

## **Geenitekniikka ja kasvinjalostusta koskevat osiot\*** työryhmämuistiosta MMM 2005:9

Muuntogeenisten viljelykasvien sekä tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiselon mahdollistaminen Suomessa. Väliraportti  
Helsinki 2005

1.5. Geenitekniikka ja muuntogeeniset viljelykasvit	s. 3
1.6. Siitepölyn kulkeutuminen, hedelmöitys ja geenivirta	s. 8
1.7. Gm-organismeja ja muuntogeenisiä tuotteita koskevat säädökset	s. 13
Liite A. Jalostuksen teknisiä ja biologisia keskustelukysymyksiä	s. 19
5. Lähdekirjallisuutta	s. 31–41

\* Työryhmämuistio on kokonaisuudessaan ladattavissa osoitteesta:

[http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/Trm2005\\_9.pdf](http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/Trm2005_9.pdf)

Muistion laati tieteellisten asiantuntijoiden työryhmä yhteisymmärryksessä (konsensus), ja sitä käytetään oppimateriaalina Helsingin yliopiston soveltavan biologian opetuksessa (agroekologian prof. Juha Helenius)

## Muuntogeenisten viljelykasvien sekä tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiselon ohjaustyöryhmälle

Maa- ja metsätalousministeriö asetti 2.2.2004 asiantuntijatyöryhmän, joka sai tehtäväkseen valmistella suositukset toimenpiteiksi ja ohjeiksi muuntogeenisten viljelykasvien sekä tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiselon mahdollistamiseksi Suomessa.

Työryhmän tehtävänä oli laatia selvitys 1) niistä agronomisista toimenpiteistä, jotka mahdollistavat viljelykasvien rinnakkaiselon, 2) rinnakkaiselon taloudellisista vaikutuksista ja vastuukysymyksistä, 3) alueellisen tason toimenpiteistä, joita olisi sovellettava Suomen olosuhteisiin soveltuville viljelykasvilajeille ja tuotantotyypeille (esim. kylvösiementuotanto vs. muu kasvituotanto), 4) hallinnollisista päätöksistä ja säädösmuutoksista, joita mahdollisesti on tehtävä sekä uusista käyttöön otettavista valvonta- ja tarkastusjärjestelmistä.

Maa- ja metsätalousministeriön nimeämän työryhmän puheenjohtajana toimi maatalousneuvos Kirsi Heinonen ja sihteerinä erikoistutkija Jussi Tammissola maa- ja metsätalousministeriön elintarvike- ja terveysosastosta. Jäseniksi nimettiin ylitarkastaja Juha Palonen (varaj. ylitark. Outi Kostama) ministeriön maatalousosastosta, ylitark. Tero Tolonen ministeriön elintarvike- ja terveysosastosta, ylitark. Erkki Vesanto (varaj. ylitark. Tuuli Pulkkinen) kasvintuotannon tarkastuskeskuksesta, prof. Alan Schulman (varaj. erikoistutkija Mia Sahramaa) maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta, leht. Mervi Seppänen (varaj. prof. Juha Helenius) Helsingin yliopistosta, pääsiht. Irma Salovuori (varaj. tutk. Jussi Joensuu) sosiaali- ja terveysministeriöstä, ylitark. Kirsi Törmäkangas (varaj. ylitark. Marja Ruohonen-Lehto) Suomen ympäristökeskuksesta, sekä ylitark. Eeva Fieandt (varaj. ylitark. Arja Kaiponen) elintarvikevirastosta.

Työryhmän tuli saattaa työnsä valmiiksi 30.12.2005 mennessä.

Asiantuntijatyöryhmä on laatinut lähinnä tehtäväksi saannin kohtiin 1, 3 ja 4 liittyvän väliraportin. Raporttiluonnoksesta on hankittu kahteen eri otteeseen ohjausryhmän kommentit. Asiantuntijatyöryhmä luovuttaa kunnioittavasti väliraporttinsa ohjaustyöryhmälle.

Helsingissä 31.5.2005

Puheenjohtaja:	Kirsi Heinonen,	Sihteerit:	Jussi Tammissola
Jäsenet:	Eeva Fieandt		Juha Helenius
	Jussi Joensuu		Arja Kaiponen
	Outi Kostama		Juha Palonen
	Tuuli Pulkkinen		Marja Ruohonen-Lehto
	Mia Sahramaa		Irma Salovuori
	Alan Schulman		Mervi Seppänen
	Tero Tolonen		Kirsi Törmäkangas
	Erkki Vesanto		

## 1.5. Geeniteknikka ja muuntogeeniset viljelykasvit

'Geeniteknikka' tarkoittaa geeneihin kohdistuvaa molekyylibiologiaa (MMM 2003). Se käsittää joukon uusia biologian menetelmiä, joiden avulla perimää voidaan analysoida sekä muuttaa yksityskohtaisesti ihmisen toivomalla tavalla.<sup>1</sup>

Perinteisessä kasvinjalostuksessa geenitekniisiä menetelmiä voidaan käyttää apuna esimerkiksi risteytysjälkeläisten analyysissä. EY-säädännössä käytetyn määritelmän mukaan 'muuntogeenisestä' kasvilajikkeesta on kysymys, kun kasvin perintöainesta muutetaan tavalla, joka ei toteudu luonnossa paritumisen tuloksena tai luonnollisena rekombinaationa.<sup>2</sup> Eli gm-lajikkeita syntyy esimerkiksi silloin, kun geeniteknikan avulla hienosäädetään kasvin omien geenien toimintaa, sammuteetaan haittageenejä tai tuodaan kasviin haluttu geeni puhtaana<sup>3</sup> sukulaislajista.

Uusi tieto elollisten organismien perimästä ja perinnöllisyyden lainalaisuuksista on avannut tietä tuotantoeliöiden perimän muuntamiseen entistä nopeammin ja hallitummin. Nopeutuminen koskee kuitenkin vain jalostustyön biologista vaihetta, jolloin kehitetään jalostuspopulaatiosta kasvulinjoja lajike-ehdokkaiksi. Lajikkeiden hyväksymiseksi vaadittavat kokeet ja selvitykset eivät nopeudu. Päinvastoin, uusilla menetelmillä kehitetyiltä lajikkeilta säädäntö edellyttää merkittävästi laajempia tutkimuksia ennen hyväksymistä käyttöön kuin aiemmilta lajikkeilta (Bradford ym. 2005).

Geeniteknikan tutkimuksen yhtenä tavoitteena on tuottaa uusia tuotteita kuluttajan ja elinkeinon tarpeisiin. Tutkimuksen avulla varmistetaan myös muuntogeenisten tuotteiden turvallisuus niin ihmisten kuin ympäristön kannalta.

Maataloudessa geeniteknikan odotetaan lisäävän kasvien ja eläinten tuottavuutta ja kestävyyttä erilaisia tauteja ja ympäristörasituksia vastaan. Uusi tekniikka antaa mahdollisuuksia myös elintarvikkeiden ja rehujen ravitsemuksellisen laadun parantamiseen esimerkiksi luontaisia haitta-aineita vähentämällä (OECD 2001-2005). Elintarvikkeiden ravitsemuksellista koostumusta voidaan parantaa geeniteknikan avulla, esimerkiksi muuttamalla rasvahappojen koostumusta tai lisäämällä vitamiineja (Bouis 2003). Esimerkkinä kansainvälisestä yhteistyöstä tällä alueella on maailman riisintutkimuskeskukselle (IRRI) lahjoitettu A-vitamiinipitoinen riisi, joka voi parantaa vastustuskykyä tartuntataudeille ja estää pikkulasten sokeutumista kehitysmaissa (EU 1999, Paine ym. 2005). Muuntogeenisiä kasveja ja eläimiä on mahdollista käyttää myös lääkeaineiden ja rokotteen tuottamiseen (Rowlandson & Tackaberry 2003, Oksman-Caldentey & Inze 2004, Oksman-Caldentey & Saito 2005).

### ***Kasvinjalostuksen kehitys***

Geenien rakennetta muuttavat kosmisen taustasäteilyn, luonnon radioaktiivisten aineiden, virusten, mutageenisten kemikaalien, transposonien ja solun toimintavirheiden aiheuttamat luontaiset mutaatiot. Tämän tuloksena populaatioissa esiintyy geneettistä vaihtelua, joka toimii evoluution raken-

<sup>1</sup> Geeniteknikka on "joukko menetelmiä, joiden avulla eristetään, analysoidaan ja siirretään geenejä molekyylitasolla". (Tirri ym. 2001)

<sup>2</sup> EY-säädännössä (direktiivi 2001/18/EY) on käytössä luetteloihin pohjaava, verrattain vaikeasti avautuva lakitekkinen määritelmä (ks. 1.7. Gm-organismeja ja muuntogeenisiä tuotteita koskevat säädökset, *Muuntogeenisten organismien levittäminen ympäristöön*). Tämän määritelmän mukaan myös "perinteisellä" mutaatiojalostuksella tuotetut tuhannet kasvilajikkeet ovat 'muuntogeenisiä' (esimerkiksi pääosa moderneista, lyhytkortisista viljalajikkeista, vihannespaprika sekä erukahapoton rypsi ja rapsi). Mutaatiojalostuksen avulla saadut lajikkeet eivät kuitenkaan kuulu direktiivin 2001/18/EY soveltamisalaan.

<sup>3</sup> Tuodaan vain kyseinen geeni, eristettynä, eikä sen mukana myös tuhansia muita sukulaislajin geenejä, kuten risteytettäessä tapahtuu.

nusaineena. Kasvinjalostus on ihmisen ohjaamaa evoluutiota - kasvin perinnöllisten ominaisuuksien muuttamista ihmisen toivomaan suuntaan (OECD 2000). Jalostajan työn onnistumiseksi on jalostusaineistoissa oltava riittävästi geneettistä vaihtelua niissä ominaisuuksissa, joita halutaan parantaa.

Viljelykasveja alettiin kehittää valintajalostuksella 11 000 vuotta sitten. Siinä jälkeläisistä valitaan jatkoon aina ominaisuuksiltaan sopivimmat yksilöt. Perinteisessä jalostuksessa koetetaan tarjolla olevien, satunnaisten mutaatioiden kirjosta löytää valmiina uusia geenimuotoja (alleeleita), jotka olisivat ihmisen käyttötarkoitusten kannalta edullisempia kuin aiemmin käyttöön otetut mutaatiot. Menetelmä riittää jalostuksen alkuvaiheissa, mutta sen teho heikkenee vaihtelun vähentyessä. Vasta 300 vuoden ajan on osattu koota edullisia ominaisuuksia samaan kasviyksilöön risteyttämällä (risteytysjalostus).

Perusteet genetiikan ymmärtämiseen loi 140 vuotta sitten munkki Mendel Brnossa (nykyisessä Slovakiassa). Valintajalostuksessa seulotaan kasvin luontaista mutanttivarastoa. Se on kuitenkin usein liian suppea ja hyödylliset geenimuodot liian harvinaisia, jotta niitä osuisi jalostajan haaviin. Mutaatiojalostuksessa kasveja käsitellään siksi mutaatioita aiheuttavilla kemikaaleilla tai perimää rikkovilla säteilylajeilla, jolloin mutaatioita syntyy joitakin kertaluokkia taajemmin kuin luonnossa. Mutaatiojalostuksella on ikää 60 ja geenitekniikalla 32 vuotta. Kasvinjalostuksessa geenitekniikkaa on sovellettu 22 vuoden ajan.

Jalostuksen tuloksena kasvit soveltuvat paremmin viljeltäviksi ja ihmisten tai eläinten ravinnoksi. Satotaso on noussut jopa 10 - 30-kertaiseksi, mistä puolet katsotaan jalostuksen, puolet parempien viljelymenetelmien ansioksi. Maissin villillä kantamuodolla, teosintilla, tähkät olivat yhden jyvärivin paksuisia ja puolen sormen mittaisia. Villiohnan tähkä katkeili ja jyvät varisivat maahan. Villiperuna oli liian myrkyllinen syötäväksi, ja villiporkkana oli laiha, kalpea ja paiseva. Luontaisen rypsiöljyn sisältämä nisäkkäille vahingollinen erukahappo poistettiin mutaatiojalostuksella vasta 1960-luvulla.



#### **Kuva 6. Miten porkkana on kehittynyt.**

Kuvassa jalostettu ja villi porkkana ja retiisi. Muutamassa vuosituhatvuotessa villiporkkanan juurakoista jalostettiin paksuja, pitkiä, lyhyitä, pulleita, valkoisia, keltaisia, punaisia, syvän punasinerviä, jopa mustia. Oranssi<sup>4</sup> karoteeni-porkkana on ”uuselintarvike” 1500-luvulta. Jalostajat kehittivät tuolloin Hollannissa neljä oranssia lajiketta, joista nykyporkkanat polveutuvat.

Perinteiset mutaatiot ovat satunnaisia, ja yhtä toivottua muutosta kohti syntyy aina satojatuhansia ei-toivottuja muutoksia. Geenitekniikan käytön tavoitteena on ollut saada muutoksia aikaan hallitummilla menetelmillä. Geenin toivottu muoto voidaan rakentaa kasvin ulkopuolella erikseen (luontaisten<sup>5</sup>, perimäaineen muokkaukseen tarkoitettujen entsyymien avulla). Edullisia geeni-

<sup>4</sup> Hollannin kuningashuoneen väri

<sup>5</sup> Nämä perimäainetta muokkaavat entsyymit on useimmiten löydetty mikrobeista, ja niitä on laboratoriokäyttöä varten parannettu edelleen

muotoja voidaan usein myös löytää kasvin villeistä sukulaislajeista. Valmis geeni voidaan sitten nykytekniikan avulla viedä puhtaana kasvin perimään.

### ***Uusi geenimuoto lisätään kasviin***

Kun kasveja jalostetaan geenitekniikan avulla, tulos poikkeaa vanhasta jalostuksesta siinä, että kasvin entistä geenimuotoa ei voida vielä kuin poikkeustapauksessa korvata jalostetulla geenimuodolla, vaan haluttu geenimuoto on *lisättävä* kasvin perimään. Vanha geenimuoto jää tällöin yleensä toimimaan uuden kanssa rinnakkain. Tosin myös perinteisessä jalostuksessa samassa kasviyksilössä toimii monesti useita saman geenin eri muotoja yhtäaikaan (heterotsygotia, polyploidia, geeniperheet), mutta risteytyksien avulla kasvin entinen geenimuoto voidaan kuitenkin usein korvata uudella kokonaan (jos halutaan).

Uusi geenimuoto pystytään joskus kasveillakin sijoittamaan vanhan geenimuodon tilalle kromosomissa. Tämä onnistuu, kun jalostettava geenimuoto viedään soluun rna-dna-hybridimolekyylinä (Hanin & Paszkowski 2003). Tällainen tietyn geenin ohjattu muuttaminen eli ”geenispesifinen mutageneesi” tai ”homologinen rekombinaatio” toimii kuitenkin kasveilla toistaiseksi vain harvinaisissa erikoistapauksissa, eikä menetelmä ole vielä valmis yleiseen käyttöön. Mikrobeilla geenin muuttaminen yhden dna-emäksen tarkkuudella on ollut käytössä jo kauan. Kasveilla tässä kysymyksessä toivotaan edistyttävän lähivuosina, kun opitaan tuntemaan tätä perinnöllistä ilmiötä sääteleviä kasvin luontaisia geenejä<sup>6</sup>.

Keskustelua herättäneitä jalostuksen kysymyksiä on käsitelty hieman laajemmin liitteessä A.

### ***Muuntogeenisillä tuotteilla on ennakkohyväksymismenettely***

Geenitekniikan hyödyntäminen maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalaan kuuluvilla aloilla on tällä hetkellä yksi kaikkein tarkimmin säädeltyjä toimintoja, ja muuntogeenisiä tuotteita koskeva keskeinen EY-lainsäädäntö on saatu vuonna 2004 uudistetuksi. Yhteisön geenitekniikkasäädösten mukaan gm-organismien on ennen markkinoille pääsyä läpäistävä yksityiskohtainen hyväksymismenettely, jossa myös niiden terveys- ja ympäristövaikutukset arvioidaan tapauskohtaisesti. Päätöksenteossa otetaan huomioon tieteellinen turvallisuusarviointi, ennalta varautuminen ja eettiset seikat sekä annetaan määräyksiä mahdollisesti tarvittavista riskinhallintatoimenpiteistä. Lainsäädännön tarkoituksena on huolehtia siitä, että muuntogeenisten tuotteiden tuotantoketjut ovat ihmisten, eläinten ja ympäristön kannalta turvallisia (Codex Alimentarius 2003a,b, Conner ym. 2003a,b, Cockburn ym. 2004).

### ***Tutkimusta ja käyttöä valvotaan***

Markkinoille hyväksytyt muuntogeeniset tuotteet on merkitty, niitä valvotaan ja käyttöä seurataan. Myös muuntogeenisestä raaka-aineesta valmistetut elintarvikkeet ja rehut sisältävät merkinnän geenitekniikan käytöstä. Geenitekniikan lautakunta valvoo kaikkea Suomessa tehtävää geenitekniikan tutkimusta. Geenitekniikkalain (377/1995, viimeisin muutos 847/2004) mukaisia valvontaviranomaisia ovat Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskus (STTV), Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK).

STTV ylläpitää geenitekniikan rekisteriä, valvoo gm-organismien käyttöä suljetussa tilassa sekä terveystieteissä muuntogeenisten organismien tarkoituksellista levittämistä ympäristöön.

<sup>6</sup> Uusimpien tutkimusten mukaan kasveilla saattaa olla käytössään oma luontainen järjestelmä, jonka avulla ne pystyvät siirtämään kromosomeihinsa perinnöllistä tietoa muista lähteistä (Lolle ym. 2005).

SYKE valvoo gm-organismien tarkoituksellista levittämistä ympäristöön ympäristökysymyksissä ja KTTK maa- ja metsätalouden alalla.

### ***Geenitekniikkaa tulee hyödyntää hallitusti***

Jotta uusia geenitekniisiä menetelmiä käytettäisiin hallitusti, turvallisesti ja eettisesti kestävästi, maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalalle laadittiin geenitekniikkastrategia, joka valmistui syksyllä 2003. Se pohjautui vuonna 2000 valmistuneeseen maatalouden bio- ja geenitekniikkastrategiaan, jota kehitettiin edelleen työryhmätyönä vuosina 2001 - 2003. Valmistelussa olivat laajasti mukana Suomen tiede- ja kansalaisjärjestöt. Strategiassa on linjattu keskeiset periaatteet geenitekniikan käytölle luonnonvara-alalla (MMM 2003). Tällä hetkellä suuri osa strategian keskeisistä periaatteista sisältyy jo EU:n uudistettuun lainsäädäntöön ja kansallisiin säädöksiin.

Strategian lähtökohtana on, että maatalouden eri tuotantomuodot on pidettävä elinvoimaisina, luonnonvaroja on käytettävä kestävästi, tuotteiden on oltava turvallisia ja korkealaatuisia ja geenitekniikkaan liittyvän toiminnan avointa ja tehokkaasti valvottua. Muuntogeenisten kasvien hallitsematon leviäminen luontoon ja siitä mahdollisesti seuraavat ekologiset haitat on estettävä. Geenitekniikan soveltamisessa tulee ottaa huomioon suomalaisen maatalouden ja luonnon erityispiirteet. Asiakkaan tiedonsaannin ja valinnanmahdollisuuksien varmistamiseksi muuntogeeniset organismit ja sellaisista valmistetut tuotteet on merkittävä asianmukaisesti. Tuotteen alkuperän, tuotantotavan, koostumuksen ja laadun osoittamiseksi tuotantoketjujen tulee olla avoimia ja jäljitettävissä. Geenitekniikasta on myös tiedotettava riittävästi.

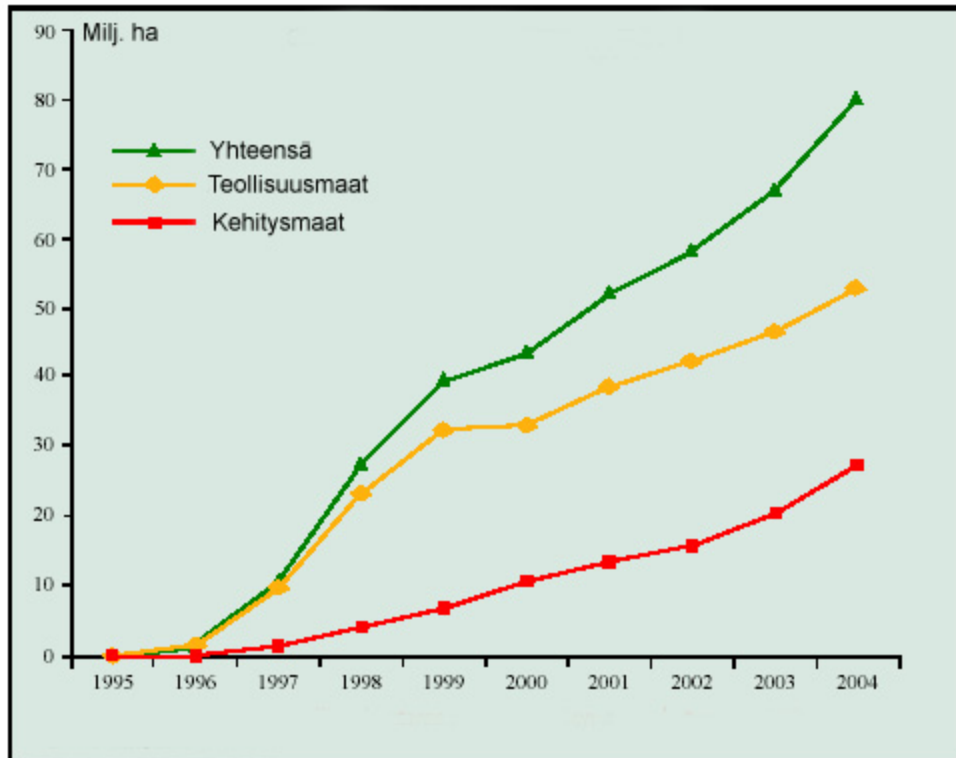
EU:ssa on myös hyväksytty strategia edistämään bio- ja geenitekniikan tutkimusta sekä sen hyödyllisten sovellusten saamista käyttöön yhteisössä (EU 2002, 2003a).

### ***Viljely***

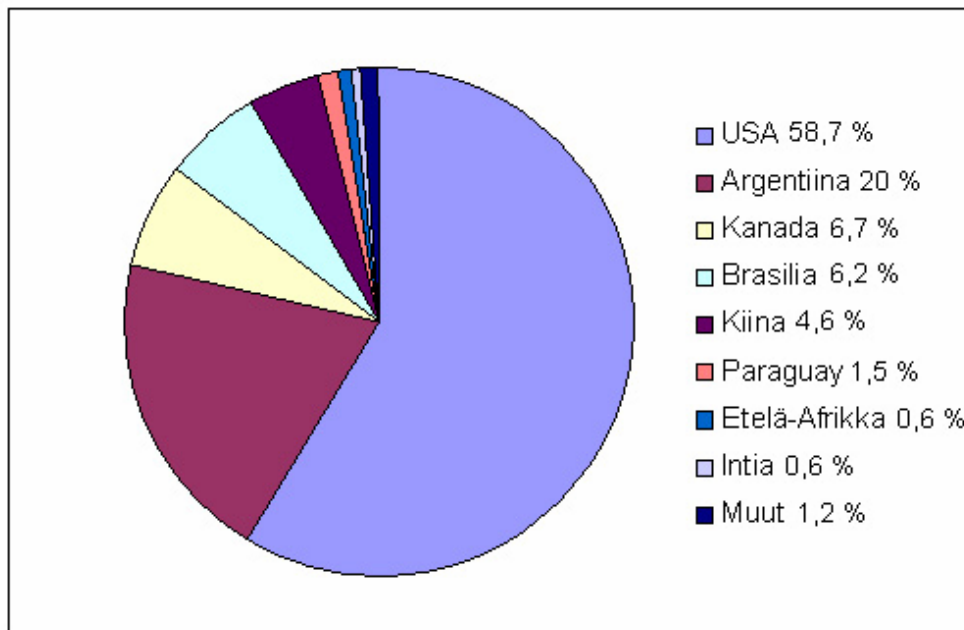
Geenitekniikan avulla jalostettuja ominaisuuksia on laajassa viljelykäytössä vasta muutamia, kuten kestävyys eräitä tuhohyönteisiä (puuvillayökkönen, maissikoisa, maissin juurikuoriainen, kolordonkuoriainen) tai herbisidejä (glyfosaatti, glufosinaattiammonium) vastaan. Viruskestäviä kasveja on käytössä vasta vähän (papaija, meloni) mutta monia on kehitteillä, samoin kuin sieni- tai bakteeritaudeille vastustuskykyisiä kasvilajikkeita kuten rutonkestävä peruna (Song ym. 2003) tai tulipolteenkestävä omena (Liu ym. 2001, Norelli ym. 2003). Kehitysmaiden ruokaturvaa voitaisiin parantaa uusilla jalostusominaisuuksilla, mutta niiden kehittämiseen ja käyttöön jalostuksessa ei ole julkisella tutkimussektorilla vielä panostettu riittävästi (Gressel ym. 2004). Muuntogeenisten lajikkeiden viljelyalat kasvavat maailmassa nykyisin noin 20 prosenttia vuodessa (kuva 7, taulukko 6). Kehitysmaiden osuus viljelyalasta on myös kasvussa (kuvat 7 ja 8). Gm-lajikkeita kasvatetaan 8,25 miljoonaa viljelijää, joista 90 prosenttia on kehitysmaiden pienviljelijöitä (James 2004).

**Taulukko 6. Gm-lajikkeiden osuus lajin viljelyalasta maailmassa vuonna 2004 tärkeimmillä muuntogeenisillä viljelykasvilajeilla (James 2004).**

Kasvilaji	Lajin viljelyala maailmassa [Mha]	Muuntogeenisten lajikkeiden viljelyala		
		Ala [Mha]	Osuus lajin kokonaisalasta	
			v. 2004	v. 2003
Soija	86	48,2	56 %	55 %
Puuvilla	32	9,0	28 %	21 %
Rapsi	23	4,4	19 %	16 %
Maissi	140	19,3	14 %	11 %



**Kuva 7. Gm-kasvien viljelyalan kehitys maailmanlaajuisesti (James 2004).**



**Kuva 8. Muuntogeenisten kasvien viljelyn kärkimaat (osuus gm-lajikkeiden kokonaisalasta maailmassa) vuonna 2004. Gm-lajikkeita viljeltiin 17 maassa. (James 2004)**

EU:ssa on hyväksytty markkinoille muuntogeenisiä maissi-, soija- ja rapsituotteita sekä elintarviketta rehukäyttöön (ks. 1.7. Gm-organismeja ja muuntogeenisiä tuotteita koskevat säädökset, *Muuntogeenisten tuotteiden hyväksyminen EU:ssa*). EU:ssa tuotantoon hyväksytyt muuntogeeniset viljelykasvit eivät useimmiten sovellu viljelyyn meillä ilman jatkojalostusta (MMM 2004).

EU:n vähäinen osuus tilastoissa selittyy osaksi sillä, että yhteisössä ei vuosina 1998 - 2003 hyväksytty uusia gm-organismeja markkinoitavaksi vaan odotettiin lainsäädännön uudistamista.

Suomessa ensimmäisiä viljeltäviä gm-lajikkeita saattaisivat olla teollisuusperunat. Ruotsalaisilla on EU:ssa vireillä hakemus ns. amylopektiiniperunan hyväksymisestä viljelyyn. Tällä perunalla tärkeys koostuu valtaosin amylopektiinistä (amyloosifraktion tuotanto on vaimennettu). Kasvatus soveltuisi myös maahamme. Suomessa Boreal Kasvinjalostus kehittää muuntogeenistä tärkkelysperunaa hienopaperin pinnoitukseen. Tavoitteena on Suomen oloihin sopeutunut aikainen perunajalostus, jossa tärkkelyspitoisuutta saataisiin nostetuksi nykyisestä 17 prosentista 20 – 21 prosenttiin, mikä parantaa tuottavuutta tärkkelystuotannossa. Tutkimus on kenttäkoevaiheessa, ja markkinoille lajike voisi tulla vuoden 2010 tienoilla. Muuntogeeniset juurikkaat tai rapsi voivat myös tulla viljelyyn Suomessa, mikäli niille saadaan viljelylupia EU:ssa. On kuitenkin epävarmaa, olisiko niistä saatavissa valmiina Suomen oloihin soveltuvia lajikkeita. Kaupallisen gm-lajikkeen tuottaminen sokerijuurikkaan viljelyyn Suomessa veisi aikaa 2 - 5 vuotta.

## 1.6. Siitepölyn kulkeutuminen, hedelmöitys ja geenivirta

Viljeltäessä rinnakkain saman kasvilajin eri lajikkeita niiden välillä tapahtuu yleensä luontaista geenivirtaa varsinkin siitepölyn mukana. Osa satosiemenistä syntyy toiselta viljelmältä saapuneen siitepölyn hedelmöittämänä. Tällaisten siementen osuus riippuu muun muassa viljelmien välisestä etäisyydestä ja kasvin pölytysjärjestelmästä (onko laji itse- vai ristisiittoinen). Rinnakkaiselon tavoitteiden toteutumiseksi on siitepölyn kautta tapahtuvaa geenivirtaa arvioitava määrällisesti.

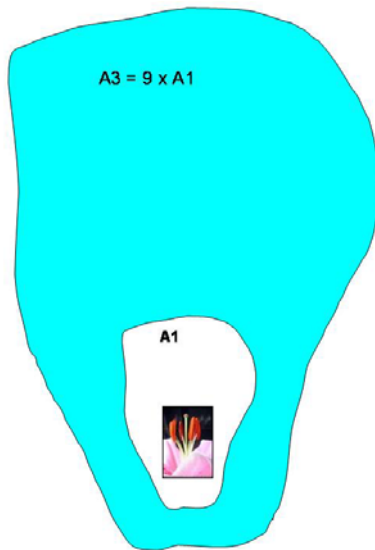
Kasvinjalostuksessa on saatu pitkäaikaista kokemusta, jonka perusteella on päätetty eristys- ja etäisyys- ja kylvösiementen tuotannossa riittävän lajikepuhtauden saavuttamiseksi.

Siemenet muodostuvat useimmilla kasvilajeilla suvullisesti eli pölytyksen ja hedelmöityksen seurauksena. Joissakin kasviryhmissä, kuten sitrushedelmillä ja monilla luonnon heinäkasveilla, voi siemeniä muodostua usein (tai pääasiassa) myös suvuttomasti (apomiktisesti); tällöin siemenistä kasvaa emokasvin geneettisiä kopioita.

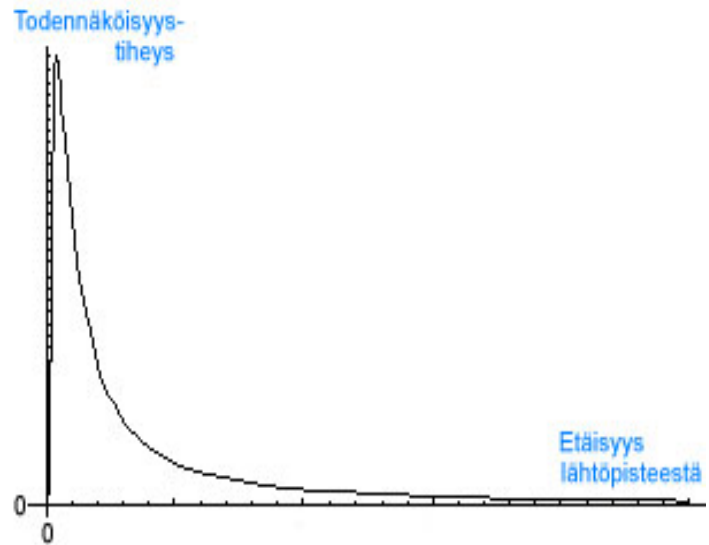
Suomalaisilla viljelykasveilla siitepöly kulkeutuu kukasta toiseen joko tuulen tai hyönteisten välityksellä. Tuulipölytteisiä ovat viljat, rehuheinät ja juurikkaat sekä osaksi rypsi ja rapsi; hyönteispölytteisiä taas ovat monet näyttävästi kukkivat kasvilajit, kuten marja- ja hedelmäkasvit, porkkana, auringonkukka, sekä osaksi rypsi, rapsi ja peruna, joka on medetön eikä houkuttele pölyttäjiä.

Siitepölyn kulkeutuminen vähenee keskimäärin nopeasti etäisyyden kasvaessa lähtökasvista tai -ruudusta. Lisäksi vain pieni osa kulkeutuneesta pölystä osallistuu hedelmöitykseen, joten hedelmöitystaajuus vähenee vieläkin nopeammin etäisyyden kasvaessa.





**Kuva 9. Leviämisalueen läpimitan kasvaessa** kolminkertaiseksi vähenee kukasta lähteneen siitepölyn keskimääräinen pitoisuus pinta-alayksikköä kohti yhdeksäsosaan (eli "halkaisijan neliössä").



**Kuva 10. Esimerkki leptokurtisesta** eli "huipukkaasta" tiheysjakautumasta. Huippu on korkea, eli pääosa jakautuman todennäköisyysmassasta on tiukasti keskittynyt. "Hännät" taas ovat matalat, eli niissä on vähän todennäköisyysmassaa. Kuva: Anna Kuparinen 2005.

Vähennemisessä eräänä perustana on samanmuotoisten kuvioiden geometria (kuva 9). Jos lähtökukasta pöly leviäisi tasaisesti sitä ympäröivälle alueelle, niin leviämisalueen pinta-alan kasvaessa lähtökukan pölyn keskimääräinen pitoisuus sen pinnalla pienenesi samassa suhteessa. Jos siis leviämisalueen läpimitta kasvaa kymmenkertaiseksi, niin kukasta lähteneen siitepölyn keskimääräinen pitoisuus neliometriä kohti alueella vähenee sadasosaan.

Todellisuudessa siitepöly ei jakaudu tasaisesti leviämisalueelle vaan vähenee huomattavasti nopeammin, negatiivis-eksponentiaalisen tai ns. leptokurtisen mallin mukaan (kuva 10). Tällaisessa "huipukkaassa" leviämistavassa suuri valtaosa pölystä jää aivan lähelle tai poistuu muuten pölytysprosessista matkan varrella. Vain hyvin pieni osa pölystä kulkeutuu kauemmas, mutta toisaalta jakautuman "hännissä" väheneminen on jo hitaampaa.

Rinnakkaiselon kannalta ei jakautuman vähäisellä loppuhännällä (kaukokulkeutumalla) ole suurta merkitystä, sillä se aiheuttaa vain määrällisesti vähäistä sekoittumista. Avainasemassa EY-säädännön mukaisten kynnsarvojen alla pysymisen kannalta ovat suhteellisen lyhyet etäisyydet.

Edellä esitetyt tarkastelut kuvaavat tilastollista pääsääntöä. Siitepölyä voi kuitenkin levitä hyvin pieninä pitoisuuksina satunnaisesti kauemmaksikin, etenkin jos pyörteet kohottavat sitä ylemmäksi eikä tuulen suunta satu vaihtelemaan kukkimiskaudella.

Siitepölyn hedelmöittämissäkyky laskee luonnossa kulkeutumisen kuluessa. Heikentävinä tekijöinä voivat toimia esimerkiksi ultraviolettisäteily sekä kuivuus tai liiallinen kosteus. Kasvilajista ja oloista riippuen tämä vähentää kauas kulkeutuneen pölyn menestymistä kilpailussa hedelmöityksistä tuoreen lähipölyn kanssa.

Vähäinen kaukokulkeutuma joutuu perillä kovaan kilpailuun määrällisesti ylivoimaisen (ja elinvoimaisemman) siitepölymassan tai -pilven kanssa, jonka vastaanottava kasvipopulaatio on itse tuottanut. Ristisiittoisella rönsyröllillä paikallisen siitepölyn kilpailu pienensi kaukopölyn tuottamien siementen osuuden sadasosaan verrattuna tilanteeseen, jossa paikallinen siitepöly oli koejärjestelyillä eliminoitu (Watrud ym. 2004). Hyönteispölytteisellä rapsilla kaukopölyn tuottamien siementen osuus pieneni alle kymmenesosaan, kun sitä mitattiin normaaleilla, siitepölyä tuottavilla vastaanottajakasveilla (hedesteriilien koekasvien sijasta) (Ramsay ym. 2003). Etulyöntiasema korostuu suljetusti kukkivilla, itsesiittoisilla kasveilla, joilla oma pöly irtoaa heteistä usein jo ennen kukkien aukeamista. Kukkien avautuessa ne ovat siis yleensä jo ehtineet pölyttyä.

Muun muassa näistä syistä geenivirta on todellisuudessa osoittautunut paljon vähäisemmäksi kuin siitepölyn kulkeutumisesta koskevista primäärihavainnoista on osattu päätellä (kuva 12, Tonsor 1985). Geenivirran voimakkuutta mitataankin nykyisin todellisista hedelmöitystuloksista eli määrittämällä kaukokulkeutuneiden geenien esiintymistäajuus siemenissä, joita vastaanottaviin koekasveihin muodostuu (Ritala ym. 2002).

### ***Hyönteispölytys***

Hyönteispölytyksessä siitepöly kulkeutuu pölyttäjän karvoituksessa vastaanottavan kukan luotille. Kasvin kukkarakenne on yleensä sopeutunut tiettyjen pölyttäjien toimintatapaan. Viljelykasveilla tärkeimmät pölyttäjähönteiset ovat yleensä mesipistiäisiä, mutta joskus kärpäsilläkin on merkitystä.

Pölytystulokseen vaikuttavat mehiläisyhteiskuntien vahvuus, etäisyys pesistä kasvustoille ja pesien sijoitus, mehiläisyhteiskuntien siirtoajankohta sekä mehiläisten ohjaus kasvustolle. Mitä suurempi mehiläisyhteiskunta on, sitä enemmän on kenttämehiläisiä. Voimakkaat mehiläisyhteiskunnat myös lentävät viileämmällä säällä kuin heikot kunnat.

Kimalaiset lentävät pölytystehtävissä myös huomattavasti viileämmällä säällä kuin mehiläiset. Toisaalta ne vaihtavat melko herkästi kasvilajia samankin pölytysretken aikana, mikä voi vähentää hedelmöitystulosta.

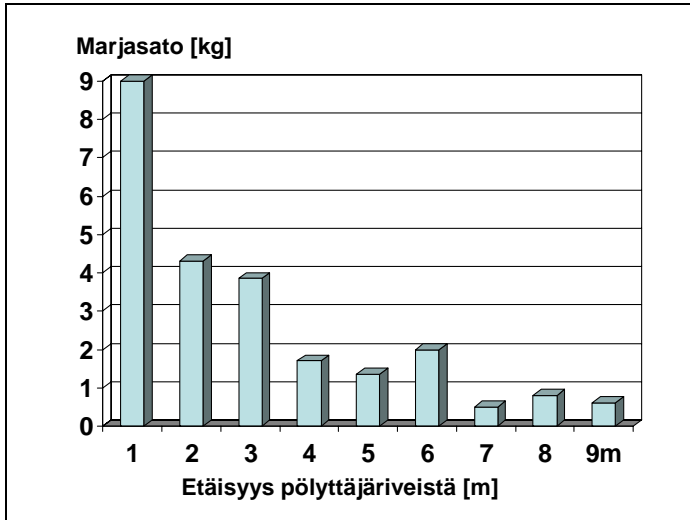
Mehiläiset ovat kimalaisia kukkauskollisempia ja pysyttelevät usein samalla, hyvin kukkivalla kasvilajilla kerrallaan. Mehiläiset voivat vieraila useankin kilometrin etäisyydellä olevilla kasvustoilla, kun niillä on puutetta ravinnosta, mutta suotuisissa oloissa vain harvat mehiläiset lentävät kauemaksi kuin 1 000 metrin päästä pesästä. Etäisyyden kasvaessa pesästä myös mehiläismäärä pinta-alayksikköä kohden laskee. Niinpä myös pölytystulos on sitä huonompi, mitä kauempana mehiläisyhteiskunnat ovat kasvustosta. Paras pölytystulos saadaan, jos pesät sijaitsevat viljelyksillä ja siten, että kasvustot sijaitsevat alle 100 metrin etäisyydellä mehiläisyhteiskunnista. (Hämäläinen ym. 1983).

EU:n komissio on esittänyt kantanaan, että siitepöly on hunajassa tahattomana epäpuhtautena ja sen määrä on alle 0,5 prosenttia. Siitepölyssä mahdollisesti mukana olevaa vierasta gm-siitepölyä on niin pieni määrä, että sitä ei voida vaatia merkittäväksi minkään säännöksen nojalla. Siitepöly ei myöskään ole hunajan ainesosa, koska hunaja on ”single food”, joten erillistä hyväksymistä ko. hunajalle ei voida vaatia.

Mesipistiäiset kampaavat siitepölyä turkistaan jalkojensa kuljetusvasuihin. Niissä siitepöly kulkeutuu pesään ravinnoksi eikä osallistu hedelmöitykseen. Osa pölystä varisee tai kuluu varsin nopeasti

pois kukkavierailujen myötä (kuva 11). Siitepölyn hedelmöittämiskyky myös laskee ajan ja lentomatkan mukana, jolloin hedelmöitystulos vastaavasti heikkenee.

Viljelyksen reunaan jätettävillä suojariveillä voidaankin tarvittaessa vähentää vieraan pölyn kulkeutumista viljelykselle naapuripelloilta.



**Kuva 11. Sato vähenee nopeasti** itsesteriilillä hyönteispölytteisellä kasvilla (mesimarja), kun etäisyys pölyttäjäriveistä kasvaa (Ryynänen 1973). Itsefertiileillä lajeilla geenivirta jäisi pienemmäksi, sillä niillä oman kasvuston pöly valtaa pääosan hedelmöityksistä.

### *Tuulipölytys*

Siitepölyn leviäminen riippuu sekä seudun ulkoisista oloista että kasvin ominaisuuksista. Tuulen nopeudet ovat Suomessa (varsinkin sisämaassa) selvästi pienempiä kuin Tanskassa tai Englannissa<sup>7</sup>. Meillä myös usein metsäalueet vähentävät siitepölyn kulkeutumista pelloilta toiselle.

Tuulipölytteisillä lajeilla osa pölystä vajoaa maahan tai tarttuu kasvillisuuteen. Esimerkiksi maissin siitepöly on raskasta ja vajoaa pääosin alas jo muutaman metrin säteellä, kun taas röllin siitepölyä saattaa levitä suhteellisesti suuremmassa mitassa myös kauemmas (Watrud ym. 2004).

**Taulukko 7. Siitepölyhiukkasten koko heinäkasveilla.** (Nilsson ym. 1977, Lewis ym. 1983, Faegri & Iversen 1989)

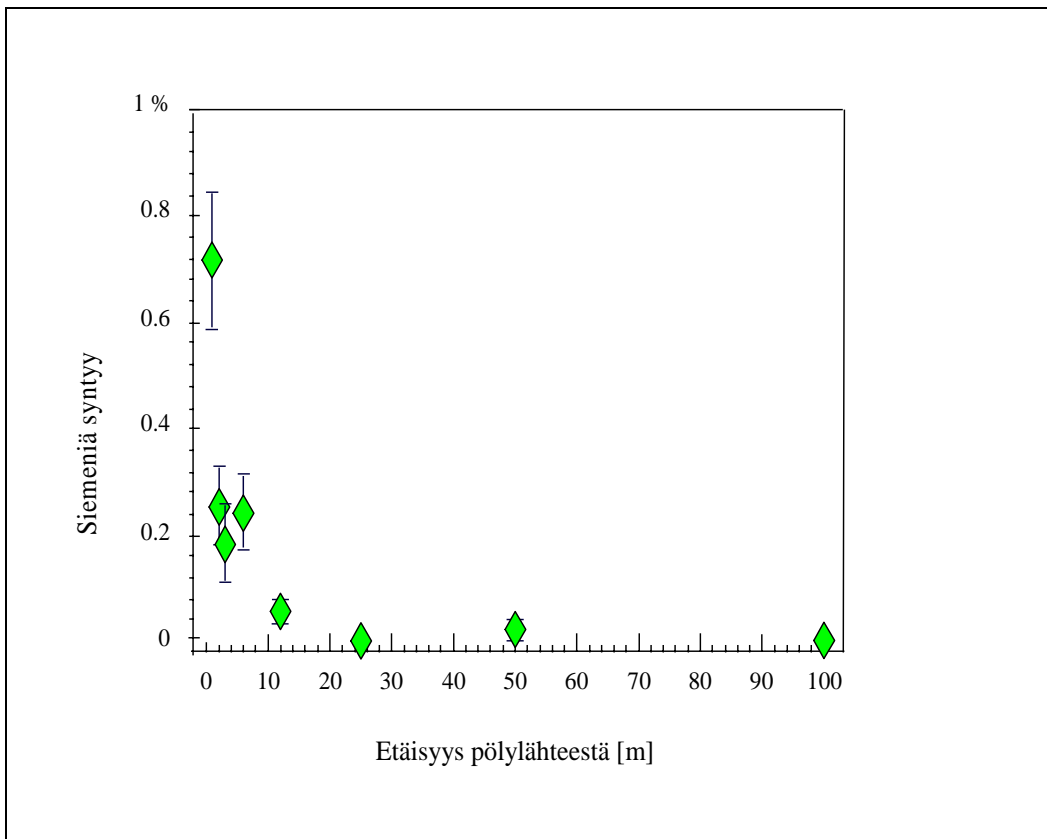
	Siitepölyhiukkasen suurin halkaisija [ $\mu\text{m}$ ]
Rölli	22
Nurmipuntarpää	25 - 34
Koiranheinä	30 - 38
Italian raiheinä	30 - 42
Timotei	30
Kaura	48 - 54
Ohra	40 - 48
Ruis	47 - 65
Vehnä	45 - 60
Maissi	80 - 122

<sup>7</sup> Tämä vähentää siitepölyn kautta tapahtuvan geenivirran tilastollista määrää meillä.

Siitepölyn lento-ominaisuudet eivät kuitenkaan ole aivan suorassa suhteessa siitepölyhiukkasen kokoon, vaan ne riippuvat paremminkin hiukkasen tiheydestä.

Kukkimisen eriaikaisuus esimerkiksi rypsilä ja rapsilla tai saman kasvilajin syys- ja kevätmuodoilla voi minimoida tai estää geenien kulkeutumisen niiden välillä.

Itsesiittoisuus vähentää voimakkaasti geenivirtaa (kuva 12). Hedesteriili ristisiittoinen kasvilinja voi sitä vastoin hedelmöityä ainoastaan toisen kasvilinjan siitepölyllä, mikä lisää geenivirtaa. Jälkimmäinen tilanne voi tulla vastaan hybridilajikkeiden kylvösiementä tuotettaessa.



**Kuva 12. Ohralla geenivirta on erittäin vähäistä**, vaikka kokeessa vastaanottajana on hedesteriili, avoimesti kukkiva testiohra (Ritala ym. 2002). Tavanomaista ohraa viljeltäessä geenivirta pellolta toiselle on vielä kertaluokkaa tai kahta vähäisempää, sillä vastaanottavana kasvina on tavallista ohraa, joka on hedefertiiliä ja suljetusti kukkivaa tyyppiä. Ristipölytyksen tuloksena syntyy tällaisella ohralla siemenistä yleensäkin vain 2-10 prosenttia (Hammer 1975, 1977, Ritala ym. 2002, Jacot ym. 2004). Vastaanottavan pellon oma pöly on lisäksi ajoitukseltaan etulyöntiasemassa ja määrältään ylivoimainen, joten se syrjäyttää muualta kulkeutuvan siitepölyn kilpailussa hedelmöityksistä (Watrud ym. 2004).

## 1.7. Gm-organismeja ja muuntogeenisiä tuotteita koskevat säädökset

Geenimuuntelun käyttöä tutkimuksessa, laboratorioissa, teollisuuslaitoksissa, viljelyssä ja erilaisissa markkinoilla olevissa tuotteissa säädellään monissa Euroopan yhteisön säädöksissä.

### ***Muuntogeenisten organismien levittäminen ympäristöön***

Avoimen käytön direktiivi 2001/18/EY<sup>8</sup> säätelee muuntogeenisten organismien<sup>9</sup> levittämistä ympäristöön. Direktiivin B-osa kohdistuu pienimuotoisiin tutkimus- ja kehittämiskokeisiin (kenttäkokeet), ja siinä päätöksenteko on ensi sijassa kansallista. Direktiivin C-osa kohdistuu markkinoille saattamiseen tuotteina tai tuotteissa, ja siinä päätös tehdään EY-tasoisesti. C-osan mukaan tuote voidaan hylätä kaupallisesta viljelystä ainoastaan, jos se on todettu ihmisen terveydelle vaaralliseksi tai haitalliseksi ympäristölle.

Kun tuote on hyväksytty, sitä saa käyttää ja levittää koko yhteisön alueella. Direktiivin 23. artikla antaa varauksen, jonka mukaan hyväksytyt tuotteet voidaan määrääjäksi estää tietyssä

<sup>8</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/18/EY, annettu 12 päivänä maaliskuuta 2001, geneettisesti muunnettujen organismien tarkoituksellisesta levittämisestä ympäristöön ja neuvoston direktiivin 90/220/ETY kumoamisesta - Komission julistus muuttamisesta [EYVL L 106, 17.4.2001]

<sup>9</sup> Aiheeseen liittyvät lakitekniset määrittelyt annetaan ensi sijassa erilaisten luetteloiden ja poikkeusluetteloiden avulla (joita ei perustella biologisen riskinarvioinnin nojalla).

2 artikla Määritelmät. Tässä direktiivissä tarkoitetaan: 1) 'organismilla' biologista rakennetta, joka pystyy lisääntymään tai siirtämään perintöainesta; 2) 'geneettisesti muunnetulla organismilla (GMO)' ihmistä lukuun ottamatta organismeja, jonka perintöainesta on muutettu tavalla, joka ei toteudu luonnossa pariumin tuloksena ja/tai luonnollisena rekombinaationa. Näiden määritelmien mukaan

- a) geneettistä muuntumista tapahtuu ainakin käytettäessä liitteessä 1 A olevassa 1 osassa lueteltuja tekniikoita;
- b) liitteessä 1 A olevassa 2 osassa lueteltujen tekniikoiden ei katsota johtavan geneettiseen muuntumiseen.

3 artikla Poikkeukset. 1. Tätä direktiiviä ei sovelleta organismeihin, jotka valmistetaan liitteessä 1 B lueteltuja geneettisiä muuntamistekniikkoja käyttäen.

LIITE I A, 1 OSA. Direktiivin 2 artiklan 2 kohdan a alakohdassa tarkoitettuja geneettisiä muuntamistekniikoita ovat muun muassa seuraavat:

- 1) yhdistelmänukleiinihappotekniikat, joissa muodostetaan uusia perintöainesyhdistelmiä lisäämällä millä tahansa tavalla organismin ulkopuolella tuotettuja nukleiinihappomolekyylejä virukseen, bakteeriplasmidiin tai muuhun vektoriin siten, että ne voidaan viedä sellaiseen isäntäorganismiin, jossa ne eivät luonnollisesti esiinny, mutta jossa ne voivat lisääntyä jatkuvasti
- 2) tekniikat, joissa organismiin viedään suoraan organismin ulkopuolella valmistettua perintöainesta, mukaan lukien mikroinjektio, makroinjektio ja mikrokapselointi
- 3) solufuusio- tai hybridisaatiotekniikat (mukaan lukien protoplastifusio), joissa muodostetaan uusia perintöainesyhdistelmiä sisältäviä eläviä soluja fuusioimalla kaksi tai useampia soluja menetelmillä, jotka eivät esiinny luonnossa.

LIITE I A, 2 OSA. Direktiivin 2 artiklan 2 kohdan b alakohdassa tarkoitettuja tekniikoita, joiden ei katsota johtavan geneettiseen muuntumiseen, jos niissä ei käytetä yhdistelmänukleiinihappomolekyylejä tai geneettisesti muunnettuja organismeja, jotka on valmistettu muiden kuin liitteessä I B poissuljettujen tekniikoiden/metelmien avulla, ovat seuraavat:

- 1) koeputkihedelmoitus
- 2) luonnolliset prosessit, kuten konjugaatio, transduktio tai transformaatio
- 3) polyploidian aikaansaaminen.

LIITE I B. Direktiivin soveltamisalaan eivät kuulu seuraavat organismeja tuottavat geneettiset muuntamistekniikat/-menetelmät, jos niissä ei käytetä yhdistelmänukleiinihappomolekyylejä tai muita geneettisesti muunnettuja organismeja kuin sellaisia, jotka on valmistettu yhdellä tai useammalla seuraavista tekniikoista/metelmistä:

- 1) mutageneesi,
- 2) sellaisten organismien kasvisolujen solufusio (mukaan lukien protoplastifusio), jotka kykenevät vaihtamaan perintöainesta perinteisillä jalostusmenetelmillä.

jäsenvaltiossa, mikäli ilmenee uusia perusteita sen haitallisuudesta ihmisen terveydelle tai ympäristölle.

Direktiivin määräykset on pantu toimeen kansallisessa lainsäädännössä geenitekniikkalakiin (377/1995) tehdyllä muutoksella (847/2004), joka astui voimaan 15.9.2004.

### ***Muuntogeeniset elintarvikkeet ja rehut, merkintä ja jäljitettävyyys***

Gm-elintarvikkeita ja -rehuja koskevat yhteisön asetukset ovat:

- elintarvikkeita ja rehuja koskeva asetus (EY N:o 1829/2003<sup>10</sup>), sekä
  - gm-organismien jäljitettävyydestä ja merkinnöistä sekä gm-organismeista valmistettujen elintarvikkeiden ja rehujen jäljitettävyydestä annettu asetus (EY N:o 1830/2003<sup>11</sup>).
- Asetuksia alettiin soveltaa 18.4.2004.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1829/2003 tarkoituksena on taata (gm-elintarvikkeiden ja -rehujen osalta) ihmisten, elämän ja terveyden, eläinten terveyden ja hyvinvoinnin, ympäristön sekä kuluttajien etujen korkeatasoinen suojeleminen sekä samalla varmistaa sisämarkkinoiden tehokas toiminta. Asetuksessa säädetään yhteisön menettelyistä myönnettäessä lupia muuntogeenisille elintarvikkeille ja rehuille sekä annetaan määräykset gm-elintarvikkeiden ja -rehujen valvonnasta ja merkinnöistä.

Asetusten mukaan muuntogeenisistä organismeista koostuvat, niitä sisältävät tai niistä valmistetut tuotteet (tässä tapauksessa elintarvikkeet tai rehut) on selkeästi merkittävä. Asetuksen 1830/2003 mukaisesti gmo-tuotteet on voitava jäljittää kaikissa elintarvikeketjun vaiheissa. Tämä katsotaan tärkeäksi, jotta tuotteiden käyttäjillä on valinnan vapaus ja jotta luottamus tuotteisiin voidaan saavuttaa.

Muuntogeenisiä organismeja sisältävät tai niistä valmistetut elintarvikkeet tuli ennen merkitä, mikäli tuotteessa esiintyi muuntunutta dna:ta tai muuntuneita proteiineja. Uudistuksessa merkintävelvollisuus laajeni a) koskemaan sekä rehuja että rehu- ja elintarvikelisiä aineita ja b) velvoitteeseen merkitä kaikki sellaiset elintarvikkeet ja rehut, joissa on gm-organismeista saatuja ainesosia - riippumatta siitä onko geenitekniikka vaikuttanut näiden ainesosien ominaisuuksiin tai tuotteen koostumukseen (taulukko 8).

Esimerkiksi muuntogeenisestä rapsista valmistettu öljy tulee nyt voimassa olevien säädösten mukaan merkitä, vaikka sen kemiallinen koostumus ei eroa tavanomaisesta eikä siinä ole analysoitavissa olevia merkkejä muuntamisesta. Merkintävelvoite ei kuitenkaan koske muuntogeenisten mikrobien avulla tuotettuja fermentaatiotuotteita, kuten lisäaineita, aromeja tai vitamiineja, mikäli tuotteessa ei ole mukana muuntogeenistä mikrobia (taulukko 8).

Jotta käytäntö olisi eri jäsenmaissa yhdenmukaista, yksityiskohtaisista tulkinnoista haetaan ratkaisuja komission pysyvän komitean gmo-jaostossa. Taulukkoon 8 on koottu esimerkkejä siitä, miten merkintävelvoitetta tulkitaan tänä päivänä.

<sup>10</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1829/2003, annettu 22 päivänä syyskuuta 2003, muuntogeenisistä elintarvikkeista ja rehuista (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti) [EYVL L 268, 18.10.2003]

<sup>11</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1830/2003, annettu 22 päivänä syyskuuta 2003, muuntogeenisten organismien jäljitettävyydestä ja merkitsemisestä ja muuntogeenisistä organismeista valmistettujen elintarvikkeiden ja rehujen jäljitettävyydestä sekä direktiivin 2001/18/EY muuttamisesta [EYVL L 268, 18.10.2003]

Asetus 1829/2003 määrittelee myös ne tahattoman esiintymisen rajat eli kynnsarvot, joiden ylittyessä tuote on merkittävä muuntogeenistä ainesta sisältäväksi. Kynnsarvona on 0,9 prosenttia sellaiselle ainesosalle, joka on hyväksytty yhteisön alueella markkinoitavaksi, ja 0,5 prosenttia sellaiselle ainesosalle, jota ei ole vielä hyväksytty yhteisössä markkinoille, mutta joka on läpäissyt turvallisuutta koskevan tieteellisen arvioinnin EU:ssa. Uudet säännökset edellyttävät, että rehut merkitään samoilla periaatteilla kuin elintarvikkeet. Nämä kynnsarvot koskevat ainakin toistaiseksi myös luomutuotantoa.

**Taulukko 8. Esimerkkejä muuntogeenisten elintarvikkeiden ja rehujen merkinnöistä.<sup>a</sup>**

Tuote	Esimerkki	Merkittiinkö ennen	Merkittiinkö nyt
Gm-kasvi	Sikuri	Kyllä	Kyllä
Gm-siemenet	Maissinjyvä	Kyllä	Kyllä
Gm-elintarvike	Maissi, soijapavun itu, tomaatti	Kyllä	Kyllä
Gm- organismista valmistettu tuote	Maissijauho <sup>b</sup>	Kyllä	Kyllä
Gm-organismista valmistettu tuote	Maissiöljy, soijaöljy, rapsiöljy <sup>c</sup>	Ei	Kyllä
Gm-organismista valmistettu tuote	Maissitärkkelyksestä valmistettu glukoosisiirappi <sup>c</sup>	Ei	Kyllä
Gm-entsyymien avulla valmistettu elintarvike	Mehu, joka on kirkastettu pektinaasilla <sup>d</sup>	Ei	Ei
Gm-rehulla syötetystä eläimestä saatu elintarvike	Munat, liha, maito <sup>e</sup>	Ei	Ei
Gm-organismista tuotetut lisäaineet	Gm-soijasta valmistettu puhdistettu lesitiini, joka on suklaassa <sup>c</sup>	Ei <sup>f</sup>	Kyllä
Gm-rehu	Maissi	Ei <sup>f</sup>	Kyllä
Gm-organismista valmistettu rehu	Maissigluteenirehu, soijajauho	Ei	Kyllä
Gm-organismilla tuotettu fermentaatiotuote	Vitamiini B2	Ei	Ei <sup>g</sup>

<sup>a</sup> Esimerkkeinä on muuntogeenisiä elintarvikkeita ja -rehuja, joita ei ole hyväksytty markkinoille Euroopan unionissa.

<sup>b</sup> Tuotteessa on muuntunutta dna:ta ja proteiinia.

<sup>c</sup> Tuotteessa ei ole muuntunutta dna:ta tai proteiinia.

<sup>d</sup> Valmistuksen apuaineet, joita käytetään ainoastaan elintarvikkeiden tai rehujen valmistusprosessissa, eivät kuulu elintarvikkeen tai rehun määritelmään, eivätkä ne siksi kuulu asetuksen EY N:o 1829/2003 soveltamisalaan.

<sup>e</sup> Asetuksen soveltamisalaan eivät myöskään kuulu elintarvikkeet ja rehut, jotka saadaan muuntogeenisellä rehulla ruokituista tai muuntogeenisillä lääketuotteilla lääkityistä eläimistä.

<sup>f</sup> Aikaisemmat säädökset eivät koskeneet lisäaineita tai rehuja

<sup>g</sup> EU:n komission pysyvän komitean (elintarvikeketju ja eläinten terveys) gmo-jaoston kokous 24.9.2004 hyväksyi komission tulkinnan, jonka mukaan asetuksen 1829/2003 soveltamisalaan eivät kuulu muuntogeenisen mikro-organismien avulla valmistetut fermentaatiotuotteet, joissa ei enää ole jäljellä muuntogeenistä mikrobia. Tällaisia fermentaatiotuotteita ovat esimerkiksi lisäaineet, aromit ja vitamiinit.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Näitä fermentaatiotuotteita eivät koske asetuksen vaatimukset ilmoittamisesta ja pakkausmerkinnöistä.

Muuntogeenistä mikrobia tulee kuitenkin kasvattaa suljetuissa olosuhteissa. Lisätietoja:

<http://www.elintarvikevirasto.fi/>

Kokouspöytäkirja: [http://europa.eu.int/comm/food/committees/regulatory/scfcah/modif\\_genet/summary03\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/committees/regulatory/scfcah/modif_genet/summary03_en.pdf)

Muuntogeenisten organismien merkintää ja jäljitettävyyttä koskevan asetuksen 1830/2003<sup>13</sup> mukaan gm-organismeja sisältävät tuotteet on merkittävä ja niiden kulkeutumista tuotantoketjussa on valvottava. Toimijoiden on myös välitettävä tieto tuotteen sisältämästä muuntogeenisestä ainesosasta, kun sitä luovutetaan eteenpäin tuotantoketjussa, sekä säilytettävä tiedot viiden vuoden ajan. Asetuksen 1830/2003 tärkeimpinä tavoitteina ovat, että muuntogeenisiä ainesosia sisältävät tuotteet on kattavasti merkitty, merkintöjä voidaan kontrolloida, tuotteen mahdollisia vaikutuksia voidaan seurata, ja että tuote voidaan tarvittaessa myös vetää kohdennetusti pois markkinoilta.

### ***Muuntogeenisten tuotteiden hyväksyminen EU:ssa<sup>14</sup>***

Euroopan unionissa ei vuosien 1998 - 2003 välisenä aikana hyväksytty uusia muuntogeenisiä organismeja markkinoitavaksi. Tämän ns. moratorion aikana kehitettiin yhteisölainsäädäntöä muun muassa uudistamalla avoimen käytön direktiivi (2001/18/EY<sup>15</sup>) sekä luomalla säädökset muuntogeenisten elintarvikkeiden ja -rehujen tuotehyväksynnästä ja merkinnästä sekä jäljitettävyydestä (asetukset 1829/2003 ja 1830/2003).

Gm-organismien sekä muuntogeenisten elintarvikkeiden ja rehujen arvioimisessa ja lupamenettelyssä on käytössä ”yhden luukun” periaate. Tämän mukaan on mahdollista jättää yksi ainoa hakemus luvan saamiseksi gm-organismien tarkoitukselliseen levittämiseen direktiivissä 2001/18/EY säädettyjen perusteiden mukaisesti sekä käyttöön ottamiseen elintarvikkeena ja/tai rehuna asetuksessa (EY) N:o 1829/2003 säädettyjen perusteiden mukaisesti.<sup>16</sup>

Menettelyjen mukaan muuntogeenisiä organismeja tai niistä peräisin olevia aineosia sisältävälle elintarvikkeelle tai rehulle voidaan hakea markkinointilupaa esimerkiksi pelkkään elintarvike- tai rehukäyttöön (jolloin kyse on tuonnista) mutta myös EU:ssa viljeltäväksi (mikäli myös se on tarkoituksena). Luvat voidaan hakea samalta toimivaltaiselta viranomaiselta yhdellä hakemuksella. Mikäli tuote on tarkoitettu viljelykäyttöön, asetus 1829/2003 edellyttää siitä direktiivin 2001/18/EY mukaisen ympäristöriskien arvioinnin. Arviointi on tehtävä myös, jos elintarvikkeeksi tai rehuksi tarkoitettu tuote sisältää eläviä, lisääntymiskykyisiä muuntogeenisiä organismeja, kuten itämiskykyisiä siemeniä.

Sellaiselle gm-organismille, jota voidaan käyttää sekä elintarvikkeena että rehuna, tulisi hakemusta arvioitaessa pyrkiä siihen, että lupa annettaisiin molempiin käyttötarkoituksiin tai ei ollenkaan. Hakijan on liitettävä hakemukseen suunnitelma markkinoille saattamisen jälkeen suoritettavasta seurannasta. Luvan saaneet tuotteet merkitään muuntogeenisten elintarvikkeiden ja rehujen julkiseen rekisteriin. Lupa myönnetään normaalisti kymmeneksi vuodeksi, ja se voidaan uusia 10 vuodeksi kerrallaan.

Gm-organismien tarkoituksellisesta ympäristöön levittämistä koskevien säännösten (direktiivin 2001/18/EY ja aikaisemmin direktiivin 90/220/EY tai uuselintarvikeasetuksen (EY) N:o 258/1997)

<sup>13</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1830/2003, annettu 22 päivänä syyskuuta 2003, muuntogeenisten organismien jäljitettävyydestä ja merkitsemisestä ja muuntogeenisistä organismeista valmistettujen elintarvikkeiden ja rehujen jäljitettävyydestä sekä direktiivin 2001/18/EY muuttamisesta. Virallinen lehti nro L 268, 18/10/2003

<sup>14</sup> [http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/legisl\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/legisl_en.htm)

<sup>15</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/18/EY, annettu 12 päivänä maaliskuuta 2001, geneettisesti muunnettujen organismien tarkoituksellisesta levittämisestä ympäristöön ja neuvoston direktiivin 90/220/ETY kumoamisesta [EYVL L 106, 17/04/2001]

<sup>16</sup> Selostus hyväksymisprosessista, ks. MEMO/04/102



mukaisesti on EU:ssa tähän mennessä hyväksytty yhteensä 18 muuntogeenistä organismia eri käyttötarkoituksiin kuten maanviljelyyn, tuontiin, jalostukseen, rehuiksi ja elintarvikkeiksi. Ravintokasveista tässä joukossa ovat edustettuina maissi, rapsi, soijapapu ja sikuri.

EU:ssa voidaan markkinoida 17 gm-organismista saatuja tuotteita elintarvikkeina<sup>17</sup>: Näihin kuuluvat

- muuntogeeninen soijalajike ja muuntogeeninen maissilajike, jotka hyväksyttiin direktiivin 90/220/ETY nojalla ennen uusielintarvikkeista ja elintarvikkeiden uusista ainesosista annetun asetuksen voimaantuloa
- jalostetut elintarvikkeet, jotka on saatu muun muassa seitsemästä rapsilajikkeesta, neljästä maissilajikkeesta, sekä kahden eri puuvillalajikkeen siemenöljy<sup>12</sup>
- Bt11-sokerimaissi. Euroopan komissio hyväksyi 19. toukokuuta 2004 sen saattamisen markkinoille tuontituotteena elintarvikkeikäyttöön (Bt11-maissin viljelyä koskevan lupahakemuksen käsittely on vielä kesken.)<sup>18</sup>
- NK603 maissi. Euroopan komissio hyväksyi 26.10.2004 sen saattamisen markkinoille elintarvikkeena ja elintarvikkeen ainesosana<sup>12</sup>.

Aikaisemmin hyväksytyjä muuntogeenisiä tuotteita saadaan edelleen pitää markkinoilla. Toimijoiden tuli kuitenkin toimittaa komissiolle asetuksen 1829/2003 (artikla 8) mukaiset tiedot kuuden kuukauden kuluessa asetuksen voimaantulosta.<sup>19</sup> Myös nämä gm-tuotteet merkitään julkiseen rekisteriin, ja 10 vuoden määräaikaa kyseisen tuotteen ensimmäisestä markkinoille saattamisesta sovelletaan myös niihin.<sup>20</sup>

Direktiivin 2001/18/EY mukaiseen lupamenettelyyn toimitettujen ilmoitusten yhteenvedot julkaitaan keskitetysti internet-sivustolla.<sup>21</sup> Lokakuussa 2004 C-osan ("Gm-organismien markkinoille saattaminen tuotteina tai tuotteissa") mukaisia ilmoituksia oli yhteensä 28 kpl, ja asetuksen 1829/2003 mukaisia ilmoituksia oli jätetty komissiolle 29<sup>22,23</sup> kappaletta ja uusia hakemuksia on EFSA:lle jätetty arvioitavaksi 10 kpl.<sup>18</sup>

Euroopan komissio hyväksyi 19. heinäkuuta 2004 muuntogeenisen NK603-maissin saattamisen markkinoille rehuna. Hyväksyntä koskee maissin tuontia ja jalostusta ainoastaan rehuiksi tai teollisuustarkoituksiin.

NK603-maissin tuonti voi kuitenkin alkaa vasta, kun maissi on hyväksytty myös elintarvikkeikäyttöön. Muuntogeenisille organismeille, joita todennäköisesti käytetään sekä elintarvikkeina että rehuina, on nimittäin annettava lupa joko molempiin käyttötarkoituksiin tai ei ollenkaan.<sup>24</sup>

Syyskuun 9. päivänä 2004 hyväksyttiin unionin yhteiseen lajikeluetteloon 17 muuntogeenisestä maissista (MON810) peräisin olevaa lajiketta. MON810-maissi on ollut direktiivin 90/220/ETY mukaisesti hyväksyttynä jo vuodesta 1998. Päätöksen jälkeen kylvösiemeniä saa markkinoida kai-

<sup>17</sup> [http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/authorisation/list\\_author\\_gmo\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/authorisation/list_author_gmo_en.pdf)

<sup>18</sup> [http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/authorisation/258-97-ec\\_authorized\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/authorisation/258-97-ec_authorized_en.pdf)

<sup>19</sup> Komissiolle toimitetut tiedot jo olemassa olevista tuotteista (asetuksen 1829/2003 artiklan 8 ja 20 mukaiset tuotteet)

[http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/notifications\\_existing\\_products.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/notifications_existing_products.pdf)

Ks. myös [http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/notification\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/notification_en.htm)

<sup>20</sup> IP/03/1056

<sup>21</sup> "Deliberate releases and placing on the EU market of Genetically Modified Organisms (GMOs)" <http://gmoinfo.jrc.it/>

<sup>22</sup> EU:n komission pysyvän komitean (elintarvikkeet ja eläinten terveys) gmo-jaoston kokous 24.9.2004 pöytäkirja

[http://europa.eu.int/comm/food/committees/regulatory/modif\\_genet/summary240904\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/committees/regulatory/modif_genet/summary240904_en.pdf)

<sup>23</sup> Ks. [http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/gmfood/index_en.htm)

<sup>24</sup> IP/04/957

kissa jäsenvaltioissa. Aikaisemmin lajikkeet oli merkitty ainoastaan Espanjan ja Ranskan lajikeluetteloihin.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> IP/04/1803

## ***Liite A. Jalostuksen teknisiä ja biologisia keskustelukysymyksiä***

Rinnakkaiselo, niin kuin se Euroopan unionissa käsitetään, koskee maataloutta ja sen käytäntöjä siten, että tavanomainen, luonnonmukainen ja muuntogeenisiä organismeja hyödyntävä maatalous ovat tasavertaisia ja että tuotteiden eriyttäminen onnistuu merkintäsäännösten edellyttämällä tavalla.

Rinnakkaiselotarkasteluissa on kyse tuotteista, jotka on todettu turvallisiksi ihmisen, eläinten ja ympäristön kannalta ja ovat saaneet markkinointiluvan. Rinnakkaiseloon liittyvät kysymykset koskevat lähinnä maatalouden käytännön järjestelyjä eriyttämisen toteuttamiseksi sekä taloudellisen vastuun järjestämistä sen varalta, että tuotteissa tapahtuisi sekoittumista siinä mitassa, että siitä aiheutuisi tuottajille taloudellista tappiota.

Muuntogeenisten kasvien käyttöön tuotannossa liittyy kuitenkin muitakin näkökohtia kuin rinnakkaiselon toteuttaminen. Näistä käydään laajaa keskustelua, erityisesti muuntogeenisten kasvien ympäristö- ja terveysvaikutuksista. Seuraavassa tarkastellaan siksi kasvijalostukseen ja sen geenitekniikkaan liittyviä teknisiä ja biologisia kysymyksiä.

### **Geenin sijaintipaikka perimässä**

Luonto itse muuttaa geenien sijaintia kromosomeissa klassillisilla kromosomimutaatioilla (inversio, deletio, duplikaatio, translokaatio). Ilmiö on tunnettu jo 1920-luvulta asti, eikä se aiheuta huolta kasvien jalostuksessa. Uudessa paikassa geeni voi toimia paremmin tai huonommin kuin ennen, mutta huonot lopputulokset karsiutuvat pois luonnon tai jalostajan suorittamassa valinnassa. Vanhassa kasvinjalostuksessa geenin sijainti kromosomeissa oli tiedossa vain harvoin. Nykyaikaisten geenikartoitusohjelmien myötä monen geenin sijainti on nykyisin ainakin likimäärin selvillä, mistä on apua myös perinteisessä jalostustyössä.

**Varhaisemmassa geenitekniikassa** ei soluun siirrettävän geenin liittymiskohtaa kromosomiin voitu etukäteen määrätä, vaan siirretty geeni liittyi satunnaiseen paikkaan kasvin kromosomeissa. Geeni saattoi tällöin joutua alueelle, jossa sen toiminta heikkenee. Lähistön geenit saattavat myös joskus vaikuttaa toistensa säätelyyn, mitä osataan ehkäistä sijoittamalla jalostettavan geenin päihin tyhjää dna-rihmaa eristeeksi. Kiinnittyvä geeni saattaa myös periaatteessa osua toisen geenin alueelle ja sammuttaa sen toiminnan. Tällaista esiintyy kuitenkin harvoin viljelykasveilla (esimerkiksi ohra, vehnä, maissi, palkokasvit), sillä niiden kromosomeista vain noin viisi prosenttia on koodaavaa geenialuetta (poikkeuksena riisi, jonka perimä on hyvin pieni ja dna:sta puolet on geenejä). Kromosomeissa on kuitenkin tuhansia paikkoja, joissa muuntogeeni toimii hyvin. "Onnistuneita osumia" löydetään yleensä riittävästi tuottamalla joitakin kymmeniä muuntogeenisiä kasvinjoja. Niistä vain parhaat valitaan jatkotutkimuksiin. Geenin toteutunut kiinnittymiskohta voidaan selvittää geeniteknisesti jälkikäteen ja karsia pois epäsovit kasvinlinjat.

Geenejä sammuttavat mutaatiot ovat sinänsä yleisiä luonnossa. Tavallisesti tällainen geenin sammuminen heikentää kasvin menestymistä, jolloin linja karsiutuu pois itsestään tai jalostajan valinnassa. Jos muutos kuitenkin johtaa vaikkapa haittageenin sammumiseen, sitä voidaan käyttää jalostuksessa.

**Uusimmassa geenitekniikassa** kehitetään metodeja, joiden avulla siirrettävän geenin kiinnittymispaikka kromosomissa voidaan tietyissä tilanteissa määrätä jo ennalta<sup>26</sup>. Kasviin voidaan nimittäin viedä ennakkoon muutaman dna-emäksen mittainen "kiinnittymisalusta", johon geeni on jälkeensä kiinnitettävissä. Edeltävissä kokeissa kehitetään suuri joukko eri kasvulinjoja, joissa kiinnittymisalusta sijaitsee eri paikassa. Näiden linjojen avulla voidaan laboratoriotutkimuksissa selvittää, mitkä kiinnittymispaikoista ovat geenitoiminnan kannalta parhaita. Lopuksi siirrettävä geeni sitten lisätään tutkittuun, hyvin toimivaksi tiedettyyn paikkaan kasvin kromosomissa (Ow 2004). Haluttaessa geeni voidaan tällöin jälkeensä myös leikata kromosomista pois tai lisätä sen viereen muita hyötygeenejä.

Siirtogeenin kiinnittymiskohdan mahdollisia ei-toivottuja vaikutuksia voidaan kasveillakin lähitulevaisuudessa välttää koostamalla siirrettävistä geneeistä oma pieni "minikromosomi" (Perez ym. 2004, Preuss 2004). Tämä on erityisen hyödyllistä, kun kasviin siirretään samalla kertaa useita geneejiä. Minikromosomin toiminnalliset osat (pää eli telomeerit sekä kromosomia liikuttava sentromeeri) saadaan kasvista itsestään. Kromosomin käsivarsiin ei sijoiteta muita geneejiä kuin kasviin jalostettavat geenimuodot. Valmis minikromosomi viedään sitten soluun tavallisilla geeninsiirtotekniikoilla (Preuss 2004). Jalostetut minikromosomit ovat osoittautuneet kasveissa hyvin vakaiksi, sillä kasvit hyväksyvät kromosomiluvun muutoksia paljon vapaammin kuin eläimet.

## Geenin toiminnan stabiilisuus

Geenitekniikkaa sovellettaessa saattaa kasviin siirretty geeni "hiljentyä" useissa alkuvaiheen kasvulinjoissa. Tämä liittyy usein tilanteeseen, jossa joko itse siirtogeeniä tai sen lähisukuisia geneejiä on kasvin perimässä useita kopioita. Kasvi hiljentää geneejiä kiinnittämällä niiden dna-emäksiin metyyliiryhmiä, jotka toimivat eräänlaisina sordiinoina. Vahvasti metyloiduista geneeistä ei solussa synny geenituotteita (proteiineja). On huomattava, että normaalistikin huomattava osa kasvin geneeistä on joko "pysyvästi" tai tilapäisesti hiljennettyinä. Kasveilla siihen on varaa, sillä niillä on usein soluissaan koko geenistö useana toistona (kasvien evoluutiossa risteytyminen ja polyploidia ovat erittäin yleisiä). Monet näistä "kerrannaisgeneeistä" voivat olla kotoisin eri kasvilajeilta. Kasviyksilön ominaisuudet riippuvat siitä, mitkä ominaisuuteen vaikuttavista geneeistä ovat toiminnassa.

Siirtogeenin toiminnan mahdollinen hiljentyminen ei koske perimän muita geneejiä. "Hiljaisten linjojen" ongelma on hoidettavissa perinteisillä jalostuksen keinoilla tuottamalla alkuvaiheessa jalostukseen ylimääräisiä koelinjoja, joista parhaat valitaan jatkoon (Tammisola 2004b), ja seuraamalla linjojen stabiiliutta usean sukupolven ajan. On huomattava, että dna-metylaatiosta johtuvat ongelmat koskevat myös perinteistä risteytysjalostusta. Risteytyksissä kaukaisten sukulaisten tai villilajien kanssa voi kasvin dna-metylaatio purkautua ja rakentua uudelleen, jolloin kasvi voi muuttua odottamattomalla tavalla: piileviä haittageenejä voi käynnistyä ja tärkeitä hyötygeenejä vaimentua. Toisaalta geneettinen muuntelu on jalostuksen perusedellytys, ja näistäkin toissijaisista muutoksista saattaa olla jalostajalle myös hyötyä.

Riippuen käytetystä menetelmästä saattaa jalostettavasta geenistä kiinnittyä kasvin perimään useampi kuin yksi kopio. Kun lajiketta myöhemmin lisätään suvullisesti, saattavat nämä kopiot erota toisistaan sukusolujen muodostumisessa. Jälkeläislinjojen välillä voi silloin esiintyä vaihtelua gee-

<sup>26</sup> Näissä ns. targetointitekniikoissa ei kuitenkaan voida hyödyntää sitä perinteisen geenitekniikan etua, että valmiiseen eliittilajikkeeseen voidaan lisätä hyötygeeni lajikkeen muuta geeniyhdistelmää muuttamatta. Targetointitekniikat sopivat toistaiseksi lähinnä niihin tilanteisiin, joissa hyötygeeni lisätään tulevan jalostustyön lähtökohdaksi toimivaan jalostuspopulaatioon.

nin kopiomäärässä ja ehkä myös geenin ilmentymisen tasossa. Siksi nykyisin yleensä varmistetaan molekyylibiologisilla analyyseillä, että geeni on jalostuslinjassa vain yhtenä kopiona<sup>27</sup>.

## Valinnan apugeenit

Kun geeninsiirrossa halutaan solujen tai solukoiden joukosta löytää ja rikastaa soluja, joissa siirto on onnistunut, käytetään usein hyväksi jotain valinnan apugeeniä. Muuntogeeninen solu saadaan esimerkiksi näkyviin jollain värjäysmenetelmällä, tai apugeeni tuo solulle kestävyyttä jotain kasvisoluille muutoin haitallista käsittelyä tai kemikaalia vastaan. Jalostettaessa lajiketta herbisidinkestäväksi toimii jalostettava kestävyysgeeni itse tällaisena valintamarkkerina. **Varhaisemmassa geenitekniikassa** valinnan apugeeni jäi usein mukaan lopulliseen lajikkeeseen, missä siitä ei kuitenkaan ole enää hyötyä. Päinvastoin, geeni estää hyödyntäjästä samaa valintakeinoa myöhemmin, jos kasviin haluttaisiin tuoda lisää hyötyominaisuuksia. **Uudemmassa geenitekniikassa** valinnan apugeeni ei yleensä jää mukaan lopulliseen kasvilajikkeeseen. Tähän on kehitetty useita eri keinoja (Hare & Chua 2002). Kun jalostettava geeni ja apugeeni tarjotaan solulle erillisinä (esimerkiksi kahdessa eri plasmidissa), vaikkakin yhtäaikaan, ne saattavat kiinnittyä perimässä eri kohtiin. Siinä tapauksessa ne voidaan erottaa toisistaan jälkepäin tavallisten risteytysten avulla. Eräissä uusimmissa menetelmissä taas voidaan kiinnittynyt apugeeni leikata pois kasvilinjan perimästä jälkepäin sopivien entsyymien avulla (Ow 2004).

**Antibioottiresistenssi** on ominaisuus, joita käytetään usein apuna valinnassa. Hoidoissa sisäisesti käytettävät antibiootit tuhoavat yleensä bakteereita, mutta eivät vahingoita korkeampia eliöitä (eli aiotumallisia, esimerkiksi eläimiä, kasveja ja sieniä). Eräät antibiootit haittaavat kuitenkin myös kasvisoluja, joten niitä voidaan käyttää avuksi valinnassa kasveilla. (Tällaiset antibiootit eivät useinkaan sovellu sisäisesti käytettäväksi tautien hoitoon, koska ne aiheuttavat vakavia sivuvaikutuksia). Teoriassa bakteerit voivat – joskin erittäin harvoin – ottaa perimäänsä kasvilla olevia geenejä. Evoluution aikaskaalassa sillä on merkitystä. Koska eri lajeihin kuuluvat bakteerit kykenevät toisinaan vaihtamaan keskenään geenejä, on tunnettu huolta antibioottiresistenssigeenien kulkeutumisesta suolisto- tai patogeenibakteereihin tätä kautta.

Riskiä tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kasvibiotekniikassa hyödynnettävät resistenssigeenit ovat kotoisin maaperän bakteereista, joissa ne ovat laajalle levinneitä ja yleisiä (Flavell ym. 1992, Smalla ym. 2000, Summers 2002, APUA 2004). Saamme niitä runsaasti ympäristöstämme muun muassa tuoreravinnossa olevien bakteerien mukana (Levy 1998). Tärkeä lähde ovat myös kotieläinten ja ihmistenkin suolistossa olevat bakteerit, joiden joukossa usein on antibioottiresistentejä muotoja. Yhtäältä siirtogeenisen kasvin jokainen solu sisältää antibioottiresistenssigeenin, joten laajamittaisessa viljelyssä ympäristössä ja ravinnossa olevien antibioottiresistenssigeenien määrä lisääntyy, mikä saattaa lisätä siirtymisen todennäköisyyttä. Uusimpien tutkimustulosten mukaan geenien mahdollisuus siirtyä gm-viljelykasveista maabakteereihin on kuitenkin häviävän pieni (NERC 2005). Toisaalta resistenssigeenit siirtyvät bakteerista toiseen verrattomasti tehokkaammin kuin kasviperäisestä dna:sta bakteeriin. Kvantitatiivisten riskinarviointien perusteella bakteerit saavat resistenssigeenejä monta kertaluokkaa helpommin suoraan toisiltaan kuin muuntogeenisistä kasveista (Redenbaugh ym. 1993, Chambers ym. 2001, Shoemaker ym. 2001).

Geenien siirtymistä toimintakykyisenä bakteereihin voidaan estää siirtogeenien rakenteella, sillä korkeammassa eliöissä geenien rakenne poikkeaa bakteerien geneistä. Geenimme ovat perimässä

<sup>27</sup> Toisaalta kun pyritään haittageenin hiljentämiseen, kasviin voidaan tietoen tahtoen jalostaa hiljentävä geenimuoto useana kopiona.

paloina, joita erottavat toisistaan koodaamattomat välialueet (intronit). Bakteerigeenit sitä vastoin ovat yhtenäisiä (ilman katkoja), eikä bakteerisolu siksi pysty hyödyntämään korkeampien eliöiden geenejä. Valinnassa käytettävien resistenssigeenien toiminta bakteereissa voidaan estää katkomalla geenin rakenne usealla intronilla.

Lopullisen varmistuksen vuoksi nykyiset EU-säädökset<sup>28</sup> kieltävät jättämästä markkinoille saatettaisiin lajikkeisiin sellaisia apugeenejä, jotka koodaavat vastustuskykyä antibiooteille, joilla on merkitystä tautien hoidossa.

## Jalostuksen hallittavuus

Geenitekniikan käyttöön ottamisella on pyritty välttämään **valintaan ja risteytyksiin** perustuvan jalostuksen ongelmana olevaa suurta satunnaisuutta, jolloin lajiketta parannettaessa menetetään usein huomattava osa aiemman jalostustyön tuloksista. Tämä on ongelmallista erityisesti kasvullisesti lisättävillä ristisiittoisilla kasvilajeilla (marjat, hedelmät, peruna jne), joiden lajikkeet on usein löydetty suuren risteytys- ja valintatyön lopputuloksena, eikä niiden perimää voida risteytysten jälkeen enää rakentaa ennalleen. Itsesiittoisilla lajeilla tämä kuitenkin yleensä onnistuu 10 - 20 takaisinristeytyskuvon avulla.

**Geenitekniikan** etuna on, että olemassa olevan lajikkeen hyvät ominaisuudet voidaan säilyttää ja lajiketta voidaan pyrkiä parantamaan vain tietyn tai tiettyjen ominaisuuksien osalta. Tämä on mahdollista, koska a) siirtogeenin mukana ei siirry ei-toivottuja geenejä ja b) ominaisuus lisätään lajikkeen kasvulliseen solukkuun eikä kasvi joudu käymään läpi suvullista lisääntymistä (jossa lajikkeen ainutkertainen ominaisuusyhdistelmä hajoaa).

**Perinteisessä mutaatiojalostuksessa** tarvittava työmäärä on hyvin suuri. Mutaatiot ovat harvinaisia ja laadultaan satunnaisia, joten joudutaan tutkimaan hyvin suuria jälkeläismääriä. Yhtä toivottua muutosta kohden syntyy satojatuhansia ei-toivottuja geneettisiä muutoksia. Jos haluttaisiin muuttaa vaikkapa vain kahta tai kolmea eri dna-emästä geenin eri osissa, ei toivottua mutanttia saada käytännössä aikaan ollenkaan sattuman tuloksena.

**Geenitekniikalla** pyritään vähentämään jalostuksen työmäärää, koska muutosten täsmällisyys pienentää analysoidavan jälkeläisaineiston määrää. Kun haluttu geenimuoto (tai geenin muutettava alue) voidaan rakentaa valmiiksi etukäteen ja viedä sitten kasviin, riittää yleensä joidenkin kymmenien koelinjojen tuottaminen. Tosin muutettaessa olemassa olevaa geeniä ohjatulla mutageneesillä (ks. edeltä) halutun kaltaiseksi, on jälkeläisiä seulottava toistaiseksi suuria määriä, koska muutostaajuus on alhainen. Geenin säätelyalueen avulla voidaan ohjata geeni toimimaan vain toivotussa kasvin osassa tai solukossa.

Siirtogeenien liittymisen kasvin perimään on esitetty voivan aiheuttaa hallitsemattomia ilmiöitä perimässä esimerkiksi hiljentämällä tai aktivoimalla olemassa olevia geenejä. On kuitenkin muistettava, että **perinteinen jalostus** voi itse asiassa laukaista laajempia kaoottisia ilmiöitä, esimerkiksi hiljentää toimivia ja tuoda näkyviin piileviä geenejä (ks. edeltä). Kaukoristeytykset voivat myös aiheuttaa mutaatioita käynnistämällä kasvin ”hyppivät geenit”, transposonit. Nämä ilmiöt lisäävät jalostusaineiston perinnöllistä vaihtelua, mikä on jalostuksen perusedellytys. Mikäli tavoitteena on kuitenkin vain parantaa valmista lajiketta jonkin tietyn ominaisuuden osalta, voi tällainen hallitsematon vaihtelu viedä jalostusta tarpeettoman primitiiviselle lähtötasolle (Tammisola 2004b).

<sup>28</sup> Direktiivi 2001/18/EY

Geenien ensisijaisen vaikutuksen ohella niillä on jo kauan tiedetty olevan myös muita, "**odottamattomia**" vaikutuksia (Mendel 1866). Kasvinjalostuksessa eri geenien ennakoimattomia yhdysvaikutuksia (mm. epistasia, erityinen yhdistymiskyky SCA, heteroosi, hybridilajikkeet) on käytetty hyväksi siinä kuin päävaikutuksiakin (Simmonds 1979). Risteytysvanhemmiksi on valittu sellaisia yksilöitä, joiden jälkeläistössä tällaiset yhdysvaikutukset ovat - risteytyskokeiden perusteella - osoittautuneet suotuisimmiksi.

EU:n laaja tutkimusprojekti (ENTRANSFOOD, 2000 - 2003) tulee asiasta seuraaviin päätelmiin. "Viljelykasvien perimät muuttuvat kaiken aikaa lukuisilla luonnollisilla ja ihmisen aiheuttamilla mekanismeilla. Muuntogeenisten viljelykasvien turvallisuuteen ravintona ei liity enempää epävarmuutta kuin perinteisesti jalostetuilla viljelykasveilla. Odottamattomia muutoksia, jotka muuttavat ravintokasvien koostumusta, syntyy yhtä todennäköisesti luonnollisen rekombinaation ja mutageneesin tuloksena kuin geenimuuntelua käytettäessä. Muuntogeenisistä kasveista saatavan ravinnon turvallisuutta koskevat kysymykset ovat periaatteessa samat kuin perinteisellä ravinnolla" (Cockburn ym. 2004).

Kun ominaisuuksia viedään kasviin geenitekniikan avulla, vaikutukset geenien yleiseen ilmene- mistasoon kasvissa voivat olla vähäisempiä kuin perinteistä jalostusta käytettäessä, ilmeni uusim- missa tutkimuksissa (NERC 2005).

### ***Jalostettu ominaisuus on biologisesti merkittävä***

Gm-kasvien sääntelyssä noudatetaan maailmalla kahta lähestymistapaa. Toinen näistä on ominai- suus- ja riskiperustainen, ja perustuu tiedeyhteisössä usein esitettyyn näkemykseen, että viljely- kasvin mahdolliset ekologiset ja ravitsemukselliset vaikutukset riippuvat siihen jalostetuista ominai- suuksista eivätkä kasvinjalostuksessa sovelletuista menetelmistä (EUCARPIA<sup>29</sup> 1989, EMBO 2000, OECD 2000, SOT<sup>30</sup> 2002, ICSU<sup>31</sup> 2003, NRC<sup>32</sup> 2004, Conner ym. 2003a,b, Cockburn ym. 2004, Bradford ym. 2005). Toinen lähestymistapa on tekniikkalähtöinen. Ensin mainittua lähestymistapaa soveltaa Kanada, missä kasvinjalostusta koskevia säädöksiä sovelletaan kaikkiin kasveihin, joihin on jalostettu oleellisesti uusia ominaisuuksia (Plants with Novel Traits), jalostustavasta riippumatta. EY-säädöksissä noudatettava lähestymistapa on puolestaan tekniikkalähtöinen. Lähestymistapojen eroa valottanee, että Kanadan lain piiriin kuuluvat myös perinnejalostuksella kehitetty herbisidin- kestävä auringonkukka ja imidatsolinkestävä rapsi, joita EY:n tekniikkalähtöiset säädökset eivät koske.

## **Ekologia**

Säädännön mukaan<sup>33</sup> muuntogeenisen kasvin ympäristövaikutukset on aina selvitettävä ennen kuin kasvi voidaan hyväksyä viljeltäväksi EU:ssa. Mahdollisten ympäristövaikutusten tarkkailemiseksi edellytetään myös muuntogeenisten kasvien viljelyn seuranta (Lohtander-Buckbee ym. 2004).

<sup>29</sup> Euroopan kasvinjalostustutkijoiden liitto

<sup>30</sup> Society of Toxicology

<sup>31</sup> International Council for Science (Maailman tiedeneuvosto) on 103 kansallisen tiedeakatemian ja 27 kansainvälisen tiedeliiton katto-organisaatio.

<sup>32</sup> Amerikan tiedeneuvosto

<sup>33</sup> Direktiivi 2001/18/EY ja asetus (EY) N:o 1829/2003.

Kasvin ekologiset vaikutukset riippuvat sen ominaisuuksista (Conner ym. 2003a,b, NAAEC 2004). Edellytyksenä vaikutusten syntymiseen on yleensä se, että kasvi menestyy tietyssä ympäristössä, ja mahdollisesti kykenee levittäytymään. Viljelykasvien kohdalla leviämistä rajoittaa se, että monet viljelykasvit tai niiden viljelymuodot ovat alkuperältään eksoottisia eivätkä menesty kasvatusseutujensa luonnossa. Tällaisia ovat meillä esimerkiksi peruna, viljat, kurkku, herne, tomaatti, eräät viljelymarjat (paitsi herukat) ja monet hedelmäpuut. Jalostus heikentää edelleen viljelykasvin mahdollisuuksia selvitä itsenäisesti luonnossa, sillä kasvin ominaisuuksien muuttaminen ihmisen etujen mukaiseksi tapahtuu useimmiten kasvin ekologisen sopeutumisen kustannuksella. Maissi ei enää selviä lainkaan ilman ihmisen apua, eikä tomaatti ole 200 vuodessa pystynyt kehittämään villikantoja Euroopassa.

Leviämistä voi toisaalta tapahtua myös viljeltyjen ja luonnonkasvien välillä tapahtuvan geenivirran välityksellä. Käytännössä kuitenkin jalostetut ominaisuudet eivät ole asettuneet pysyvästi luontoon, koska kasvilaji omaksuu käyttöönsä vain sellaisia ominaisuuksia, joista on sille itselleen hyötyä ympäristön oloissa. Haitalliset ominaisuudet karsiutuvat pois luonnon valinnassa. Jos risteytyvät **villit sukulaislajit** puuttuvat ympäristöstä, viljelykasvin geenit eivät siirry voi siirtyä luonnonkasveihin. Tämä on tilanne useimmilla tärkeillä ravintokasveilla Suomessa ja esimerkiksi maissilla Euroopassa. (Poikkeuksena ovat rypsi ja rapsi, joilla on Euroopan ristikukkaiskasveissa villedä tai rikkakasvimaisia sukulaislajeja). Muuntogeeniset kasvit eivät myöskään levitä geneejään tehokkaammin kuin perinteiset, ellei tähän ominaisuuteen ole nimenomaan pyritty vaikuttamaan. Geenimuuntelun avulla pystytään toisaalta kehittämään lajikkeita<sup>34</sup>, joiden avulla voidaan merkittävästi vähentää luontaista geenivirtaa viljelykasveista villikasveihin (Kuvshinov ym. 2001).

**Ekologisesti "epäkiinnostavia" jalostusominaisuuksia** (Regal 1994, Conner ym. 2003a,b) ovat sellaiset, jotka heikentävät kasvin sopeutuneisuutta luonnonoloissa. Tällaisia ovat monet tavallisimmista jalostusominaisuuksista. Kasvin itsensä kannalta ovat epäedullisia lähes kaikki kasvin ravitsevuutta, käytettävyyttä tai tuotelaatua (meidän kannaltamme) parantavat muutokset, kuten proteiinjalostus tai ihmiselle haitallisten geenien sammuttaminen (esim. rypsin erukahappo ja perunan alkaloidit).

Sekä perinteisellä jalostuksella että geenitekniikalla on pyritty parantamaan **kasvin kestävyttä** ympäristön rasituksille. Kestävyysjalostusta on harjoitettu vuosisatoja tuomalla viljelyalueille taudinkestävyttä ja olojen sietokykyä eksoottisista lähteistä - geenivaroista, joita seudulla ei ole koskaan esiintynyt. Kestävyysjalostus ei silti yleensä tee viljelykasvista villi- tai rikkakasvia. Jos esim. perunaan onnistutaan jalostamaan kylmänkestävyyttä, ei se silti valtaa Suomen niittyjä tai männiköitä, koska sen menestymistä luonnossa rajoittavat monet muutkin tekijät, kuten kilpailu ja kasvin-syöjät. Kylmää kestävämpi peruna voisi kuitenkin talvehtia pellolla paremmin talven yli, kuten perunat Keski-Euroopassa. Tämä edellyttäisi tarkennuksia viljelyohjeisiin, etteivät lajikkeet sekaantuisi nykyistä enempää viljelyssä.

Myös viljelykasveihin siirretyt taudinkestävyysgeenit voisivat lisätä niiden kilpailukykyä luonnossa. Taudinkestävyttä on jalostettu viljelykasveihin sekä perinteisin jalostusmenetelmin että geenitekniikalla. Esim. **rutonkestävä peruna** on saatu jalostetuksi siirtämällä kestävyysgeeni villistä perunalajista valmiisiin viljelyperunalajikkeisiin geenitekniikalla (kuva A.1.), jolloin villiperunan haitallisia ominaisuuksia ei ole siirtynyt mukana viljelyperunoihin. Perinteisellä jalostuksella geeniiä ei ole voitu voida siirtää, koska nämä perunalajit eivät risteidy keskenään. Kyseinen gm-peruna on kestävä kaikille tunnetuille rutoroduille (Song ym. 2003). Tällaisen yleisen rutonkestävyyden etuna on se, että kokemuksen perusteella se murtuu hitaammin taudinaiheuttajan evoluution

<sup>34</sup> Ns. GURT-tekniikat



myötä kuin tietyille rutturodulle spesifinen kestävyys. Rutonkestäviä lajikkeita viljeltäessä sato-tappiot pienenevät ja torjunta-aineiden käyttö vähenee (Gianessi ym. 2002, 2003). Rutonkestävien lajikkeiden tuleminen käyttöön voisi hyödyttää myös luomuviljelijöitä, koska taudin leviämispaine muilta viljelmiltä luomupelloille vähenisi.



**Kuva A.1. Rutonkestävä peruna.** Tutut perunalajikkeet voidaan jalostaa jälkikäteen rutonkestäviksi geenitekniikan avulla (oikealla). Kuva: Univ. of Wisconsin.

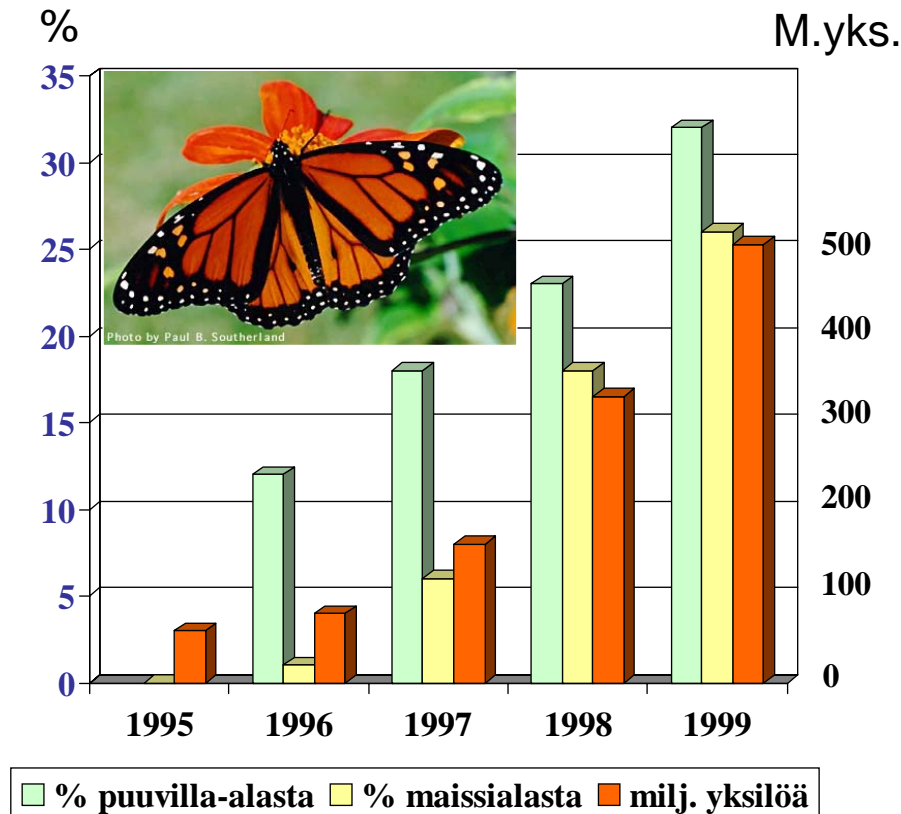
Geenitekniikan avulla on kehitetty myös **tuhohyönteisille vastustuskykyisiä kasveja**. Hyönteiskestävien kasvien on ajateltu edustavan ympäristön kannalta ihanteellista, pistemäistä torjuntaa, koska torjunta kohdistuu vain kasvia syövään tuholaiseen. Muissa torjuntatavoissa (ruiskutukset, loiset jne.) kielteiset vaikutukset kohdistuvat myös muihin ympäristön eliölajeihin (Bigler ym. 2002).

Toisaalta on esitetty epäilyjä siitä, että hyönteiskestävyys voisi aiheuttaa haittaa myös muille kuin kohdehyönteisille. Koisankestävä Bt-maissin siitepölyn havaittiin heikentävän monarkkiperhosten toukkien elinkykyä alustavissa laboratorioskokeissa, joissa monarkin toukille syötettiin Bt-maissin siitepölyä ja heteiden osia. Monarkin toukkien ravintokasvi ei tosin ole maissi vaan myrkyllinen silkkiyrtti<sup>35</sup>, jota kasvaa kuivilla kedoilla ja peltojen rikkakasvina. Kokeen ajatuksena oli, että maissin siitepölyä joutuu pellolla kasvavien silkkiyrttien lehdille. Laajoissa ekologisissa tutkimuksissa selvisi kuitenkin, että koisankestävä maissin viljelystä ei todellisuudessa ole ollut haittaa pellon hyönteisille (maissin tuholaisia lukuun ottamatta), vaan ne ovat päinvastoin hyötyneet huomattavasti kohdistuvien torjuntakäsittelyjen<sup>36</sup> vähentyessä (Saxena & Stotzky 2001, Head ym. 2002, Bigler ym. 2002, Motavalli ym. 2004, Romeis ym. 2004, Candolfi ym. 2004). Nettohyötyjiin kuuluvat myös monarkkiperhostet (kuva A.2., Sears ym. 2001), kuitenkin siten, että uusimmat lajikkeet ovat perhosten kannalta edullisimpia. Niissä on kiinnitetty huomiota siihen, ettei perhostoukkiin vaikuttavaa torjuntaproteiinia muodostu siitepölyssä. Aiemmin oli kaupallisessa viljelyssä (2 prosentin osuudella) yksi lajike, jonka pölyssä sitä esiintyi, mutta lajike ei ole enää käytössä.

<sup>35</sup> Monarkin toukat ovat silkkiyrtin myrkylliselle immuuneja, mutta tulevat kasvia syödessään itse myrkyllisiksi, mikä suojaa niitä toukkia syövilta vihollisilta

<sup>36</sup> Ruiskutukset, loisten levitys, kyntäminen

Koisankestävän maissin viljely (30 - 40 prosenttia USA:n maissialasta) näyttää tutkimusten mukaan vähentäneen pysyvästi maissikoisan ylisuuria populaatioita ja satotappioita alueella. On myös havaittu, että koisankestävässä maississa esiintyy homemyrkkijä vähemmän kuin tavallisessa maississa (Munkvold ym. 1999, Magg ym. 2002, Clements ym. 2003, Papst ym. 2005). Toukansyömissä tähkissä kasvavat homesienet tuottavat homemyrkkijä, jotka aiheuttavat munuais- ja maksavaurioita, syöpää (CFSAN 2001) sekä kehityshäiriöitä ja hermostovaurioita (Marasas ym. 2004).



**Kuva A.2. Yökköskestävän puuvillan<sup>1</sup> ja koisankestävän maissin<sup>2</sup> viljelyalat sekä monarkki-perhosten lukumäärä<sup>3</sup> USA:ssa vuosina 1996 - 1999.**

<sup>1</sup>USDA (1995-2000); <sup>2</sup>Carpenter & Gianessi (2001); <sup>3</sup>Monarkkikanta kasvoi tutkimuskaudella ennätyslukemiin, Monarch Watch (2000).

Merkittävimpiä ympäristöhyötyjä on havaittu yökköskestävää **Bt-puuvillaa** viljeltäessä. Perinteinen puuvilla on nimittäin maailman myrkytetyin viljelykasvi. Hyönteiskestävät lajikkeet selviävät vähemmällä torjunta-aineruiskutuksilla<sup>37</sup>, joten haitat viljelijän terveydelle vähenevät (Maumbe & Swinton 2003, Hossain ym. 2004) ja ympäristön tila paranee. Hyönteiskestävien lajikkeiden viljelmillä ja niiden ympäristössä on biologinen monimuotoisuus kasvanut merkittävästi (Head ym. 2001, Wu 2002, Rufener Al Mazyad & Ammann 2002, Fitt & Wilson 2003, Naranjo & Ellsworth 2003, Men ym. 2003, Chen ym. 2004). Taloudellisesti kestävydestä hyötyvät yleensä eniten kehitysmaiden pienviljelijät, joilla ei ole varaa viljelytekniikkaan eikä torjunta-aineisiin (Pray ym. 2002, Gressel ym. 2004).

Kestäviä Bt-lajikkeita on viljelty mm. USA:ssa, Kanadassa ja Kiinassa 1990-luvulta lähtien laajassa mitassa; EU:n alueella niiden merkittävää kaupallisesta viljelyä on ollut vain Espanjassa. Kaupal-

<sup>37</sup> Hyönteismyrkkijien käyttötarve on pudonnut jopa viidesosaan, ja terveydelle vaarallisimmista aineista, kuten organofosfaateista ja -klooreista, on päästy eroon.

lista viljelyä EU:ssa on rajoittanut mm. se, että lajikkeiden hyväksyntä markkinoitaviksi on ollut monista syistä hidasta, ja viljelyn mahdollisista ympäristövaikutuksista on kannettu huolta. Toisaalta on arvioitu, että mikäli puolet EU:n maissi-, rapsi-, sokerijuurikas-, ja puuvilla-alasta viljeltäisiin kestäväillä muuntogeenisillä 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).

## Allergiat

Gm-ruuasta käydyssä keskustelussa on tunnettu huolta siitä, että gm-kasveihin muista organismeista siirrettyjen geenien tuotteet voivat olla mahdollisia allergeeneja. Tällöin aiemmin hyvin siedetty ruoka-aine voisikin muuttua allergikolle haitalliseksi. **Varhaisissa jalostuskokeissa** (v.1991) tällainen tilanne tulikin esille, kun soijaan siirrettiin parapähkinästä arvokkaan varastoproteiinin geeni soijapavun rehulaadun parantamiseksi. Tämän muuntogeenisen soijan jatkotutkimuksissa havaittiin kuitenkin, että kyse oli parapähkinän silloin vielä identifioimattomasta allergisoivasta proteiinista, eikä soijalinjaa siksi koskaan otettu käyttöön (Nordlee ym. 1996).

Säädöksissä ja kansainvälisissä normeissa on nykyisin määrätty menettelyistä, joilla allergeenisen proteiinin tuoton mahdollisuus ravinnoksi tarkoitettussa kasvissa minimoidaan biotekniikassa. Eri-tyisesti kiinnitetään huomiota geeneihin, jotka ovat peräisin yleisesti allergisoivasta eliölajista. Gm-kasveista peräisin olevat **uuselintarvikkeet** tutkitaankin huolellisemmin kuin mitkään elintarvikkeet ihmiskunnan historiassa (Cockburn ym. 2004, Tammissola & von Wright 2005). Muunnetun proteiinin turvallisuus selvitetään Maailman terveys- ja ruokajärjestöjen (WHO, FAO) yhteisten normien<sup>38</sup> mukaisesti (Codex Alimentarius 2003a,b). Geenimuuntelua käytettäessä jalostettava geeni tunnetaan, joten sen kasvissa tuottaman proteiinin (proteiinien<sup>39</sup>) ominaisuuksia voidaan tutkia haitattomuuden varmistamiseksi. Taustana käytetään olemassa olevaa tietoa allergeeneista. Kasveissa tiedetään olevan kolme proteiiniiryhmää, joihin kliinisesti relevantit ruoka-aineallergeenit kuuluvat. Muuntogeenin koodaaman proteiinin sukulaisuus näihin on tarkoin selvitettävä. Allergisoivien proteiinijaksojen rakenteesta on nykyään myös olemassa runsaasti tietoa, ja siirtogeenin koostumusta voidaan mm. verrata näihin tietopankkeihin. Mikään allergeenejä etukäteen seulova menetelmä ei toimi täydellä varmuudella, mutta gm-ruuan allergisoivat ominaisuudet voidaan selvittää paljon tehokkaammin kuin perinteisillä menetelmillä tuotettujen uuselintarvikkeiden.

**Perinteisessä jalostuksessa** on usein kyse tuhansista tuntemattomista proteiineista, joiden allergiaominaisuuksia ei voida yleensä selvittää. Tätä ei normaalisti edes yritetä, eikä perinteiselle jalostukselle ole säädetty asiaa koskevia vaatimuksia. Tunnetun geenin käytön ja tuotetulle lajikkeelle suoritettavien turvallisuustutkimusten perusteella Saksan tiedeakatemioiden liitto arvioi, että muuntogeeniset kasvilajikkeet ovat itse asiassa allergioiden kannalta oleellisesti turvallisempia kuin perinteisesti jalostetut uudet lajikkeet (UGASH 2004).

Allergiakysymyksiä tarkasteltaessa on muistettava, että myös perinteiset ruokakasvit (esimerkiksi vehnä, pähkinät, paprika, kiivit, soija, mansikka) ovat usein allergisoivia (Karlsson ym. 2004). **Immunologisesti tärkeimpien** allergeenien poistaminen tärkeiden ruokakasvien syötävistä osista näyttää olevan eräissä tapauksissa mahdollista jalostuksella, erityisesti geeniteknikalla (Tammissola

<sup>38</sup> WHO:n ja FAO:n yhteisessä, kansainvälisissä normeja laativassa elimessä (Codex Alimentarius) on hyväksytty neljän vuoden työn tuloksena ohjeistukset menettelyistä, joita noudatetaan muuntogeenisten kasvilajikkeiden turvallisuutta selvittäessä (erityisesti allergiakysymysten osalta).

<sup>39</sup> Toisin kuin nisäkkäillä, kasveilla yksi geeni tuottaa melkein aina vain yhtä proteiinia. Vielä selkeämmin tämä koskee siirtogenejä.

2003, 2004a, Karlsson 2004). Kun haittaproteiinien tuotanto kasvissa sammutetaan kohdistetusti, tuloksista hyötyvät oireiden vähenemisenä ne allergikot, joiden allergiaspektrissä poistettavat proteiinit ovat tärkeitä. Soijapavun 1 400 siemenproteiinista noin kahdenkymmenen on havaittu voivan aiheuttaa allergiaa, ja näistä seitsemän on osoittautunut merkittäviksi amerikkalaisen aikuisväestön potilasaineistoissa. Soijapavun kaksi pahinta allergiaproteiinia on jo saatu poistetuiksi ja työ on käynnissä kolmanneksi pahimman sammuttamiseksi. Tutkijoiden tarkoituksena on yhdistää nämä kolme parannusta samaan soijalinjaan risteyttämällä, jolloin tahattomasta soijan saannista aiheutuva immunologinen rasitus voisi pienentyä 95 prosenttia (IgE-tasolla mitattuna) amerikkalaisilla soija-allergikoilla (Herman 2003, 2004, Herman ym. 2003).

## Geenin alkuperä

Geenitekniikasta käydyssä keskustelussa on puhuttanut paljon mahdollisuus siirtää geenejä lajirajojen yli, mikä ei perinteisillä jalostustekniikoilla ole ollut mahdollista.<sup>40</sup> Seuraukset ovat arveluttaneet tahoja, joiden mielestä lajirajojen ylittäminen on lähtökohtaisesti luonnotonta tai joiden mielestä se voi aiheuttaa odottamattomia haittavaikutuksia, joiden vakavuutta ei kokemuksen puutteessa voida arvioida. Toisen, vallitsevan näkökulman mukaan taas biologian kannalta keskeistä ei ole geenin (informaation) alkuperä vaan sen toiminta eli mitä geeni eliössä tekee ja mitä proteiinia se koodaa (Cockburn ym. 2004). On myös huomattava, että kasvien evoluutiossa ja perinteisessä kasvinjalostuksessa lajirajoja ylitetään varsin usein.

**Varhaisemmassa geenitekniikassa** käytettiin kasvien geenimuuntelussa usein mikrobiperäisiä geenejä ja geenien rakenneosia (kuten geenitoiminnan säätelyalueita). Syynä oli lähinnä se, että tuolloin ei vielä ollut juuri saatavissa jalostuskäyttöön yksityiskohtaista tietoa kasvien geneistä. **Modernien geenikartoitusohjelmien** myötä tilanne on nyt kokonaan toinen ja tunnetaan tuhansia kasvigeenejä ja niiden säätelyalueita. Monet niistä toimivat kasveissa tehokkaammin kuin mikrobiperäiset vastineensa. Kasvien geenimuuntelussa voidaan nykyisin käyttää puhtaasti kasviperäisiä rakenneosia (kuten Boreal Kasvinjalostus Clean Gene Crops™ -periaatteessaan) (Swords 2004). Esimerkiksi kylmää kestävästä mikrobista tai jäämerenlohesta saatava geeni voisi suojata viljelykasvia kylmävaurioilta<sup>41</sup>, mutta paljon tehokkaampia kylmänkestävyyden geenejä on jo löydetty esimerkiksi raiheinästä (Sidebottom ym. 2000, Pudney ym. 2003). On esitetty, että luonnosta tunnettujen yli 10 000 villin heinäkasvilajin geenivaroista voidaan löytää arvokkaita perintötekijöitä viljakasvien laadun ja ekologisen kestävyuden parantamiseksi (Chandler & Wessler 2001).

## Kasvinjalostuksen teoria

Genetiikan katsotaan alkaneen tieteenä, kun Gregor Mendel julkaisi tutkimustuloksensa vuonna 1866. Ne osoittivat, että perinnöllisyys pohjautuu toisiinsa sekoittumattomiin, erillisiin perimän yksiköihin, joita myöhemmin alettiin kutsua geneiksi (Mendel 1866).

Mendelin tutkimukset jäivät kuitenkin muutamaksi vuosikymmeneksi unohduksiin. Jalostuksen kvantitatiiviselle tilastoteorialle (biometriikka) loi samaan aikaan perustan tilastotieteilijä Francis Galton, Darwinin pikkuserkku. Teoriaa kehittäessään Galton nojasi pavuilla tekemiensä valinta-

<sup>40</sup> Monet bakteerilajit pystyvät tosin siirtämään luontaisesti geenejä kasvin perimään, mitä käytetään hyväksi eräissä geenitekniikan menetelmissä. Toisin kuin on luultu, geenejä pystyvät siirtämään kasveihin paitsi agrobakteerit, myös eräiden muiden bakteerisukujen lajit (Gelvin 2005, Broothaerts ym 2005).

<sup>41</sup> Yhtään tällaista viljelykasvia ei ole kuitenkaan ollut koskaan markkinoilla, esimerkiksi mediassa yleistä "kalamansikkaa".

kokeiden mittaustuloksiin, ja hän keksi myös korrelaatiokäsitteen, regressioanalyysin sekä perinnöllisyyden kaksostutkimukset.

Kun Mendelin perinnöllisyyslait löydettiin uudelleen vuonna 1900, jalostajat ryhtyivät niitä soveltamaan varsin nopeasti. Neuvostoliitossa nousi kuitenkin myöhemmin ideologisista syistä valtaan ns. holistinen näkemys perinnöllisyydestä. Sen mukaan perimä on erottamaton kokonaisuus, eikä "reduktionisti" Mendelin geenejä siis voinut olla olemassa. Geenit olivat "kapitalistien keksintö työväenluokan nujertamiseksi" (Lyssenko 1948). Neuvostoliiton holistista liikettä johti agrologi Trofim Lyssenko, jonka oppeihin kuului myös hankittujen ominaisuuksien periytyminen. Stalin antoi käsityksille tukensa, ja vuonna 1948 nämä "luonnonlait" vahvistettiin puoluekokouksen päätöksillä ja "mendelistis-morganilaisia" geeniopeja puolustaneet biologit vangittiin (Lyssenko 1948).

Kvantitatiivisten ominaisuuksien jalostaminen nojasi 1900-luvulla kuitenkin lähinnä biometriikkaan. Kvantitatiivisen genetiikan teoria kehittyi matemaattisesti yhä komplisoidummaksi, mutta se nojasi moniin yksinkertaistaviin oletuksiin niin kasvipopulaatioista kuin ominaisuuksien geeniperustasta. Ominaisuuteen vaikutti suuri määrä geenejä, joista kaikilla oli siihen yhtä vähäinen vaikutus.

Biometriikan oletusten epärealistisuutta alettiin arvostella jo 1960-luvulla<sup>42</sup>. Kasvigeenejä oli silloin kuitenkin löydetty vasta vähän eikä asiaan tullut selvyyttä. Vuosisadan lopussa geenitietoa saatiin runsaasti ja kritiikki varmistui aiheelliseksi. Nykytiedon mukaan ominaisuuden arvoon vaikuttaa yleensä voimakkaasti muutama geeni, ja kohtalainen vaikutus saattaa olla useilla muilla geneeillä (minkä lisäksi monilla geneeillä on moniin ominaisuuksiin vähäisiä vaikutuksia).

Uuden geenitiedon (järjestelmällisen geenikartoituksen) myötä on tullut mahdolliseksi löytää näitä suuri- tai keskivaikutteisia geenejä. Liian yksinkertaistavan, vanhan tilastoteorian sijasta voidaan nyt useinkin soveltaa täsmällisempää Mendel-genetiikkaa jalostuksessa.

Eräät holistisen ajattelutavan nykyiset edustajat<sup>43</sup> moittivat kasvibiologian soveltajia "legoleikeistä" ja reduktionismista ja jopa väittävät, että "bioteollisuus toimii neljäkymmentä vuotta vanhojen tieteellisten käsitysten varassa" (Smith 2005). Klassillinen "yksi geeni - yksi entsyymi" -periaate (Beadle & Tatum 1941), johon tässä ehkä viitataan, oli aikanaan Nobel-palkinnon arvoinen läpimurto genetiikassa. Kuuden vuosikymmenen biologinen tutkimustyö on siitä pitäen tarkentanut edelleen tietoa perinnöllisyydestä ja solujen toiminnasta.

Ihmisellä ja muilla nisäkkäillä muodostuu useammanlaisia proteiineja kuin niillä on geenejä. Yhtenä syynä tähän ovat immuunijärjestelmän geenit, jotka pystyvät "koulutettuina" tuottamaan erittäin monenlaisia vasta-aineproteiineja ympäristön laajaa mikrobikirjoa vastaan. Toisaalta ihmisen geneeistä 40 - 60 prosenttia koodaa useampaa kuin yhtä proteiinia. Syynä tähän on niiden informaatiota [luettaessa] käsiteltäessä tapahtuva vaihtehtoinen silmukointi (alternative splicing), jolloin yksi geeni voi tuottaa useita eri muotoja perustaltaan samaa proteiinia.

Kasveilla evoluutioon ratkaissut proteiinitason monimuotoisuuden toisella tavalla. Niillä yksi geeni koodaa yleensä vain yhtä proteiinia, mutta toisistaan hieman poikkeavia, lähisukuisia geenimuotoja saattaa sitä vastoin esiintyä perimässä useita. Kasveilla vaihtehtoinen silmukointi on harvinaista.

<sup>42</sup> Kvantitatiiviseen genetiikkaan ja biometrikaan perustuva jalostus on saanut aikaan suuria tuloksia, siitä huolimatta että se perustuu liian yksinkertaistavaan malliin periytymisestä (ääretön määrä geenejä, joilla infinitesimaalisen pieni vaikutus kullakin).

<sup>43</sup> Näkyvimpänä biokemisti Mae-Wan Ho

Esimerkiksi lituruohon 28 000 tutkitusta geenistä vaihtoehtoisesti silmukoituvia oli vain 4,6 prosenttia. Siirtogeenillä, joihin ei yleensä ole rakennettu silmukoinnin vaatimia välikkeitä, vaihtoehtoista silmukointia ei voi tapahtua lainkaan.

Entä sitten tämän tiedon vaikutus jalostukseen? Kasveja on jalostettu 11 000 vuotta ilman tiedeperustaa, eläimiä kenties kauemminkin. Viime vuosikymmenten teoretieto auttaa kuitenkin ymmärtämään paremmin muun muassa geenien välisiä yhdysvaikutuksia (jotka olivat ilmiönä tuttuja jo Mendelille). Parempi ymmärrys ja osaaminen eivät siten heikennä vaan parantavat jalostuksen mahdollisuuksia.

Onko uusi jalostus täsmällistä vai ei? 'Täsmäkirurgiassa' voi sattua komplikaatioita, vaikka se onkin tarkempaa ja usein haitattomampaa kuin perinteinen, suuremman mittakaavan leikkaaminen. 'Täsmälääkkeilläkin' on sivuvaikutuksia, joskin paljon harvemmin kuin vaikutusmekanismiltaan epäspesifisillä vanhoilla lääkkeillä. Luonnontieteet eivät ole matematiikkaa, joten saavutettavissa oleva tarkkuuden taso on aina suhteutettava alan todellisuuteen.

Vastaavasti 'täsmäjalostuksesta' on asiallista puhua, vaikka biologiassa ei kaikki ole koskaan sataprosenttisesti hallinnassa. Uusi jalostus on näet useissa suhteissa merkittävästi tarkempaa kuin entinen.<sup>44</sup> Kasvia muutetaan ihannetapauksessa vain sen verran kuin on välttämätöntä, mikä ei vanhoilla jalostusmenetelmillä ole useinkaan mahdollista.

---

<sup>44</sup> Tärkeimpiä ovat seuraavat tekijät. Lajikkeen alkuperäinen, jalostustyön tuloksena kehitetty genotyyppi voidaan säilyttää, sillä tarvittavan geenin lisäämiseksi kasvia ei tarvitse altistaa geeniyhdistelmän hajottavalle suvulliselle lisääntymiselle. Kasviin tuodaan ainoastaan haluttu geeni puhtaana eikä sen mukana tuhansia, ei-toivottuja muita genejä tai geenimuotoja - dna-tasolla mitaten kasvin perimään tuodaan tällöin noin miljoonasosa siitä ulkopuolisen dna:n määrästä, mikä kasvin perimään siirtyy risteytettäessä. Kasviin tuotava geenimuoto voidaan rakentaa ja testata koodiltaan halutuksi ja toimivaksi ennakkoon, ennen kasviin liittämistä, kun taas "perinteisessä" mutaatiojalostuksessa geeniin syntyvää muutosta ei voida etukäteen määrätä, joten siinä yhtä toivottua muutosta kohti syntyy satoja tuhansia muita, ennakoimattomia muutoksia perimässä. Kun kasviin tuodaan hyötygeenejä perinteiseen tapaan villilajeista risteyttämällä, niiden mukana voi saapua vaarallisia haittageenejä, ja kaukoristeytykset laukaisevat kasvissa myös kaottista geneettistä muuntelua.

## 5. LÄHDEKIRJALLISUUTTA

APUA (2004). Antibiotics in the ecosystem. Alliance for the Prudent Use of Antibiotics.

[www.tufts.edu/med/apua/Ecology/ecologynews.html](http://www.tufts.edu/med/apua/Ecology/ecologynews.html)

Beadle GW, Tatum EL (1941). Genetic control of biochemical reactions in *Neurospora*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 27: 499-506.

Bigler F, Babendreier D, Kuske S (2002). Ecological risks due to biological control of the European corn borer with *Trichogramma*. *Agrarforschung* 9(08): 316-321.

Bouis HE (2003). Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? *Proc. Nutr. Soc.* 62: 403-411.

Bradford KJ, Van Deynze A, Gutterson N, Parrott W, Strauss SH (2005). Regulating transgenic crops sensibly: lessons from plant breeding, biotechnology and genomics. *Nature Biotechnol.* 23: 439-444.

Braun HJ, Săulescu NN (2002). Breeding winter and facultative wheat. *In* Bread Wheat Improvement and Production (Curtis BC, Rajaram S, Macpherson HG, eds). *FAO Plant Production and Protection Ser. No. 30*.

Broothaerts W, Mitchell HJ, Weir B, Kaines S, Smith LMA, Yang W, Mayer JE, Roa-Rodryguez C, Jefferson RA (2005). Gene transfer to plants by diverse species of bacteria. *Nature* 433: 629-633.

BTNK (2004). Muuntogeenisten viljelykasvien sekä tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiselo. Biotekniikan neuvottelukunta, joulukuu 2004, 48s. + 9 s. liitteitä. [www.biotekniikkaneevottelukunta.fi/muistiot/rinnetomietinto.pdf](http://www.biotekniikkaneevottelukunta.fi/muistiot/rinnetomietinto.pdf)

Candolfi MP, Brown K, Grimm C, Reber B, Schmidli H (2004). A faunistic approach to assess potential side-effects of genetically modified Bt-corn on non-target arthropods under field conditions. *Biocontrol Sci. Technol.* 14: 129-170.

Carpenter JE, Gianessi LP (2001). Agricultural Biotechnology: Updated Benefit Estimates. Nat. Center for Food and Agric. Policy, Washington. [www.ncfap.org](http://www.ncfap.org)

Carter TR (1998). Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agric. Food Sci. Finl.* 7: 161-179.

CBD (1992). The Convention on Biological Diversity. UNEP 1992. [www.biodiv.org/convention/articles.asp](http://www.biodiv.org/convention/articles.asp)

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.

Chambers PA, Duggan PS, Forbes JM, Heritage J (2001). The fate of antibiotic marker genes in transgenic plant feed material fed to chickens. *J. Antimicrobial Chemotherapy* 49: 161-164

Chandler VL, Wessler S (2001). Grasses. A collective model genetic system. (Editorial). *Plant Physiol.* 125: 1155-1156.

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.

Chevre A-M, Ammitzböll H, Breckling B, Dietz-Pfeilstetter A, Eber F, Fargue A, Gomez-Campo C, Jenczewski E, Jörgensen R, Lavigne C, Meier MS, den Nijs HCM, Pascher K, Seguin-Swartz G, Sweet J, Stewart CN Jr, Warwick S (2004). A review of interspecific gene flow from oilseed rape to wild relatives. *In* Introgression from genetically modified plants into wild relatives (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), p.235-251. CABI Publishing.

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.

Cockburn A, Crevel R, Debruyne E, Grafström R, Hammerling U, Kimber I, Knudsen I, König A, Kuiper HA, Peijnenburg AACM, Penninks A, Poulsen M, Schauzu M, Wal JM, Cellini F, Chesson A, Colquhoun I, Constable A, Davies HV, Engel KH, Gatehouse AMR, Holst B, Kärenlampi S, Leguay JJ, Noteborn HPJM, Pedersen J, Smith M, Aarts HJM, Buhk HJ, Corthier G, Flint H, Hammes WP, Jacobsen BL, Midtvedt T, van den Eede G, van der Kamp JW, van der Vossen J, von Wright A, Wackernagel W, Wilcks A, Hammes WP, Berdal KG, Créminon C, Heissenberger A, Holst-Jensen A, Kleiner J, Kok EJ, Leimanis S, Marvin HJP, Miraglia M, Rentsch J, van Rie JPPF, Schimmel H, Toet D, Zagon J, Beekman V, Frewer L, Kettlitz B, Lassen J, Scholderer J, Banati D, Boutrif E, de Gooijer CD, Hansen M, Haslberger A, Jansen RTA, Kearns P, Langguth S, Leglise P, Madden EH, Magnavacchi A, Nill K, Pascal G, Rawling R, Renckens S, Somogyi A, Taeymans D, Walsh M (2004). Genetically modified crops in the EU: food safety assessment, regulation, and public concerns. Overarching report of ENTRANSFOOD, the European network on safety assessment of genetically modified food crops (Eds. König A, Kleter G, Hammes W, Knudsen I, Kuiper H). European Commission 2004, 99 p.

[www.entransfood.com/Overarching%20paper.pdf](http://www.entransfood.com/Overarching%20paper.pdf)

Codex Alimentarius (2003a). Principles for the Risk Analysis of Foods Derived from Modern Biotechnology. *CAC/GL* 44-2003, 4 p. [ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/princ\\_gmfoods\\_en.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/princ_gmfoods_en.pdf)

Codex Alimentarius (2003b). Guideline for the Conduct of Food Safety Assessment of Foods Derived from Recombinant-DNA Plants. *CAC/GL* 45-2003, 16 p.

[ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/guide\\_plants\\_en.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/guide_plants_en.pdf)

Conner AJ, Glare TR, Nap J-P (2003a). The release of genetically modified crops into the environment. Part II: Overview of ecological risk assessment. *Plant J.* 33: 19-46.

[www.blackwellpublishing.com/plantgm/Conner.pdf](http://www.blackwellpublishing.com/plantgm/Conner.pdf)

Conner AJ, Glare TR, Nap J-P (2003b). Popular Summary of: The release of genetically modified crops into the environment. II. Overview of ecological risk assessment.

[www.lifesciencesnetwork.com/repository/connerpaper2.pdf](http://www.lifesciencesnetwork.com/repository/connerpaper2.pdf)



- Connor AJ, Dale AJ (1996). Reconsideration of pollen dispersal data from field trials of transgenic potatoes. *Theor. Appl. Genet.* 92: 505-508.
- Damgaard C, Kjellsson G (2003). Pollen dispersal between fields of GM and non-GM oilseed rape: meta-analysis of available data and the possibilities for co-existence. GMCC03, 1st Eur. Congr. Co-Existence of GM Crops with Conventional and Organic Crops. Denmark.
- DIAS (2003). Report from the Danish Working Group on the Co-existence of Genetically Modified Crops with Conventional and Organic Crops. DIAS report Plant Production no. 94. Danish Institute of Agricultural Sciences, Nov. 2003.
- Dijk H Van (2004). Gene exchange between wild and crop in *Beta vulgaris*: How easy is hybridization and what will happen in later generations? *In* Introgression from genetically modified plants into wild relatives (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), p.53-61. CABI Publishing.
- Drebs A, Nordlund A, Karlsson P, Helminen J, Rissanen P (2002). Tilastojä Suomen ilmastosta 1971 - 2000. Ilmatieteen laitos.
- Eijlander R, Stiekema WJ (1994). Biological containment of potato (*Solanum tuberosum*): Outcrossing to the related wild species black nightshade (*Solanum nigrum*) and bittersweet (*Solanum dulcamara*). *Sex Plant Reprod* 7: 29-40.
- EMBO (2000). EMBO statement on Genetically Modified Organisms and the Public. [www.eurodoctor.it/embo\\_statement.html](http://www.eurodoctor.it/embo_statement.html)
- EU (1999). Euroopan yhteisön puheenvuoro YK:n yleiskokouksessa 15.10.1999.
- EU (2002). Life sciences and biotechnology – A Strategy for Europe. COM(2002) 27 final, 35 p. [www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/ECStratBiot.pdf](http://www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/ECStratBiot.pdf)
- EU (2003a). Biotieteet ja biotekniikka - strategia Euroopalle. Raportti edistymisestä ja tulevan linjasta. KOM(2003) 96 lopullinen.
- EU(2003b). Komission suositus, annettu 23 päivänä heinäkuuta 2003, ohjeista kansallisten strategioiden ja parhaiden käytänteiden laatimiseksi muuntogeenisten viljelykasvien sekä tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiseloon (2003/556/EY). <http://honeybee.helsinki.fi/esgemo/raportit/suositus.pdf>
- EUCARPIA (1989). Statement on risk assessment regarding the release of transgenic plants. *EUCARPIA Bulletin* 18:16
- Faegri K, Iversen J (1989). Textbook of pollen analysis. Wiley & Sons, New York, 328 p.
- Fitt G, Wilson L (2003). Non-target effects of Bt-cotton: A case study from Australia, Canberra CSIRO Entomology, Biotechnology of *Bacillus thuringiensis* and its environmental impact: proceedings of the 4th Pacific Rim conference (eds Akhurst R, Beard C, Hughes PAE). CSIRO, Canberra, pp. 175-182.

- Flavell RB, Dart E, Fuchs RL, Fraley RT (1992). Selectable marker genes: Safe for plants. *BioTechnol.* 10: 141-144.
- Gelvin SB (2005). Gene exchange by design. *Nature* 433: 583-584.
- 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](http://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](http://www.ncfap.org)
- Gressel J, Hanafi A, Head G, Marasas W, Obilana AB, Ochanda J, Souissi T, Tzotzos G (2004). Major heretofore intractable biotic constraints to African food security that may be amenable to novel biotechnological solutions. *Crop Protection* 23: 661–689.
- Hamm U, Gronefeld F (2004). The European market of organic food: Revised and updated analysis. Univ. of Kassel, Germany 2004.
- Hammer K (1975). Die Variabilität einiger Komponenten der Allogamieneigung bei der Kulturgerste (*Hordeum vulgare* L.s.1.). *Kulturpflanze* 23: 167-180.
- Hammer K (1977). Fragen der Eignung des Pollens der Kulturgerste (*Hordeum vulgare* L.s.1.). *Kulturpflanze* 25: 13-23.
- Hanin M, Paszkowski J (2003). Plant genome modification by homologous recombination. *Curr Opin. Plant Biol.* 6:157-162.
- Hare P, Chua N (2002). Excision of selectable marker genes from transgenic plants. *Nature Biotech.* 20: 575-580.
- Head G, Freeman B, Moar W, Ruberson J, Turnipseed S (2001). Natural enemy abundance in commercial Bollgard® and conventional cotton fields, Proc. Beltwide Cotton Conferences, Anaheim, California, National Cotton Council, Memphis, Tennessee.
- Head G, Surber JB, Watson JA, Martin JW, Duan JJ (2002). No detection of Cry1Ac protein in soil after multiple years of transgenic Bt cotton (Bollgard®) use. *Environm. Entomol.*, 31: 30-36.
- Herman EM (2003). Genetically modified soybeans and food allergies. *J Exp. Botany* 54: 1317-1319.
- Herman EM (2004). Making food less allergenic with the help of genetic engineering. Esitelmä MMM:n geenitekniikkaseminaari Helsingissä 26.11.2004.
- Herman EM, Helm RM, Jung R, Kinney AJ (2003). Genetic modification removes an immunodominant allergen from soybean. *Plant Physiology* 132: 36–43.
- 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.

Hyytiäinen T, Hedman-Partanen R, Hiltunen S (1999). Kasvintuotanto 2. Kirjayhtymä, Helsinki, 251s.

Hämäläinen E, Korpela S, Långfors K (1983). Mehiläishoitajan käsikirja, Otava, 201 s.

Hömmö LM (1994a) Hardening of some winter wheat (*Triticum aestivum* L.), rye (*Secale cereale* L.), triticale (X *Triticosecale* Wittmack) and winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars during autumn and the final winter survival in Finland. *Plant Breeding* 112: 285-293.

Hömmö LM (1994b). Resistance of winter cereals to various winter stress factors - inter- and intraspecific variation and the role of cold acclimation. *Agric. Sci. Finl.* 3 (Suppl. No. 1): 1-32.

ICSU (2003). New Genetics, Food and Agriculture : Scientific Discoveries – Societal Dilemmas. International Council for Science, 58 p.

[www.icsu.org/Gestion/img/ICSU\\_DOC\\_DOWNLOAD/90\\_DD\\_FILE\\_ICSU\\_GMO%20report\\_May%202003.pdf](http://www.icsu.org/Gestion/img/ICSU_DOC_DOWNLOAD/90_DD_FILE_ICSU_GMO%20report_May%202003.pdf)

Jacot Y, Ammann K, Al Mazyad PR, Chueca C, David J, Gressel J, Loureiro I, Wang H, Benavente E (2004). Hybridization between wheat and wild relatives, a European Union research programme. *In* Introgression from genetically modified plants into wild relatives (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), p. 63-73. CABI Publishing.

James C (2004). Preview. Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2004. *ISAAA Briefs* No. 32 - 2004.

Jørgensen RB, Ammitzböll H, Hansen LB, Johannessen M, Andersen B, Hauser TP (2004). Gene introgression consequences in *Brassica*. *In* Introgression from genetically modified plants into wild relatives (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), p.253-262. CABI Publishing.

Kangas A, Laine A, Niskanen M, Salo Y, Vuorinen M, Rahkonen A (2003). Tärkeimmät peltokasvilajikkeet 2004. *In*: Maatalouskalenteri 2004. Maatalouskalenteri 57: 186-191.

Karlsson AL, Alm R, Ekstrand B, Fjelkner-Modig S, Schiött Å, Bengtsson U, Björk L, Hjernø K, Roepstorff P, Emanuelsson CS (2004). Bet v 1 homologues in strawberry identified as IgE-binding proteins and presumptive allergens. *Allergy* 59: 1277-1284.

KTTK (2003). Siementuotannon vuositilastot 2003 - 2004. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. *Kylvösiemen* 3/2004, s. 11-22.

KTTK (2004). Luonnonmukainen maatalous 2003 - Tilastoja. Kasvintuotannon tarkastuskeskus.

Kuvshinov V, Koivu K, Kanerva A, Pehu E (2001). Molecular control of transgene escape from genetically modified plants. *Plant Sci.* 160:517–522.

Lahtinen J (2005). Peruslohkojen keskikoko TE-keskuksittain Suomessa vuoden 2001 lopussa. MMM Tike. Lähde: Maatilarokisteri.

Levy SB (1998). The challenge of antibiotic resistance. *Sci. Amer.* (March 1998): 32-39.

- Lewis W, Vinay P, Zenger V(1983). Airborne and allergenic pollen of North America. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 254 p.
- Liu Q, Ingersoll J, Owens L, Salih SS, Meng R, Hammerschlag FA (2001). Increased resistance to *Erwinia amylovora* exhibited by transgenic 'Royal Gala' apple (*Malus x domestica* Borkh.) shoots, carrying a modified cecropin Mb39 gene. *Acta Hort. Proc.* 560: 95-99.
- Lolle SJ, Victor JL, Young JM, Pruitt RE (2005). Genome-wide non-mendelian inheritance of extra-genomic information in Arabidopsis. *Nature* 434: 505-509.
- Lu B-R, Song Z-P, Chen J-K (2004). Crop to wild gene flow in rice and its ecological consequences. In *Introgression from genetically modified plants into wild relatives* (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), p.139-150. CABI Publishing.
- Lyssenko TD (1948). Die Situation in der biologischen Wissenschaft. Verlag Kultur und Fortschritt GMBH Berlin
- 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.
- McPartlan HC, Dale PJ (1994). An assessment of gene transfer by pollen from field grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. *Transg. Res.* 3: 216-225.
- Men X, Ge F, Liu X, Yardim EN (2003). Diversity of arthropod communities in transgenic Bt cotton and nontransgenic cotton agroecosystems. *Environm. Entomol.* 32: 270-275.
- Mendel G (1866). Versuche über Pflanzen-Hybriden. *Verh. Naturforsch. Ver. Brünn* 4: 3-47.
- MMM (2001). Tavanomainen hyvä maatalouskäytäntö. 23 s.
- MMM (2003). Maa- ja metsätalousministeriön geenitekniikkastrategia ja toimenpideohjelma vuosille 2003 - 2007. Työryhmämuistio MMM 2003:18.  
[www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2003/tr2003\\_18.pdf](http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2003/tr2003_18.pdf)
- MMM (2004). Geenitekniikka ja luonnonvarat. Uusia mahdollisuuksia hallitusti hyödyntäen. Maa- ja metsätalousministeriö 2004.

- MMM (2005). Luonnonmukaisen elintarviketuotannon yhteistyöryhmän loppuraportti. Työryhmämuistio MMM 2005:2.
- Monarch Watch (2000). [Monarkkiperhosen populaatiokoko]. *Monarch Watch* vol.3 (1995) - vol.8 (2000), Univ. of Kansas. [www.MonarchWatch.org](http://www.MonarchWatch.org)
- Motavalli PP, Kremer RJ, Fang M, Means NE (2004). Impact of genetically modified crops and their management on soil microbially mediated plant nutrient transformations. *J Env. Qual.* 33: 816-824
- MTTL (2004). Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2004. Niemi J & Ahlstedt J. (toim.): MTT Taloustutkimus, Julkaisuja 104.
- Muhos (2004). Esitys horisontaalisen maaseudun kehittämisohjelman ohjelmamuutokseksi. Ohjelmamuutostyöryhmän (Muhos-ryhmä) esitys 18.6.2004. 27 s.
- 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.
- NAAEC (2004). Maize & biodiversity. The effect of transgenic maize in Mexico. Commission for Environmental Cooperation, NAAEC (North American Agreement on Environmental Cooperation), Nov. 2004, 50 p.
- Naranjo SE, Ellsworth PC (2003). Looking for functional non-target differences between transgenic and conventional cottons: Implications for biological control. Univ. of Arizona, <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1283>
- NERC (2005). Gene Flow in Plants and Microorganisms Initiative. Natural Environment Research Council, UK. [www.nerc.ac.uk/publications/latestpressrelease/2005-29geneflowmediabrief.asp](http://www.nerc.ac.uk/publications/latestpressrelease/2005-29geneflowmediabrief.asp)
- Nilsson S, Praglowski J, Nilsson L (1977). Atlas of airborne pollen grains and spores in Northern Europe. Bokförlaget Natur och Kultur, Stockholm, 159 p.
- Nordlee JA, Taylor SL, Townsend JA, Thomas LA, Bush RK (1996). Identification of a Brazil-nut allergen in transgenic soybeans. *New England J Medic.* 334: 688-692.
- Norelli JL, Jones AL, Aldwinckle HS (2003). Fire blight management in the 21st century: Using new technologies that enhance host resistance in apple. *Plant Dis.* 87: 756-765.
- Norris C, Sweet J, Parker J, Law J (2004). Implications for hybridization and introgression between oilseed rape (*Brassica napus*) and wild turnip (*B. rapa*) from an agricultural perspective. In *Introgression from genetically modified plants into wild relatives* (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), p.107-123. CABI Publishing.
- NRC (2004). Composition of altered food products, not method used to create them, should be basis for federal safety assessment. National Research Council, USA, July 27, 2004. <http://www4.nationalacademies.org/news.nsf/isbn/0309092094?OpenDocument>
- OECD (2000). Report of the Task Force for Safety of Novel Foods and Feeds. Organisation for Economic Co-operation and Development, 17th May 2000, C(2000)86/ADD1.

[www.oilis.oecd.org/olis/2000doc.nsf/4f7adc214b91a685c12569fa005d0ee7/c125685b0057c558c12568e2003323af/\\$FILE/10077438.PDF](http://www.oilis.oecd.org/olis/2000doc.nsf/4f7adc214b91a685c12569fa005d0ee7/c125685b0057c558c12568e2003323af/$FILE/10077438.PDF)

OECD (2001-2005). Consensus documents on compositional considerations for new varieties of cultivated plants, No. 1-13. OECD Task Force for the Safety of Novel Foods and Feeds.

[www.oecd.org/document/9/0,2340,en\\_2649\\_34385\\_1812041\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/9/0,2340,en_2649_34385_1812041_1_1_1_1,00.html)

Viimeisin: Consensus document on compositional considerations for new varieties of alfalfa and other temperate forage legumes: Key feed nutrients, antinutrients and secondary plant metabolites. Series on the Safety of Novel Foods and Feeds, No. 13, ENV/JM/MONO(2005)13, OECD 2005.

Oja H (2005). Auringon nousu- ja laskuajat Helsingissä ja Vaasassa sekä keskimäärin Tanskassa. MMM:n tilaama selvitys.

Oksman-Caldentey K-M, Inze D (2004). Plant cell factories in the post-genomic era: new ways to produce designer secondary metabolites. *Trends Plant Sci.* 9: 433-440.

Oksman-Caldentey K-M, Saito K (2005). Integrating genomics and metabolomics for engineering plant metabolic pathways. *Curr. Opin. Biotechnol.* 16: 174-179.

Ow D (2004). Expression of transgenes from specific chromosome locations. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.

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 Biotech.* , Advance online publication 27 March 2005, 6 p.

Papst C, Utz HF, Melchinger AE, Eder J, Magg T, Klein D, Bohn M (2005). Mycotoxins produced by *Fusarium* spp. Isogenic Bt vs. non-Bt maize hybrids under European Corn Borer pressure. *Agron. J* 97: 219-224.

Perez C, Fabijanski S, Perkins E (2004). Plant artificial chromosomes, uses thereof and methods of preparing plant artificial chromosomes. *U.S. Pat. Appl.* No. 20040214290, Oct. 28, 2004, 130 p.

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.

Pilson D, Snow AA, Rieseberg LH, Alexander HM (2004). A protocol for evaluating the ecological risks associated with gene flow from transgenic crops into their wild relatives: the case of cultivated sunflower and wild *Helianthus annuus*. In *Introgression from genetically modified plants into wild relatives* (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), 219-233. CABI Publishing.

Pray CE, Huang J, Hu R, Rozelle S (2002). Five years of Bt cotton in China - the benefits continue. *Plant J.* 31: 423-430.

Preuss D (2004). Assembling plant chromosomes: Analysis of centromere structure and function. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.

- Pudney PD, Buckley SL, Sidebottom CM, Twigg SN, Sevilla MP, Holt CB, Roper D, Telford JH, McArthur AJ, Lillford PJ (2003). The physico-chemical characterization of a boiling stable antifreeze protein from a perennial grass (*Lolium perenne*). *Arch Biochem Biophys.* 410: 238-245.
- Pugsley AT (1971). A genetic analysis of the spring-winter habit of growth in wheat. *Austral. J. Agric. Res.* 22: 21-31.
- Ramsay G, Thompson CE, Squire GR (2003). Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. Final Report of DEFRA Project RG0216. DEFRA, London, 50 p.
- Redenbaugh K, Berner T, Emlay D, Frankos B, Hiatt W, Houck C, Kramer M, Malyj L, Martineau B, Rachman N, Rudenko L, Sanders R, Sheehy R, Wixtrom R (1993). Regulatory issues for the commercialization of tomatoes with an antisense polygalacturonase gene. *In Vitro Cell Dev. Biol.* 29P: 17-26.
- Regal PJ (1994). Scientific principles for ecologically based risk assessment of transgenic organisms. *Mol. Ecol.* 3: 5-13.
- 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.
- Romeis J, Dutton A, Bigler F (2004). *Bacillus thuringiensis* toxin (Cry1Ab) has no direct effect on larvae of the green lacewing *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). *J Insect Physiol.* 50: 175-183.
- Rowlandson K, Tackaberry E (2003). Edible vaccines: alternatives to conventional immunization. *AgBiotechNet* 5 Sep. 2003, ABN 115, 7 p.
- Rufener Al Mazyad P, Ammann K (2002). Das "chinesische Baumwollwunder": Fakten und Fiktionen. Der Greenpeace-Bericht: Ein Machwerk unseriöser Gentech-Gegner. *Novo* 60, pp [www.novo-magazin.de/60/novo6034.htm](http://www.novo-magazin.de/60/novo6034.htm)
- Ryynänen A (1973). *Rubus arcticus* L. and its cultivation. *Ann. Agric. Fenn.* 12: 1-76.
- Saxena D, Stotzky G (2001). *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin released from root exudates and biomass of Bt corn has no apparent effect on earthworms, nematodes, protozoa, bacteria, and fungi in soil. *Soil Biol. Bioch.* 33:1225-1230.
- Scott SE, Wilkinson M (1998). Transgene risk is low. *Nature* 393: 320.
- Sears MK, Hellmich RL, Stanley-Horn DE, Oberhauser KS, Pleasants JM, Mattila HR, Siegfried BD, Dively GP (2001). Impact of *Bt* corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98: 11937-11942.
- Shoemaker NB, Vlamakis H, Hayes K, Salyers AA (2001). Evidence for extensive resistance gene transfer among *Bacteroides* spp. and among *Bacteroides* and other genera in the human colon. *Appl. Env. Microbiol.* 67: 561-568.
- Sidebottom C, Buckley S, Pudney P, Twigg S, Jarmann C, Holt C, Telford J, McArthur A, Worrall D, Hubbard R, Lillford P (2000). Heat-stable antifreeze protein from grass. *Nature* 406:256.

- Simmonds NW (1979). Principles of crop improvement. Longman, London and New York. 408 p.
- Skjelvåg AO (1998). Climatic conditions for crop production in Nordic countries. *Agric. Food Sci. Finl.* 7: 149-160.
- Smalla K, Borin S, Heuer H, Gebhard F, van Elsas JD, Nielsen K (2000). Horizontal transfer of antibiotic resistance genes from plants to bacteria - are there new data to fuel the debate? Proc. 6th Int. Symp. The Biosafety of Genetically Modified Organisms, Saskatoon, Canada, July 2000, 8p.
- Smith JM (2005). Petoksen siemenet. Rauhanpuolustajat ja LIKE, 320 s.
- 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.
- SOT (2002). The safety of genetically modified foods produced through biotechnology. Society of Toxicology Position Paper, Sep. 25th, 2002, 16 p. [www.asa-europe.org/pdf/gmfoods.pdf](http://www.asa-europe.org/pdf/gmfoods.pdf)
- Soukup J, Holec J (2004). Crop-wild interaction within the *Beta vulgaris* complex: Agronomic aspects of weed beet in the Czech Republic. In Introgression from genetically modified plants into wild relatives (den Nijs HCM, Bartsch D, Sweet J, eds), p.203-218. CABI Publishing.
- Summers A (2002). Generally overlooked fundamentals of bacterial genetics and ecology. *Clinical Infectious Diseases* 34: S85-S92.  
[www.journals.uchicago.edu/CID/journal/issues/v34nS3/020124/020124.html](http://www.journals.uchicago.edu/CID/journal/issues/v34nS3/020124/020124.html)
- Swords K (2004). All-Native DNA Transformation. A new approach for genetic engineering. ABIC 2004, Köln, 12.-15.9.2004.
- Lohtander-Buckbee K, Törmäkangas K, Ruohonen-Lehto M (2004). Menetelmien valinta muuntogeenisten kasvien ympäristövaikutusten arviointiin ja seurantaan. *Suomen ympäristö* 736, Suomen ympäristökeskus, 130 s.
- Tammisola J (2003). Kasvinjalostus ja ruoka-allergiat. *Allergia & Astma* 3/2003.  
[www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/AArua303.pdf](http://www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/AArua303.pdf)
- Tammisola J (2004a). Syödäänkö rokote allergiaan? *Allergia & Astma* 2/2004.  
[www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/AAspa204.pdf](http://www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/AAspa204.pdf)
- Tammisola J (2004b). Parempia kasvilajikkeita kehitysmaille – miksi ja miten? *Futura* 4/04, s.38-57. [www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/Futura151204webp180305.pdf](http://www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/Futura151204webp180305.pdf)
- Tammisola J, von Wright A (2005). Kasvinjalostus ja ravinnon haitta-aineet. *Kehittyvä Elintarvike* 2/2005, s. 56-57. [www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/KehElint2\\_05.pdf](http://www.honeybee.helsinki.fi/~tammisol/KehElint2_05.pdf)
- TIKE (2004). Maataloustilastollinen vuosikirja 2004. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus.
- Tirri R, Lehtonen J, Lemmetyinen R, Pihakaski S, Portin P (2001). Biologian sanakirja. Otava.



Tonsor SJ (1985). Leptokurtic pollen-flow, non-leptokurtic gene-flow in a wind-pollinated herb, *Plantago lanceolata*. *Oecologia* 67: 442-446.

Trevaskis B, Bagnall DJ, Ellis MC, Peacock WJ, Dennis ES (2003). MADS box genes control vernalization-induced flowering in cereals. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 100: 13099-13104.

Tuomisto J (2005). Tuloksia meneillään olevasta tutkimuksesta. Tilastolähde: KTTK:n siementarkastuspöytäkirjat.

Tveito OE, Førland E, Alexandersson H, Drebs A, Jónsson T, Tuomenvirta H, Vaarby-Laursen E (2001) Nordic climate maps maps, DNMI Report 06/01 KLIMA.

Tynan JL, Williams MK, Conner AJ (1990). Low frequency of pollen dispersal from a field trial of transgenic potatoes. *J. Genet. & Breed.* 44: 303-306.

UGASH (2004). Are there hazards for the consumer when eating food from genetically modified plants? Union of the German Academies of Science and Humanities Commission Green Biotechnology, Nov. 2004.

[www.akademienunion.de/files/memorandum\\_gentechnik/memorandum\\_green\\_biotechnology.pdf](http://www.akademienunion.de/files/memorandum_gentechnik/memorandum_green_biotechnology.pdf)

USDA (1995-2000). Cotton Varieties Planted (Annual 1995-2000). Agricultural Marketing Service - Cotton Program, Memphis, Tennessee.

Verso (2004). Komissiolle esitetyt muutokset ympäristötukeen. Maatalouspolitiikan uutiskirje, joulukuu 2004. Maa- ja metsätalousministeriö.

VYR (2004). Vilja-alan markkinakatsaus 01/2004. Vilja-alan yhteistyöryhmä helmikuu 27.2.2004, 33 s.

Watrud LS, Lee EH, Fairbrother A, Burdick C, Reichman JR, Bollman M, Storm M, King G, Van de Water PK (2004). Evidence for landscape-level, pollen-mediated gene flow from genetically modified creeping bentgrass with CP4 EPSPS as a marker. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101: 14533-14538.

WMO (1996). Climatological Normals for the period 1961 - 1990. World Meteorological Organization, WMO/OMM - No. 847, Geneva.

Wu K (2002). A brief statement on the studies of the ecological impact of Bt cotton conducted by Dr. Kongming Wu's lab, Institute of Plant Protection, CAAS. Available from [www.botanischergarten.ch/debate/WuKongmingRsptoGreenp.pdf](http://www.botanischergarten.ch/debate/WuKongmingRsptoGreenp.pdf)

Yan L, Loukoianov A, Blechl A, Tranquilli G, Ramakrishna W, SanMiguel P, Bennetzen JL, Echenique V, Dubcovsky J (2004). The wheat VRN2 gene is a flowering repressor down-regulated by vernalization. *Science* 303: 1640-1644.

Ylikangas V (2004). Peltotilujärjestelyjen tarve ja mahdollisuudet Suomessa. Maanmittauslaitos.