäyntiin.

Kassavaa jalostetaan terveelliseksi

Laajassa jalostusprojektissa Afrikassa (OSU 2007, Bio Cassava Plus 2008) kassavan ominaisuuksia jalostetaan paremmiksi. Tavoitteena on, että uusissa kassavalajikkeissa olisi niin paljon vitamiineja, mineraaleja ja proteiinia, että päivän ainoa ateria riittäisi turvaamaan välttämättömien ravinteiden saannin. Ruoka on jo niin kallista, että kolmannessa maailmassa monella on varaa vain yhteen ateriaan päivässä.

Geenimuuntelun avulla on edistytty joka osa-alueella. Rautaa ja sinkkiä imeytyy maasta kassavan juurakkoon enemmän. Juurakoissa on nyt E-vitamiinia, ja ne sisältävät 30 kertaa enemmän A-vitamiinin esiastetta kuin ennen. Proteiinia syntyy enemmän kuin ennen, koska typen siirtymistä

syaanivedyn aineenvaihdunnasta proteiineihin on vauhditettu. Myös kassavan viruskestävyyttä on onnistuttu parantamaan, jalostamalla kasviin viruksen lisääntymistä haittaava proteiini sekä virukseen kohdistuvia lyhyitä häirintä-rna-jaksoja.

Tällaisten ominaisuuksien jalostus on usein kolmekymmentä kertaa tuloksekkaampaa, kun käytetään avuksi geenimuuntelua (Naqvi ym. 2009). Perinteisen jalostuksen eväät loppuvat myös monesti aika pian geneettisen vaihtelun niukkuuteen viljelykasvin jalostusaineistoissa.

Parannetut ominaisuudet tullaan yhdistämään samaan kassavalajikkeeseen. Ensimmäisessä vaiheessa otetaan todennäköisesti käyttöön viruskestävyys sekä korkeammat proteiini-, beetakaroteeni- ja mineraalipitoisuudet – tämän lajikkeen kenttäkokeet käynnistyvät Nigeriassa ja Keniassa ehkä jo vuonna 2009.

Vitsauksille täsmätorjuntaa turvallisesti

Kasvit eivät pääse karkuun, joten ne torjuvat vitsauksiaan (kuten meitä) muun muassa piikein, kirvelyin ja tuhansin myrkyin. Kasvinjalostuksen avulla on vuosituhansien kuluessa vallattu monet luonnon haitalliset tai myrkylliset kasvit ihmisen ravinnoksi – esimerkiksi peruna, paprika, rypsi ja kesäkurpitsa (Ames & Gold 2000, Tammisola 2006 b).

Luontaisia torjuntamyrkkyjä muodostuu kasvin soluihin normaalia enemmän vanhoissa, primitiivisissä kasvilajikkeissa, samoin kuin jos kasvia ei viljeltäessä suojella riittävästi kasvintuhoojien hyökkäyksiltä (LSN 2003).

Kasvintuhoojat heikentävät sadon laatua

Jollei kasvintuhoojia torjuta kunnolla, kasveihin voi muodostua muitakin myrkkyaaineita, kuten hometoksiineja. Monissa osissa maailmaa homemyrkyt ovat vakava ongelma ravinnon tuotannossa, ja säädöksiä niiden rajoittamiseksi on annettu yli 100 maassa (FAO 2004).

Esimerkiksi omenasose on poistunut vauvojen sosevalikoimista, koska piilohomeen vuoksi (kuva 1) siinä esiintyy usein liikaa patuliini-homemyrkkyä. Patuliini aiheuttaa mutaatioita, ja sitä käytetään solumyrkkinä syöpähoidoissa (Zhou ym. 2009).



Kuva 1. Home valtaa omenan sydämen omenakääriäisen toukkakäytävistä. © J.Tammisola 2006.

Kestävä mutta turvallinen?

Kasvinjalostuksen dilemma: kuinka vähentää viljelykasveista ihmiselle haitallisia aineita heikentämättä liiaksi kasvien puolustuskykyä tuhoeliöitä vastaan?

Uusi kasvibiologia on löytämässä ongelmaan hyviä ratkaisuja: a) korvataan kasvin suoja toisella, meille vaarattomalla, tai b) poistetaan ihmisille haitallinen aine ainoastaan ruoaksemme tulevasta kasvinosasta. Nämä parannukset voidaan uuden geenitiedon ja -taidon avulla jalostaa kasviin kohdennetusti, toimimaan tietyssä kehitysvaiheessa tai kasvinosassa.

Tarkkaa torjuntaa rna-häirinnällä

Lääketieteen Nobel myönnettiin vuonna 2006 rna-häirinnän kehittämistä (Fire 2006). Menetelmä on tuomassa kasvinsuojeluun ennen kokemattomaa tarkkuutta ja hellävaraisuutta viljelykasvien turvaamiseksi tuholaisilta ja kasvitaudeilta. Kasvi voidaan suojata tietyltä kasvintuhoajalta tuottamatta haittaa ihmisille tai muille eliöille.

Kasvia syövän tuholaisen epidemiat voidaan taltuttaa sammuttamalla kohdennetusti jokin sen tärkeistä geeneistä. Valikoiva sammutus onnistuu jalostamalla kasviin juuri tuohon tuholaisen geeniin kohdistuvia lyhyitä häirintä-rna-jaksoja (Mao ym. 2007).

Geenien dna-jaksoissa on aina jonkin verran eroavuuksia eliöstä toiseen. Näiden erojen avulla voidaan kasvinsuojelussa päästä suureen, parhaimmillaan lajitason tarkkuuteen torjunnan kohdentamisessa juuri tiettyyn kasvintuhoojaan. Tämä säästää elävää luontoa ja ihmistä.

Ensimmäiset kestävät kasvit on jo kehitetty rna-häirinnällä. Intiassa on jalostettu kasvin juuria vahingoittavalta loismadolta (nematodi) suojattuja tupakkalinjoja (Yadav ym. 2006). Nematodit aiheuttavat vuosittain viljelykasveille 100 miljardin euron satotappiot, mutta niiden torjuntaan ei tähän mennessä ole ollut tehokkaita ja ympäristölle turvallisia menetelmiä. Rna-häirintään perustuu myös 'kolmannen polven' juurikuoriaisenkestävä maissi, joka on tulossa markkinoille Amerikassa vuonna 2012 (Monsanto 2008).

Varovaisuusperiaate vaatisi, että juurikuoriaisenkestävä maissi saisi viljelyluvan Euroopassa nyt heti, biologisena hätätoimena. Juurikuoriainen on näet tuhoisa uusi vieraslaji, joka on leviämässä vastustamattomasti läpi maanosan. Sen vyörytys ei pysähdy torjuntaruiskutuksilla, vaan siinä voitaisiin onnistua ainoastaan kuoriaiskestävillä maissilajikkeilla.

Kestävä maissi estäisi juurikuoriaisen epidemiat ja rajoittaisi sen populaatiokoot kohtuulliselle tasolle. Tästä olisi apua kaikille maissin kasvattajille, myös luomuviljelijöille (Wu ym. 2008, Tammissola 2009 a).

Menneet suosikit kuntoutuvat

Cavendish-banaanien lähtölaskenta on alkanut. Tuhoisien sienitautien uudet rodut uhkaavat hävittää nykyiset viljelybanaanit. Samoin kävi ”hymyilevälle banaanille” jo puoli vuosisataa sitten – iso ja makea Gros Michel -lajike katosi kaupoistamme.

Mitään ei ole tulossa tilalle. Viljelty banaani on siemenetön ja kromosomistoltaan kolminkertainen (triploidi), joten sen jalostaminen vanhoilla keinoilla on hyvin hidasta ja vaikeaa. Taudinkestävää seuraajaa Cavendish-banaaneille on yritetty jalostaa 40 vuoden ajan – turhaan (Tammissola 2003, Grimm 2008).

Kestävyyseenejä on saatavissa villeistä banaanilajeista – mutta ainoastaan geenimuuntelulla. Niiden avulla viljelybanaanit voidaan jalostaa taudinkestäviksi. Myös vanha suosikki, Gros Michel, voidaan näin ”herättää henkiin” ja saada takaisin lähikaupan hyllyille.

Jalostustyön tehostamiseksi yritetään banaanin perimä kartoittaa – jos urakan rahoitus vain saataisiin järjestymään (Grimm 2008).

Pelastuksen näköala koskee myös suosittuja vanhoja marja-, viinirypäle-, omena- ja perunalajikkeita, joiden kaupallinen tuotanto on käynyt vähiin jonkin jälkeenjääneen ”pullonkaula”ominaisuuden takia.

Esimerkiksi Pito-peruna on lähes poistunut viljelystä, vaikka se on hyvänmakuinen ja kaikkein jauhoisin ruokaperunamme. Sillä on kuitenkin uusiin kilpailijoihinsa verrattuna puutteita satotasossa ja taudinkestävyydessä, ja sitä vaivaa myöhäisyys (joka nykyoloissa saattaisi jo kääntyä eduksikin?) (Rokka 1998, Mäki-Valkama 2000, Boreal 2009).

Tällaisia puutteita voidaan tänään korjata kohdistetusti, ominaisuus ominaisuudelta, hajottamatta suosikin muuten onnekasta ominaisuusyhdistelmää risteytyksillä. Lajikkeen perimään vain lisätään tarvittava ”saneerausgeeni” geenimuuntelun avulla, kasvullisessa elämänsä kierron vaiheessa.

Tällä tavoin menneen ajan suosikkilajikkeet voidaan kuntouttaa takaisin viljelyyn, herkkusuiden helpotukseksi. Jos vain sallitaan (Tammisola 2006 b).

Kasvi ehtii pelastaa pandemiassa

Uudet taudit ovat kaiken aikaa etsimässä pääsyä ihmiskuntaa verottamaan. Kuusi miljardia isoa eläintä on niille houkutteleva ”resurssi”: uusi aluevaltaus.

Vastasyntyneinä tautien tappavuus on usein huipussaan. Ajan myötä evoluutiolla on usein tapana lieventää taudin oireita sen verran, etteivät sairastuneet kuole kovin äkkiä: niiden pitäisi ehtiä levittää tautia edelleen. Luonnonvalinnan tuloksena myös eläinpopulaation vastustuskyky yleensä paranee ajan myötä – herkimät yksilöt näet kuolevat pois helpoimmin.

Kun eurooppalaista kania yritettiin hävittää Australiasta tartuttamalla siihen myksomatoosivirus 1950-luvulla, oli sairastuneiden kaniin kuolleisuus aluksi 99,8 %, mutta kuudessa vuodessa se aleni 25 prosenttiin (Lokki ym. 1986).

Biodiversiteettisopimus käy vaaraksi

Lintuinfluenssa ”hakee” muotoa, joka osaisi tarttua tehokkaasti ihmisestä toiseen. Evoluution keskus on Indonesiassa, jossa tautitapauksia esiintyy useammin kuin muualla.

Kun uusia viruskantoja ilmestyy, olisi elintärkeää saada niistä näytteet viruslaboratorioihin heti kaikkialle maailmaan. Muutoin rokotetta ei ehditä kehittää ajoissa eikä valmistaa tarpeeksi suuria määriä ihmiskunnan suojelemiseksi. Jos myöhästymme, ehtii pandemia täyteen vauhtiin ja verottaa ihmiskuntaa.

Biodiversiteettisopimukseen vedoten Indonesia on kuitenkin kieltäytynyt antamasta virusnäytteitä kuolleista ihmisistä maailman tutkijoiden käyttöön (Nature 2007). Uudet, tappavat viruskannat ovat näet maan ”biologista monimuotoisuutta”, joka sopimuksen mukaan on Indonesian omaisuutta.

Indonesia antaa näytteet vain yhdelle USA:n laboratoriolle, joka vastavuoroisesti toimittaa maalle aikanaan rokotetta (jos saa sellaisen aikaiseksi). Me muut saamme odotella siihen asti, kunnes tämä ”Indonesian lahja maailmalle” kiittää tänne asti omin voimin, ”luonnon menetelmillä”.

Ennusteet siis keskittyivät Aasiaan, mutta ehdimmekin saada sian kautta terästyneen, lintuvirustakin sisältävän influenssaristeytymän (”sikainfluenssa”) vaivoiksemme ensin Meksikosta (Tammisola 2009 b). Onneksemme, sillä Meksiko ei pidä yhtä tiukasti kuin Indonesia kiinni omistusoikeuksistaan tähän evoluution tuotteeseen.

Rokote pandemiaan nopeasti kasveilla

Rokotteen kehittäminen perinteisillä menetelmillä vie monta kuukautta, ja pullonkaulaksi muodostuu myös sen valmistaminen miljardeille ihmisille (Hemminki 2007). Lintuvirusiin ei rokotetta edes voida helposti kasvattaa kanamunissa. Sillä välin pandemia saattaa jo ehtiä pitelemättömään vaiheeseen.

Rokotteen kehittämisen nopeus olisi yhä tärkeämpää, sillä viruslääke oseltamivirin (Tamiflu) teho lintuinfluenssaan on vuoden 2007 jälkeen romahtanut (IDSA 2009 s. 57). Kasvien avulla rokoteproteiinia voidaan tuottaa nopeammin, halvemmalla ja riittävästi.

Kasvattamalla viruksen kuoriproteiinia tupakassa tai sinimailasessa saadaan koerokote kehitetyksi tehokkuustutkimuksiin jo kuukauden kuluessa uuden viruslinjan eristämisestä. Kun rokotteen teho on varmistettu, hehtaarin tupakkaviljelmällä voidaan tuottaa viidessä päivässä miljardi rokoteannosta (Tammisola 2009 b). Näin väestö ehdittää rokottaa ennen pandemian ensimmäistä aaltoa.

Rokoteproteiini tuotetaan kasvissa tilapäisen geenimuuntelun avulla. Proteiinipartikkelit ovat samanlaisia kuin itse viruksessa, joten ne aiheuttavat immuniteetin mahdollisimman tehokkaasti. Ne ovat kuitenkin turvallisia, sillä niistä puuttuu kokonaan viruksen perimäaine. Kasvirokote ei siis voi aiheuttaa itse tautia kenellekään, kuten perinteiset heikennetyt rokotevirukset.

Kasvirokotteella on eläinkokeissa saatu riittävä teho jo yhdellä rokotuskerralla, ja rokote on osoittautunut toimivaksi monia eri virusrotuja vastaan (Medicago 2008, 2009, IDSA 2009 s. 58–60).

Viljelykasvit kestäviksi

Suolamaanviljelyn aika?

Maailman vesistä 98 prosenttia on suolavettä ja prosentti murtoveettä. Vain yksi prosentti on makeaa vettä, ja puolet sen helposti saavutettavista varannoista on jo käytössä. Jos ilmasto lämpenee, vedestä tulee pulaa laajoilla alueilla maailmassa, muun muassa Välimeren maissa.

Ongelma ratkeaisi, jos viljelyssä voitaisiin käyttää murto- tai merivettä (Rozema & Flowers 2008).

Kaukaisessa muinaisuudessa kaikki kasvit olivat halofyyttejä: ne kasvoivat merissä ja olivat sopeutuneet korkeaan suolapitoisuuteen. Nyt vain prosentti maakasvilajeista pystyy kasvamaan ja lisääntymään suolaisilla mailla, ja niistäkin vain muutama laji kestää meriveden suolapitoisuutta.

Moni suolansietäjä voisi periaatteessa soveltua kasvatettavaksi suolamaanviljelyssä, jossa kasteluun käytettäisiin murtoveettä. Matka villikasvista viljelykasviksi on kuitenkin pitkä, esimerkkinä mesimarja (Tammisola 2005). Monet villikasvin viljely- ja sato-ominaisuudet vaatisivat suuria parannuksia, jollaisiin perinteisillä viljelykasveilla kului aikaa vuosisatoja tai -tuhansia.

Nopeampaa on jalostaa tärkeisiin viljelykasveihin suolankestävyyttä.

Suolankestäviä lajikkeita

Neljäsosa maapallon maa-alasta on suolapitoista, mutta nykyiset viljelykasvit eivät suolaa kestä. Merikilokki (*Suaeda salsa*) sitä vastoin menestyy suolaisilla merenrannoilla (kuva 2). Kiinassa Shandongin yliopiston tutkijat eristivät siitä suolankestävyyden geenin ja jalostivat sen avulla suolankestäviä riisi-, tomaatti- ja soijalajikkeita (Zhao ym. 2006, Zhao & Zhang 2007).

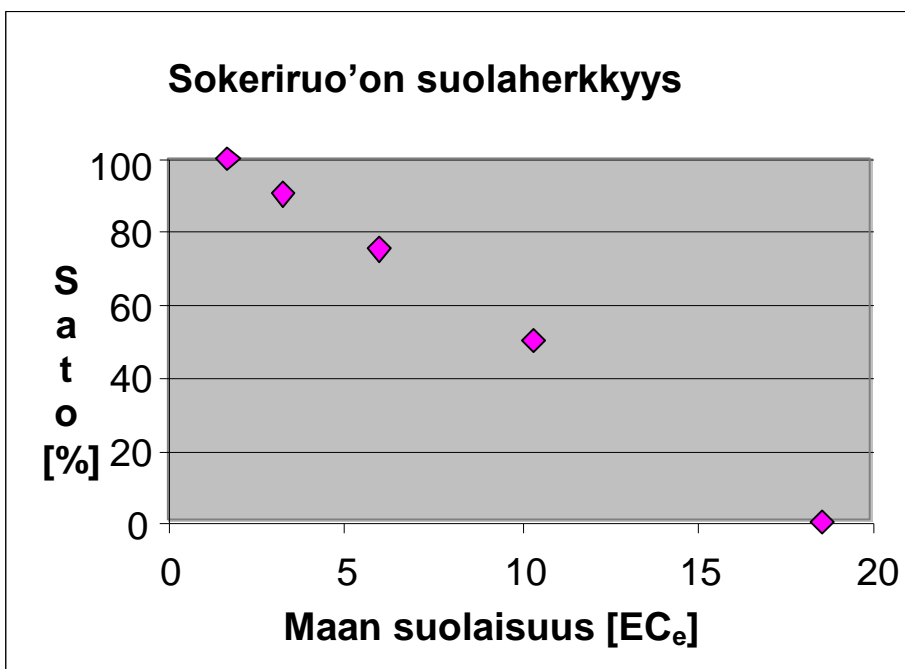


Kuva 2. Merikilokki (vas.) ja suolayrtti (oik.) kasvavat suolaisilla merenrannoilla ja selviävät jopa suolankeruualtaiden pohjalla. Kultahietikko, Bulgaria. ©J.Tammissola 2006

Nämä suolankestävät lajikkeet puhdistavat maaperää suolasta ja keräävät sen lehtiinsä. Suola ei kerry siemeniin eikä hedelmiin, vaan se ohjataan lehtisolujen ”jätepusseihin” (vakuolit).

Intiassa suolankestävyysgeeni eristettiin suistojen murtovedessä kasvavasta mangrovepuusta ja siirrettiin muutamiin tärkeisiin riisilajikkeisiin. Lehtitietojen mukaan jalostetut lajikkeet selviävät merivettä suolaisemmassa vedessä (Holden 2004, Srivastav 2004).

Sokeriruoko ei juuri kestä suolaa (kuva 3). Kuitenkin monilla sen viljelyseuduilla maailmassa happamat ja suolaantuneet maat ovat yleisiä (Netafim 2008). Brasilian puolikuivilla alueilla korkeat suolapitoisuudet ovat tavallisia kasteluvesissä (Blanco ym. 2008). Sokeriruoko on viljelyä kannattaisi laajentaa tällaisille alueille, jos vain suolankestäviä lajikkeita olisi käytettävissä.



Kuva 3. Sokeriruoko on melko suolaherkkä kasvilaji: sen sadot heikkenevät nopeasti maan suolapitoisuuden kasvaessa (FAO 2008 a).

Kuivankestävyys

Kuivankestävien lajikkeiden satoa eivät satunnaiset kuivuusjaksot romahduttaisi. Ne tuottaisivat myös saman sadon vähemmällä veden kulutuksella, mikä kuumilla seuduilla vähentäisi myös maan suolaantumista.

Kuivankestävillä gm-lajikkeilla on viljelykokeita käynnissä eri puolilla maailmaa muun muassa maissilla, riisillä, vehnällä, puuvillalla ja rapsilla. Toistaiseksi niillä on saavutettu 10–40 prosentin satoparannuksia kuivuuden oloissa. Lajikkeita odotetaan saatavan viljelyyn 4–5 vuoden kuluessa.

Egyptissä ohran kuivankestävyysgeeni siirrettiin vehnään geenimuuntelun avulla ja saatiin kuivankestäviä vehnälinjoja. Kenttäkokeet osoittavat, että niitä viljeltäessä selvittää yhdellä kastelukerralla, kun taas tavallinen vehnä vaatii kahdeksan kastelukertaa. Näillä lajikkeilla vehnän viljelyä voitaisiin laajentaa myös vähäsateisille alueille, joilta kastelujärjestelmät puuttuvat (Bahieldin ym. 2005).

Australian kenttäkokeissa kuivankestävä muuntogeeninen vehnä antoi kuivissa viljelyoloissa 20 prosenttia korkeamman sadon kuin muut lajikkeet (Tong 2009).

Riisin viljelyssä tarvitaan paljon vettä, joten kolmannessa maailmassa yritetään siirtyä viljelemään vettä vähemmän tarvitsevia kasveja, kuten perunaa. Tuholaiset, perunarutto ja virustaudit kuitenkin vaivaavat perunaa tropiikissa paljon pahemmin kuin täällä Pohjolan perukoilla. Niiden torjumisessa on kestävyysjalostuksella paljon tehtävää.

Hallankestävyys

Halla haaskaa 15 prosenttia maailman kasvintuotannosta. Ongelma pahenee tulevaisuudessa, jos tärkeät viljelyalueet siirtyvät ylempille leveysasteille ja olot muuttuvat siirtymäkautena vaihtelevammiksi.

Viljelykasveihin voidaan jalostaa hallankestävyyttä Etelämanteren lauhan (*Deschampsia antarctica*) avulla. Tämä heinälaji kestää kylmää aina -30 °C asti. Sen kylmänkestävyysgeeni on tehokkaampi kuin viljojen oma geenimuoto (John ym. 2009).

Tämän kylmänkestävyysgeenin tuottama proteiini estää jääkiteiden muodostumista kasvin soluissa, joten solut eivät rikkoudu. Geeni parantaisi merkittävästi viljojen ekologista sietokykyä ja pidentäisi niiden kasvukautta, jolloin sadot paranisivat.

Tuplasti sokeria autoille

Tehottomat bioenergiakasvit ovat vaaraksi ruokaturvalle. Bioetanolin tuottaminen on hiilitaseen ja talouden kannalta järkevää toistaiseksi lähinnä vain trooppisesta sokeriruo'osta (IEA 2007). Maissista viinaa saadaan hyvin vähän hehtaarilta.

Geenimuuntelua tarvitaan

Jotta biopolttonesteiden tuotanto voitaisiin saada taloudellisesti, eettisesti ja ekologisesti kestäväksi, täytyy energiakasvien satoisuutta ja ekotehokkuutta radikaalisti parantaa (EPSO 2007).

Tämä voi onnistua vain parhailla uusilla jalostusmenetelmillä, kuten geenimuuntelulla.

Ensiksikin: Tarvittavissa jalostusominaisuuksissa ei useinkaan esiinny riittävästi perinnöllistä vaihtelua viljelykasvin jalostusaineistoissa.

Toiseksi: Ominaisuuksien nouto villilajeista epäpuhtailla vanhoilla menetelmillä, kuten kaukoristeytyksillä, on puolestaan tehotonta, vaarantaa kasvituotteiden turvallisuutta, sekä pilaa vuosikymmeniksi nykyisten viljelykasviemme pitkälle jalostetut ominaisuudet (ns. sisifyos-efekti) (Tammisola 2006 b). Useimmiten siinä ei edes voida onnistua käytännössä.

Ominaisuudelle tärkeä geeni voidaan sitä vastoin geenimuuntelun avulla etsiä ja eristää muista kasvilajeista sekä siirtää puhtaimmalla mahdollisella tavalla viljelykasvin avuksi. Tämä on paljon tehokkaampaa, nopeampaa ja turvallisempaa kuin vanhoilla, yritykseen ja erehdykseen perustuvilla menetelmillä.

Geenitekniikan soveltaminen on usein osoittautunut käytännössä noin kolmekymmentä kertaa tuloksekkaammaksi kuin perinteiset menetelmät (Bio Cassava Plus 2008, Naqvi ym. 2009)

Sokeriruo'on sokeripitoisuus kaksinkertaistettiin

Sokeriruokolajikkeet ovat varsin steriilejä, polyploidisia lajiristeytymiä, joten niiden jalostaminen perinteisin menetelmin on hidasta ja hankalaa. Esimerkiksi ruo'on sokeripitoisuus ei ole noussut 40 vuodessa kuin nimeksi, vaikka ominaisuudessa esiintyy perinnöllistä vaihtelua (Jackson 2005).

Syitä on monia. Ominaisuuksiin vaikuttaa usein suuri joukko eri genejä, joista kullakin on ominaisuuteen vain pieni vaikutus. Niiden rikastaminen samaan kasviyksilöön risteytyksillä on vaikeaa, sillä risteytyksissä suotuisat geeniyhdistelmät hajoavat ja huonoja geenimuotoja saapuu takaisin hyvän lajikkeen perimään. Polyploideilla kasveilla periytymissäännöt ovat lisäksi tavallista monimutkaisempia.

Geenimuuntelulla sokeripitoisuus saatiin kaksinkertaistumaan yhdellä jalostusaskelilla. Kasviin tuotiin puhtaana geeni, jonka ansiosta kasvi tuottaa soluihinsa normaalin määrän ruokosokeria mutta lisäksi saman verran isomaltuloosia (Wu & Birch 2007, Birch 2006).

Isomaltuloosi on terveystuotevaikutteinen hiilihydraatti: ruokosokerin isomeerinen muoto, joka hajoaa suolistossa hitaammin eikä aiheuta hammasmätää.

Isomaltuloosi soveltuu myös alkoholikäymisen raaka-aineeksi. Samalta peltoalalta voidaan siten tuottaa tuplamäärä bioetanolia, mikä vähentää ruoan hintapainetta sekä tarvetta uuden peltoalan raivaamiseen.

Kenttäkokeet ovat käynnissä Australiassa. Niissä verrataan 120 erilaista isomaltuloosi-sokeriruoa toimivuutta tavanomaisissa viljelyoloissa vuosina 2005–2010 (OGTR 2005 a, b). Eri kasvilinjoissa isomaltuloosigeeni on jalostettu toimimaan eri teholla ja eri kasvinosissa ja sen toimintaa ohjaamaan on jalostettu erilaisia säätelyosia, joita on saatu sokeriruosta ja maissista.

Kenttäkokeissa parhaiten menestyneet kasvilinjat voidaan ottaa käyttöön lajikkeina. Viljelylupien saamiseen tarvittavaa aikaa on kuitenkin vaikea ennustaa – uusia lajikkeita odotetaan markkinoille 3–7 vuoden kuluessa (AFAA 2008).

Itsepilkkoutuva sokeriruoko

Tällä hetkellä Brasilian bioetanoli tuotetaan sokerin eri puhdistusvaiheista saatavista jäteliemistä (melassit). Liemiin jää sokeria, josta voidaan valmistaa käymisen avulla alkoholia.

Sokeriruoko tuottaa kuitenkin sokerin lisäksi suuria määriä selluloosaa. Jos se onnistuttaisiin pilkkomaan sokereiksi, voitaisiin Brasilian sokeriruokoetanolin tuotanto kaksinkertaistaa.

Selluloosaetanolin valmistaminen on toistaiseksi monin verroin liian kallista ollakseen taloudellisesti kestävä. Kasvin solunseinien selluloosa on nimittäin vaikeaa pilkkoa sokereiksi: se vaatii kalliita esikäsittelyjä ankarissa prosessiooloissa, jotta solunseinine rakenne höltyisi niin, että selluloosaa hajottavat entsyymit (sellulaasit) pääsevät paremmin käsiksi selluloosamolekyyleihin. Entsyymejä tarvitaan suuria määriä, ja niiden ostaminen tulee kalliiksi (Ewing 2008).

Sokeriruokoon on nyt jalostettu selluloosaa pilkkovan entsyymin geeni. Kasvi pystyy näin valmistamaan kalliin entsyymin itse. Elävän solun sisältä annettuna entsyymi myös vaikuttaa solunseiniin paljon tehokkaammin, jolloin vältetään kalliilta esikäsittelyiltä.

Sellulaasigeenin toiminta käynnistetään kasvissa vasta 2–3 päivää ennen sadonkorjuuta, jolloin entsyymi ei haittaa kasvin kasvua (Dale 2007).

Itsepilkkoutuvaa sokeriruokoa kehittää Australian ja Brasilian yhteinen tutkimusliittoutuma.

Solunseinien pilkkoutumista edistäisi myös, jos solunseinien ligniini olisi helpommin pilkkottavissa. Ligniinin ja hemiselluloosan muodostama vaippa estää näet selluloosaa pilkkovien entsyymien pääsyn selluloosakuituihin. Brasiliassa ollaan siksi jalostamassa myös sokeriruokoa, jonka solunseinien kaikki ligniini olisi helpommin pilkkoutuvaa tyyppiä: syringyyliä (Ewing 2008).

Kyntämättömään viljelyyn parempia lajikkeita

Suorakylvö (kyntämätön viljely) vähentää eroosiota keskimäärin 488-kertaisesti, parantaa maan rakennetta, lisää pellon biologista monimuotoisuutta sekä vähentää hiilen karkaamista maasta ilmakehään (Montgomery 2007, TBU 2004, Wright & Nichols 2002, FAO 2009). Vettäkin säästyy, kun kevään kosteus säilyy maassa pidempään.

Suorakylvöllä on myös ongelmansa. Paha biodiversiteetti – taudit ja tuholaiset – saattaa sekin runsastua, mikä uhkaa sadon laatua ja turvallisuutta. Kyntö pitäisi näet osaltaan kurissa monia kasvintuhoojia.

Suorakylvön avuksi tarvitaan siksi uusia, kestäviä kasvilajikkeita, jollaisia voidaan jalostaa geenimuuntelun avulla.

Koisankestävä maissi ja glyfosaatinkestävä soija sopivat kyntämättömään vuoroviljelyyn – eivätkä tuholaiset ja rikkaruohot pääse riehaantumaan. Tavallisen maissin varret sitä vastoin pitää kyntää maan sisään, etteivät niihin koteloituneet koisan toukat pääse talvehtimaan (ja iskemään uusiin taimiin heti keväällä).

Muuntogeeniset lajikkeet ovatkin muutamassa vuodessa moninkertaistaneet kyntämättömän viljelyn (Trigo & Cap 2006, Trewavas 2008).

Luonnonvarojen haaskaus rangaistavaksi?

Perunarutto on maailman tuhoisin perunatauti. Se tappoi miljoona irlantilaista nälkään vuosina 1845–50. Viljelyperunassa (*Solanum tuberosum*) ei löydy tälle taudille todellista vastustuskykyä vaan vain eriasteista taudinarkuutta.

Joillakin perunalajikkeilla on vastustuskyky tietyille ruttoroduille mutta ei toisille. Rotuspesifinen vastustuskyky tiettyä ruttorotua vastaan ei kestä kauaa. Se romahtaa aina, kun ruttosieni onnistuu kehittämään uuden, tautia aiheuttavan rodun.

Ruttosienen toinen pariutumistyyppi saapui Amerikasta Eurooppaan kaksi vuosikymmentä sitten. Sieni pystyy nyt lisääntymään myös suvullisesti, mikä lisää taudin geneettistä monimuotoisuutta ja nopeuttaa sen evoluutiota. Ruton suvullinen aste pystyy talvehtimaan viljelmällä, uusia ruttorotuja kehittyä entistä nopeammin, ja epidemiat pahenevat Euroopassa.

Perunarutto romahduttaa perunasadon ja pilaa mukuloiden laadun – varsinkin, jos se pääsee ryöstäytymään varastoihin asti mukularutoksi.

Ruttoa vastaan on kehitetty torjunta-aineita, mutta ne ovat kalliita ja niitä on alettava ruiskuttaa säännöllisesti jo varhaisessa vaiheessa, jotta ruton leviäminen voidaan pitää kohtuullisena ja suurilta satovahingoilta vältyttäisiin. Lauhkeassa ilmastossa ruiskutuskertoja tarvitaan kasvukauden aikana kymmenkunta mutta kuumassa ilmanalassa, kuten Meksikossa, jopa 25.

Rutonkestävät perunat säästäisivät EU:n joka vuosi 860 miljoonan kilon perunamenetyksiltä ja 7,5 miljoonan kilon torjunta-aineruiskutuksilta (tehoaineeksi laskettuna) (Phipps & Park 2002, Gianessi ym. 2003).

Yleisesti rutonkestävä peruna on jalostettu

Villi perunalaji (*S. bulbocastanum*) on vastustuskykyinen perunarutolle. Kestävyys on tyypiltään laajaspektristä: se ei anna täyttä suojaa vaan hidastaa ruttosienen kasvua niin, ettei se ehdi aiheuttaa epidemioita. Tämän tyyppinen, ”yleinen” resistenssi saattaa säilyä hyvinkin pitkään – parhaassa tapauksessa se voisi antaa viljelyperunalle suojan kaikkia ruttorotuja vastaan jopa vuosikymmeniksi.

Ominaisuutta ei voida jalostaa villiperunasta viljelyperunaan perinnekonstein. Nämä vanhat menetelmät ovat geneettisesti ”likaisia”: kestävyysgeenin mukana siirtyisi viljelyperunaan peukalokyytiläisinä tuhansia tuntemattomia geenejä – joukossa hyvin todennäköisesti haitallisia tai vaarallisiakin geenejä, jotka saattaisivat aiheuttaa uusien myrkkujen muodostumista viljelyperunaan (Laurila ym. 1996).

Kun käytössä on perinteinen ”sotke ensin, siivoa sitten”-metodi, täytyisi jälkeläisiä risteyttää takaisin viljelyperunaan päin kymmenien sukupolvien ajan, vaarallisten geenien siivoamiseksi pois risteytymästä jälkikäteen – eikä varmuutta puhdistumisesta voida sittenkään saavuttaa. Kasvin perimään voi silti jäädä jäljelle jopa satoja ei-toivottuja tulokasgeenejä. Esimerkiksi maissiin jäi vielä noin 500 puhveliheinästä saapunutta tulokasgeeniä, vaikka niiden lajiristeytymää oli risteytetty takaisin maissiin päin 14 sukupolven ajan (Eubanks 2003).

Myös teknisiä esteitä vanhojen menetelmien käytölle riittää. Viljely- ja villiperunalla on eri ploidiatasot (toinen tetraploidi, toinen diploidi), mistä aiheutuu risteytymisestä sekä kaottista kromosomiluvun ja -rakenteen vaihtelua perinteisten lajiristeytymien jälkeläistöissä (Rokka 1998).

Sen vuoksi kestävyysgeeni jäljitettiin villiperunasta, puhdistettiin ja jalostettiin viljelyperunan lajikkeisiin puhtaimmalla mahdollisella tavalla eli geenimuuntelulla. Toivotun geenin mukana ei tällöin seurannut ainoatakaan ei-toivottua geeniä.

Rutonkestävät perunat ovat jo kenttäkokeissa myös EU:ssa. Toistaiseksi ne ovat osoittautuneet kestäviksi kaikille tunnetuille ruttoroduille – myös ”superrutolle”, joka pystyy murtamaan kaikki rotuspesifiset kestävyudet.

Geenimuuntelun avulla liian rutonarat vanhat suosikkilajikkeet voidaan jalostaa jälkikäteen kestäviksi perunarutolle – ja tuoda takaisin viljelyyn.

Rutto-perunoiden kasvatus olisi kiellättävä

Kun markkinoille saadaan terveitä, aidosti rutonkestäviä (muuntogeenisiä) perunalajikkeita, tulisi kestävämmien perunoiden viljely kieltää.

Rutonarat perunat saastuvat pahasti jo varhain heinäkuussa ja toimivat sitten ruttopesäkkeinä, joista tauti leviää tehokkaasti kaikille lähiseudun pelloille. Muut viljelijät joutuvat ruiskuttamaan peltojaan kaksin verroin useammin, mikä tulee kalliiksi ja rasittaa ympäristöä.

Vielä tärkeämpää kestävyuden vaatimus olisi luomutuotannossa, jossa tehokkaita rutontorjunta-aineita ei ole. Nämä rutonkestävät lajikkeet on kuitenkin päinvastoin kielletty luomussa.

Tällaisen rutonkestävän perunan viljelijä joutuu Euroopassa maksamaan korvauksia, jos hänen pelloltaan kulkeutuisi naapurin ruttoperunan joukkoon terveen perunan mukuloita (MMM 2008)... jos nyt perinnöllisesti terveelle perunalle vielä joskus saataisiin täällä viljelylupa.

Luonnotonta vai luonnon viisautta?

Mutta voidaanko lajirajojen ylittämistä sallia? Eikö se ole luonnotonta?

Kasvimaailmassa lajirajojen ylittäminen on arkipäivää yhtä hyvin luonnon evoluutiossa kuin perinteisessä kasvinjalostuksessa. Esimerkiksi leipävehnä on kolmen eri kasvilajin ja ruisvehnä neljän kasvilajin, vieläpä kolmen eri kasvisuvun välinen risteytymä. Vehnän perimässä on lisäksi kromosominpaloja sekä ohrasta että rukiista. Sokeriruo'on kromosomisto taas on kokoiltu monesta eri kasvisuvusta.

Luonnon 10 000 villin heinäkasvilajin geneettisestä aarreatasta on viljoihin saatavissa suuri joukko ihmiselle ja ympäristölle tärkeitä ominaisuuksia (Tammisola 2006 a, b).

Puhtaus kunniaan?

Perinteinen jalostus, jota olen opettanut jo 38 vuotta, on perusteiltaan liikaista ”yritystä ja erehdystä”. Se toimii ”sotkemisperiaatteella”: ensin sekoitetaan kaikki (lototaan geneettistä vaihtelua risteytyksien ja mutaatioiden avulla), ja sitten yritetään taas jotenkin siivota jälkiä – suurella työllä ja arpakonstien avulla (Tammisola 2009 c).

Uudella osaamisella (geeninsiirto) voidaan tarvittava geeni sitä vastoin noutaa villilajista viljelykasviin puhdistettuna, ilman ainoatakaan kylkiäisgeeniä (Tammisola 2006 b).

Läpimurto kasvien hienosäädössä

Kasvien geenimuuntelussa saavutettiin juuri suuri läpimurto tarkkuudessa ja tehokkuudessa – kaksi riippumatonta tutkijaryhmää julkaisi saavutuksen 29.4. tiedelehti *Nature*ssa (Townsend ym. 2009, Shukla ym. 2009, Tammisola 2009 d).

Uusi muuntelumenetelmä toteuttaa kasvinjalostajien ”vuosisadan toiveen”. Nyt voidaan muuntaa kasvin valittu geeni tarkasti sellaiseksi kuin toivomme – omalla paikallaan kasvin kromosomissa. Kasvi yllytetään tekemään muutos itse, omien luontaisten korjausentsyymiensä avulla.

Esimerkiksi Etelämanteren lauhaheinän pakkaskestävyysgeeniä ei enää tarvitse *lisätä* (jonnekin vehnän perimään, vaan se voidaan *vaihtaa* vehnän oman (huonomman) kylmänkestävyysgeenin tilalle luontaisessa paikassaan kromosomissa.

Toinen tutkimusryhmistä antaa menetelmänsä vapaasti kaikkien käyttöön ja lupaa jopa kouluttaa köyhien maiden tutkijoita täsmämuuntelun taitajiksi.

Vuosikymmenen kuluttua alkaa siis kehitysmaiden nyrkkipajoista virrata mainioita uusia muuntogeenisiä kasvilajikkeita nopeasti muuttuvan maailmamme avuksi – myös myyttiensä keskellä kompuroiviin ”auringonlaskun maihin”.

Viitteet

AFAA (2008). Biotechnology and Sugar Research. Agrifood Awareness Australia
www.afa.com.au/resource_guides/Biotech_Sugar_Research.pdf

Ames BN, Gold LS (2000). Mutation Research Frontiers: Paracelsus to parascience: the environmental cancer distraction. *Mutation Res.* 447: 3–13. [http://dx.doi.org/10.1016/S0027-5107\(99\)00194-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0027-5107(99)00194-3)

Bahieldin A, Mahfouz HT, Eissa HF, Saleh OM, Ramadan AM, Ahmed IA, Dyer WE, El-Itriby HA, Madkour MA (2005). Field evaluation of transgenic wheat plants stably expressing the *HVA1* gene for drought tolerance. *Physiologia Plantarum*123: 421–427
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00470.x>

Bio Cassava Plus (2008). Mission & Objectives. http://biocassavaplus.org/program_description.htm

Birch RG (2006). Metabolic engineering of sugarcane: Assisting the transition to a bio-based economy. In: Verpoorte R, Alfermann AW, Johnson TS (eds.) Applications of Plant Metabolic Engineering, Springer, p. 249–281 http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6031-1_11

Blanco FF, Folegatti MV, Gheyi HR, Fernandes PD (2008). Growth and yield of corn irrigated with saline water. *Sci. Agric.* 65: 574–580

Boreal (2009). Pito^{BOR} – peruna. Laadukas ruokaperunalajike.
www.boreal.fi/MIT.php?MITbase=lajikekuvaus&MITform=docu_laaja&id=1167

Dale J (2007). Cellulosic ethanol: huge potential but challenging. Centre for Tropical Crops and Biocommodities. Queensland Univ. of Technology, Australia, 35 p.
www.farmacule.com/news/news10/AusbioBioethanol.ppt

Dyer WE, El-Itriby HA, Madkour MA (2005). Field evaluation of transgenic wheat plants stably expressing the *HVA1* gene for drought tolerance. *Physiologia Plantarum*123: 421–427
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00470.x>

EPSO (2007). Sustainable Future for Bioenergy and Renewable Products. European Plant Science Organisation, Sep. 27, 2007. http://www.epsoweb.org/commun/Bioenergy_Position_Paper_EN.pdf

Eubanks MW (2003). Ancestral Genetic Resources Provide an Alternative to GMO Crops. *Ethnobotany Res. & Applic.* 1: 21–29
<http://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/126/4/I1547-3465-01-021.pdf>

Eucarpia (1989). 1989 Statement of Eucarpia on Risk Assessment Regarding the Release of Transgenic Plants. European Association of Plant Breeding Research, 1989, 1 p.
www.geenit.fi/TP09.pdf p. 86

Ewing E (2008). Self-processing sugarcane for cellulosic ethanol? *Ethanol Producer* Apr. 2008
www.ethanolproducer.com/article.jsp?article_id=3868

- FAO (2004). Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. FAO food and nutrition paper 81. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 2004, 170 p. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5499e/y5499e00.pdf>
- FAO (2008 a). Sugarcane. Land and Water division AGLW, FAO www.fao.org/ag/AGL/aglw/cropwater/sugarcane.stm
- FAO (2008 b). Agricultural commodity prices expected to remain high. FAO Newsroom, 29 May 2008. www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000849/index.html
- FAO (2009). Farming must change to feed the world. FAO Newsroom, 4 Feb. 2009 www.fao.org/news/story/en/item/9962/icode/
- Fire (2006). Gene Silencing by Double Stranded RNA. Nobel Lecture, Dec. 8, 2006, 36 p. http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2006/fire_lecture.pdf
- Gianessi L, Sankula S, Reigner N (2003). Plant Biotechnology: Potential Impact for Improving Pest Management in European Agriculture. Potato Case Study. The National Center for Food and Agricultural Policy, June 2003, 23 p. www.ncfap.org/documents/FungalResistantPotato.pdf
- GMO Compass (2008). Rockefeller Foundation to Fund Golden Rice's Regulatory Approval Effort. GMO Compass 27.10.2008. www.gmo-compass.org/eng/news/387.docu.html
- Grimm D (2008). A Bunch of Trouble. *Science* 322: 1046–1047. <http://dx.doi.org/10.1126/science.322.5904.1046>
- GRP (2009). Biofortified rice as a contribution to the alleviation of life-threatening micronutrient deficiencies in developing countries. Golden Rice Humanitarian Board, Golden Rice Project. www.goldenrice.org/index.html
- Hemminki A (2007). Geeniteknikka voi helpottaa varautumista pandemiaan. Vieraskynä, Helsingin Sanomat 1.2.2007 www.geenit.fi/HS010207Hemm.pdf
- Holden C (2004). Salt-Resistant Rice. Indian scientists have genetically engineered a new salt-resistant rice variety designed to stand up to global warming. *Science* 303: 308. <http://dx.doi.org/10.1126/science.303.5656.308c>
- IDSa (2009). Highlights of the 2009 Poster Submissions. Seasonal & Pandemic Influenza 2009: A Turning Point. Infectious Diseases Society of America, Feb. 2–3, 2009, 71 p. www.idsociety.org/WorkArea/showcontent.aspx?id=13402
- IEA (2007). IEA views about Biofuels. International Energy Agency www.iea.org/journalists/arch_pop.asp?MED_ARCH_ID=417
- IRRI (2005). Golden rice. Rice fact sheet. International Rice Research Institute, the Philippines, July, 2005 www.goldenrice.org/PDFs/fs_GR_IRRI_2005.pdf
- Jackson PA (2005). Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Field Crops Res.* 92: 277–290 <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.024>

- John UP, Polotnianka RM, Sivakumaran KA, Chew O, Mackin L, Kuiper MJ, Talbot JP, Nugent GD, Mautord J, Schrauf GE, Spangenberg GC (2009). Ice recrystallization inhibition proteins (IRIPs) and freeze tolerance in the cryophilic Antarctic hair grass *Deschampsia antarctica* E. Desv. *Plant Cell Environ.* 32: 336–348. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01925.x>
- Laurila J, Lasko I, Valkonen JPT, Hiltunen R, Pehu E (1996). Formation of parental type and novel glycoalkaloids in somatic hybrids between *Solanum brevidens* and *S. tuberosum*. *Plant Sci.* 118: 145–155.
- Lokki J, Saura A, Tigerstedt PMA (1986). Vastavuoroinen sopeutuminen. Evoluutio ja populaatiot. WSOY, Porvoo 1986, 332 s.
- LSN (2003). Killer Zucchini. Life Sciences Network, 2003. www.lifesciencesnetwork.com/news-detail.asp?newsID=1122
- Mao Y-B, Cai W-J, Wang J-W, Hong G-J, Tao X-Y, Wang L-J, Huang Y-P, Chen X-Y (2007). Silencing a cotton bollworm P450 monooxygenase gene by plant-mediated RNAi impairs larval tolerance of gossypol. *Nature Biotechnol.* 25: 1307–1313 <http://dx.doi.org/10.1038/nbt1352>
- Medicago (2008). Medicago's Pandemic Flu Vaccine Provides 100% Protection in Mice at Low Doses. MedicaGo Inc., Quebec City, Quebec, 22.1.2008. www.medicago.com/upload/MDG%20lethal%20study%20release%20FINAL%20EN.pdf
- Medicago (2009). Medicago announces poster presentation at the IDSA Seasonal and Pandemic Influenza 2009 meeting. MedicaGo Inc., Quebec City, Quebec, 27.1.2009. www.medicago.com/upload/Medicago%20SP%20Influenza%20conf%20rel%20Feb%2009%20FINAL%20EN.pdf
- Miller HI (2009). A golden opportunity, squandered. *Trends in Biotechnology* 27: 129–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.11.004>
- MMM (2008). Luonnon: Laki muuntogeenisestä kasvintuotannosta sekä muuntogeenisen, tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiselosta. Maa- ja metsätalousministeriö, 8.7.2008, 61 s. http://wwwb.mmm.fi/el/laki/lausuntopyynnot/lausuntopyynto_muuntogeeniset_fi.pdf
- Monsanto (2008). YieldGard Rootworm III. Monsanto's R&D Pipeline Set to Deliver Valuable Products to Farmers Well Into Next Decade. <http://monsanto.mediaroom.com/index.php?s=43&item=564>
- Montgomery DR (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS* 104: 13268–13272. www.pnas.org/content/104/33/13268.full.pdf+html
- Mäki-Valkama T (2000). Resistance to Potato virus Y (PVY) in potato cv. Pito transformed with the P1 gene of PVY. PhD Dissertation, University of Helsinki, 2000, 43 p. <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/3102/resistan.pdf?sequence=1>
- Naqvi S, Zhu C, Farre G, Ramessar K, Bassie L, Breitenbach J, Conesa DP, Ros G, Sandmann G, Capell T, Christou P (2009). Transgenic multivitamin corn through biofortification of endosperm

with three vitamins representing three distinct metabolic pathways. *PNAS Early Edition* Apr. 27, 2009, 6 p. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0901412106

Nature (2007). Indonesia edges closer to sharing bird-flu samples. News in Brief. *Nature* 450: 598–599 (2007)

Netafim (2008). Sugarcane. Agriculture Department, Netafim, Tel Aviv, Israel
<http://www.sugarcanecrops.com/>

OGTR (2005 a). Application for licence for intentional release of GMOs into the environment: Application No. DIR 051/2004. Summary information. Office of the Gene Technology Regulator, Department of Health and Ageing, Australian Government
[www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/dir051-3/\\$FILE/dir051.pdf](http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/dir051-3/$FILE/dir051.pdf)

OGTR (2005 b). Decision on issuing a license for application DIR 051/2004. Office of the Gene Technology Regulator, Department of Health and Ageing, Australian Government
[www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/dir051-3/\\$FILE/dir051notific.pdf](http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/dir051-3/$FILE/dir051notific.pdf)

OSU (2007). Research team receives \$7.5 million to study cassava. Ohio State University 13.4.2007, 3 p. http://oaa.osu.edu/reaccreditation/documents/4-42_Cassava.pdf

Paine JA, Shipton CA, Chaggar S, Howells RM, Kennedy MJ, Vernon G, Wright SY, Hinchliffe E, Adams JL, Silverstone AL, Drake R (2005). Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. *Nature Biotechnology* 23: 482–487.
<http://dx.doi.org/10.1038/nbt1082>

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: 1–8.

Portin P (2009). Kultainen riisi – geenitekniikan helmi. Aamulehti 8.5.2009, 3 s.
www.geenit.fi/AL080509port.pdf

Ritala A, Nuutila AM, Aikasalo R, Kauppinen V, Tammissola J (2002). Measuring Gene Flow in the Cultivation of Transgenic Barley. *Crop Science* 42: 278–285.
<http://crop.scijournals.org/cgi/reprint/42/1/278.pdf>

Rokka V-M (1998). Androgenic haploidization and interspecific and intraspecific somatic hybridization in potato germplasm development. PhD Dissertation, University of Helsinki, 1998, 159 p.

Rozema J, Flowers T (2008). Crops for a salinized World. *Science* 322: 478–480
<http://dx.doi.org/10.1126/science.1168572>

Shukla VK, Doyon Y, Miller JC, Dekelver RC, Moehle EA, Worden SE, Mitchell JC, Arnold NL, Gopalan S, Meng X, Choi VM, Rock JM, Wu YY, Katibah GE, Zhifang G, McCaskill D, Simpson MA, Blakeslee B, Greenwalt SA, Butler HJ, Hinkley SJ, Zhang L, Rebar EJ, Gregory PD, Urnov FD (2009). Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases. *Nature* advance online publication 29 April 2009, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1038/nature07992>

Srivastav S (2004). Growing rice in seawater. *Terra Green* 31.1.2004
www.teri.res.in/terragreen/issue53/news.htm#n1

Sunilkumar G, Campbell LAM, Puckhaber L, Stipanovic RD, Rathore KS (2006). Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *PNAS* 103: 18054–18059. www.pnas.org/content/103/48/18054.full.pdf+html

Tammisola J (2003). Kuka pelastaisi banaanin? *Aamulehti* 9.2.2003, 2 s.
www.geenit.fi/ALba9203.pdf

Tammisola J (2004). Parempia kasvilajikkeita kehitysmailla – miksi ja miten? *Futura* 4/2004, 25 s.
www.geenit.fi/Futura4_04.pdf

Tammisola J (2005). Saako mesimarjan pelastaa? STT:n artikkelipalvelu 8.4.2005, 4 s.
www.geenit.fi/mes05.pdf

Tammisola J (2006 a). Biotekniikan uusia ja kehittyviä sovelluksia – Haasteet, mahdollisuudet ja taloudelliset vaikutukset Euroopan maataloudessa. Esitelmä Euroopan parlamentissa 10.10.2006, 57 s. www.geenit.fi/EP101006suom.pdf

Tammisola J (2006 b). Viljelykasvit ja kasvinjalostus – edistyksen eturivissä kivikaudelta vihreälle aikakaudelle. Liite esitelmään Euroopan parlamentissa 10.10.2006, 7 s.
www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf

Tammisola J (2008). Biologia avuksi kehitysmailla? Köyhätkin tarvitsevat kasvinjalostusta. Nicaraguan köyhät tuottajat ja rikas ruokaperinne. Katsaus Nicaraguaan IX, Suomi-Nicaragua-Seura, Helsinki 2008, 9 s. www.geenit.fi/Nic08Laht.pdf

Tammisola J (2009 a). Bt Rice Is A Good Neighbor. *AgBioView* Jan. 6, 2009, 3 p.
www.geenit.fi/AgBioV060109.pdf

Tammisola J (2009 b). Harventaako meitä vapaa possu vai kestävä puuvilla? *KU* 8.5.2009, 2 s.
www.geenit.fi/KU080509.pdf

Tammisola J (2009 c). Pääsiäispuput pois omenatarhasta? *Ilkka* 17.4.2009, 3 s.
www.geenit.fi/Ilkka170409.pdf

Tammisola J (2009 d). Köyhätkin tarvitsevat kasvinjalostusta. *Käsik. (HS)* 8.5.2009, 2 s.
www.geenit.fi/LahHS080509.pdf

TBU (2004). Sowing the Seeds of Sustainability. Brazil's Next Agricultural Revolution. *Thinking Brazil Update* No. 9 (Feb. 2004): 1-3.

Tong G (2009). Field trials of GM projects yield 'promising' results. Philip Hopkins, *The Age*, March 30, 2009. <http://business.theage.com.au/business/field-trials-of-gm-projects-yield-promising-results-20090329-9fl4.html>

Townsend JA, Wright DA, Winfrey RJ, Fu F, Maeder ML, Joung K, Voytas DF (2009). High frequency modification of plant genes using engineered zinc-finger nucleases. *Nature* advance online publication 29 April 2009, 5 p. <http://dx.doi.org/10.1038/nature07845>

Trewavas A (2008). The cult of the amateur in agriculture threatens food security. *Trends in Biotechnology* 26: 475–478. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.06.002>

Trigo EJ, Cap EJ (2006). Ten years of genetically modified crops in Argentine agriculture. Argentine Council for Information and Development of Biotechnology, Dec. 2006, 52 p. www.inta.gov.ar/ies/docs/otrosdoc/Ten_Years_GM_Crops_Argentine_Agriculture.pdf

UNEP (1992). 1992 Rio Declaration on Environment and Development. The United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, June 3–14, 1992. www.unep.org/Documents.multilingual/Default.asp?DocumentID=78&ArticleID=1163

Wright SF, Nichols KA (2002). Glomalin: Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon. USDA ARS, *Agric. Res.* (Sep. 2002): 4–7. www.ars.usda.gov/is/AR/archive/sep02/soil0902.pdf

Wu K-M, Lu Y-H, Feng H-Q, Jiang Y-Y, Zhao J-Z (2008). Suppression of Cotton Bollworm in Multiple Crops in China in Areas with Bt Toxin-Containing Cotton. *Science* 321: 1676–1678, www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/321/5896/167

Wu L, Birch RG (2007). Doubled sugar content in sugarcane plants modified to produce a sucrose isomer. *Plant Biotechnol. J.* 5: 109–117 <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-7652.2006.00224.x>

Yadav BC, Veluthambi K, Subramaniam K (2006). Host-generated double stranded RNA induces RNAi in plant-parasitic nematodes and protects the host from infection. *Molecular and Biochemical Parasitology* 148: 219–222 <http://dx.doi.org/10.1016/j.molbiopara.2006.03.013>

Zhao F, Wang Z, Zhang Q, Zhao Y, Zhang H (2006). Analysis of the physiological mechanism of salt-tolerant transgenic rice carrying a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene from *Suaeda salsa*. *J. Plant Res.* 119: 95–104. <http://dx.doi.org/10.1007/s10265-005-0250-2>

Zhao F-Y, Zhang H (2007). Transgenic Rice Breeding for Abiotic Stress Tolerance – Present and Future. *Chin. J. Biotech.* 23: 1–6. [http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2075\(07\)60001-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2075(07)60001-6)

Zhou S-M, Jiang L-P, Geng C-Y, Cao J, Zhong L-F (2009). Patulin-induced genotoxicity and modulation of glutathione in HepG2 cells. *Toxicon* 53: 584–586. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.01.030>