



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Ruoka ja geenit

4. Jalostuksen turvallisuus

- Ominaisuudet, vai**
- Uudet vs. perinteiset menetelmät?**

Jussi Tammissola

kasvinjalostuksen dosentti

jussi.tammissola@helsinki.fi

<http://geenit.fi>

13.9.2012

Koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenia



Perinteistä Frankenstein-ruokaa?

- Ovatko siniset perunat kloonattuja? <http://geenit.fi/KloonPer.pdf>



- Viljellyt omena- ja viinirypälelajikkeet on iät ja ajat kursittu kokoon ”terävän veitsen taiteella”



(J. Tuomisto: 100 kysymystä ympäristöstä ja terveydestä, Duodecim 2005)

- ...ympäämällä jalo-oksa ”villiin” perusrunkoon
- Suvuttomasti eräitä kasvilajeja osataan lisätä mm. mukuloista, sipuleista, itusilmuista, rönsyistä, pistokkaista, taivukkaista, ympäämällä, tai nykyisin jo myös solukko- tai soluviljelyllä
 - ...mutta aina se ei ole käytännön viljelyssä taloudellisesti mahdollista



Ruvetaan röhkimään...?



e-mail: cgr@stalsministeren.net
©Propres

BRUNEL

Ihminen ei ole mitä hän syö



- syömme vieraita proteiineja ja perimäainesta
(ihmistä syövät vain vauvat)

Lajikohtaisia ravinto- vaatimuksia



- hylkeen lapset vaativat rasvaa
- karhu syö lohesta vatsan

Salaatin geenit



◆ Nauttikaamme 500 g annos
sekasalaattia

- siinä on 4 miljardia solua
- joka solussa 25 000 geeniä

◆ Söimme siis

100 000 miljardia eli

100 000 000 000 000

”vierasta” geeniä

- tässä tapauksessa kasvigeenejä
- joista ”yllättävän” suuri joukko on melko lähellä omiamme

☞ Brennecke (2001) *EMBO*



Mikä dna-jakso on vaarallinen?

- Vanha kasvilajike: ...GCAATC**G**TACTTG...
- Uusi kasvilajike n:o 1: ...GCAATC**A**TACTTG...
- Uusi kasvilajike n:o 2: ...GCAATC**A**TACTTG...

Kumpi on vaarallinen, kumpi turvallinen – *ja miksi*:
lajike 1 vai 2 ?

Tapaus A.

- Uusi lajike n:o 1 tehtiin ”perinteisellä” menetelmällä (geeni löydettiin valmiina geenipankkiaineistoista)
- Uusi lajike n:o 2 johdettiin vanhasta lajikkeesta geenimuuntelulla (kohdennettu mutageneesi)

Tapaus B.

- Uusi lajike n:o 1 tehtiin ”perinteisellä” menetelmällä (mutageeniset kemikaalit tai säteilytys), ja
- Uusi lajike n:o 2 johdettiin vanhasta lajikkeesta geenimuuntelulla (kohdennettu mutageneesi)



Mikä dna-jakso on vaarallinen?

- Kasvi n:o 1: ...GCAATCGTACTTG...
- Kasvi n:o 2: ...GCAATCGTACTTG...
- Kasvi n:o 3: ...GCAATCGTACTCG...
- Kasvi n:o 4: ...GCTATCGTACTTG...

Kumpi on vaarallinen, kumpi turvallinen:

1 vai 2 ?

2 vai 3 ?

3 vai 4 ?



Kiusatun kasvin kosto

- ◆ Kasvit käyvät kemiallista sotaan kasvinsyöjiä vastaan.
 - ◆ Vaarattomatkin kasvit voivat tuottaa myrkyllisiä aineita, kun laidunpaine kasvaa liian suureksi.
 - ◆ Kiusattuna tunturisara panostaa siementen sijasta myrkyntuotantoon:
 - Keväällä alkaa uusi kasvukausi, eikä jyrsijöilläkään ole puutetta ravinnosta
 - Silti sopulikanta romahtaa usein juuri keväällä, ja rinteillä lojuu satamäärin kuolleita sopuleita
 - ◆ Tutkimus paljasti, että kuolleiden sopulien haima oli jopa kolme kertaa tavallista suurempi.
- ☞ Sundsvallin luontofestivaaleilla 1999 palkittu ohjelma. *TV1* 29.5.2000. Suom. Tuija Kankus

Huonosti suojattu kesäkurpitsa



- Kurkkukasvit suojautuvat hyönteistuhoilta cucurbitasiinilla
 - kasvin oma, luontainen torjunta-aine
 - aiheuttaa kurkkuihin kitkeryyttä
- Luomuviljelty kesäkurpitsa vei 16 ihmistä sairaalahoitoon Uudessa Seelannissa v. 2002
 - paha kirjavuosi ⇒ kesäkurpitsat kärsivät ja tuottivat ”liikaa” torjunta-ainetta
 - cucurbitasiinia on enemmän vanhoissa, vapaapölytteisissä lajikkeissa
 - joita luomussa vielä käytetään (ja jopa lisätään omasta siemenestä)

☞ *Life Sciences Network* 10.5.2002



Haittageenin sammutus perinteisesti vs. geenimuuntelulla 1.

- **Esimerkki 1. Koivu (diploidi kasvilaji)**
- Koivun proteiini Bet v 1 on synä koivun siitepölyallergiaan Pohjolassa (<http://geenit.fi/AAspa204.pdf>)
- Siitepöly ei aiheuta allergisille oireita, jos ko. proteiinin tuotanto siitepölyhiukkasiin estetään
- **A. Perinteinen mutaatiojalostus.** Geeni rikotaan sattumanvaraisesti säteilyllä tai kemikaaleilla
 - Päävaikutus: Ko. proteiinin tuotanto lakkaa koko kasvissa... mikä saattaa heikentää kasvin menestymistä (vrt. rapsin öljykirjo ja kylmänkesto, syötävä puuvilla)
 - Sivuvaikutukset: täysin arvaamattomia, sillä yhtä toivottua mutaatiota kohti kasvissa syntyy satojatuhansia, pääosin ei-toivottuja mutaatioita
 - Onnistumistaajuus: äärimmäisen matala, joten jalostuksessa on käytettävä satojentuhansien kasvien aineistoja – ja onnistuneen yksilön löytämiseen niiden joukosta tarvitaan avuksi analyysirobotteja.



Haittageenin sammutus perinteisesti vs. geenimuuntelulla

2.

- **Esimerkki 1. Koivu (diploidi kasvilaji)**
- **B. Geenimuuntelu** . Sammutetaan haittageeni *koko kasvissa* rikkomalla se kohdennetusti (sinkkisorminukleaasit, rna-dna-hybridit)
 - Ko. proteiinin tuotanto lakkaa kaikissa kasvinosissa
 - ...mikä saattaa heikentää kasvin menestymistä
 - Onnistumistaajuus korkea (jopa 10 %), joten pienet kasviaineistot riittävät
- **C. Geenimuuntelu** . Sammutetaan ko. proteiinin tuotanto *vain hedekukissa* (esim. rna-häirinnällä)
 - Hellävaraisinta kasvin kannalta
 - Geenitoiminnan säätely solukkotasoisesti ei ole mahdollista perinteisillä jalostusmenetelmillä (ne ovat siihen aivan liian karkeita)
 - Onnistumistaajuus voi olla korkea



Haittageenin sammutus perinteisesti vs. geenimuuntelulla

3.

■ Esimerkki 1. Koivu (diploidi kasvilaji)

■ D. Haittageenin sammuttamisen turvallisuus.

Valloittaako muunnettu geeni luonnon ekosysteemit?

■ Ei, sillä luonto itse on testannut tämänkin (meille haitallisen mutta koivulle hyödyllisen) geenin sammutusta

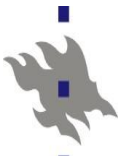
- ...jopa miljardien koivujen populaatioissa joka vuosi
- ...miljoonien vuosisatojen ajan

■ ...ilman ”ekokatastrofia”

- ...sillä luontoa nämä aseista riisutut ”ekopasifistit” eivät pysty valtaamaan.

■ Yksin Suomessa leijailee maahan joka vuosi 80 miljoonaa koivunsiementä, joissa allergiaproteiinin tuotanto on äskettäin sammunut

- ...mutta jalostajan kannalta näiden onnenkantamoisten löytäminen luonnosta ”yrityksellä ja erehdyksellä” on toivotonta
- ...muiden 200 000 miljardin koivunsiemenen seasta.



Geneettisesti muunnettuja hienohelmoja?



- Kymmenen vuoden ekologiset tutkimukset Yhdistyneissä Kuningaskunnissa osoittivat, että
- ...kaikki tutkitut gm-kasvit (rapsi, peruna, maissi, sokerijuurikas)
 - olivat heikompia luonnossa, ja
 - hävisivät sieltä nopeammin kuin perinteisesti jalostetut vastineensa

👉 [Crawley ym.](#) (2001). *Nature* 409: 682-683.

Luonto itse testaa kasvin geenien vaijentamista

- ◆ Luonto on kokeillut minkä tahansa kasvigeenin vaijentamista miljoonia kertoja vuosituhansien aikana
 - ilman ekologisia ongelmia
- ◆ Kasvin riisuminen aseista ei anna sille valintaetua luonnossa
 - ...vaan hienohelma jälkeläisineen häviää luonnollisista ekosysteemeistä tavallistakin nopeammin
- Siispä vaiennettu geeni
- ◆ ei valtaa ekosysteemejä
- ◆ eikä aiheuta pysyviä muutoksia vaan
 - korkeintaan tilapäisiä vaikutuksia, jotka ovat pienempiä tai verrattavissa niihin muutoksiin, joita aiheutuu viljelmillä joka vuosi kasvilajin tai sen viljelymenetelmien valinnasta



Haittageenin sammutus. Esimerkki 2.

Syötävät puuvillansiemenet

– proteiinia miljoonille kehitysmaissa

- **Proteiinin puute vahingoittaa kehitysmaissa**
 - haittaa muun muassa aivojen kehitystä
 - monesti 'nälkä' on siellä juuri proteiinin puutetta
- **Puuvillakasvi on myrkyllinen**
 - puuvillan siemenissä olisi runsaasti (22 %) hyvin korkealaatuista proteiinia...
 - ...joka gossypol-myrkyn takia kuitenkin menee hukkaan
 - siementen proteiini (10 miljardia kg/v) riittäisi kohentamaan 500 miljoonan ihmisen terveyttä
- **Puuvillan siemenet on nyt geenimuuntelun avulla jalostettu syötäväiksi**
 - myrkyllisen muodostuminen estettiin ainoastaan syötäväksi aiotussa kasvinosassa
 - ...sammuttamalla gossypol-geenin toiminta kohdistetusti vain siemenissä
- **...mutta muut kasvinosat säilyttivät tärkeän puolustuskykynsä**
 - mikä ei olisi mahdollista "perinteisillä" jalostusmenetelmillä
 - vanhalla jalostuksella myrky katosi koko kasvista, ja hyönteiset söivät viljelmät suihinsa kiitokseksi
- **Geenitekniinen menetelmä (rna-häirintä) palkittiin lääketieteen nobelilla vuonna 2006**
 - ideaa käytetty kasvinjalostuksessa jo 20 vuotta, varsinkin viruskestävien lajikkeiden jalostamiseksi
- <http://agnewsarchive.tamu.edu/dailynews/stories/SOIL/Nov2006a.htm>
- <http://agnews.tamu.edu/showstory.php?id=1399>
- [Sunilkumar ym. \(2006\)](#). PNAS 103: 18054-18059



Haittageenin sammutus perinteisesti vs. geenimuuntelulla

6.

- **Esimerkki 3. Vehnä (heksaploidi kasvilaji)**
- Jalostetaan aromivehnä sammuttamalla heinien [tuoksuttomuusgeeni](http://geenit.fi/PohSa130306.pdf) (<http://geenit.fi/PohSa130306.pdf>)
- Kehitysmaan tutkijat löysivät ja patentoivat geenin
- Vehnällä tuoksuttomuusgeenejä on 6 kpl, joten niitä **kaikkia ei voida sammuttaa perinnemutaatioilla**
- **A. Geenimuuntelu** . Sammutetaan ko. geenit rikkomalla ne kohdennetusti vuorollaan tai yhtäikää (sinkkisorminukleaasit, rna-dna-hybridit)
 - Ko. geenien toiminta lakkaa koko kasvissa
 - Onnistumistaajuus on kussakin vaiheessa varsin korkea, ja useita tuoksuttomuusgeenejä voi sammuttaa samassa kasviyksilössä yhdellä kertaa.
- **B. Geenimuuntelu** . Sammutetaan kaikki tuoksuttomuusgeenit samalla kertaa ja vain siemenissä (rna-häirintä, siemenspesifinen säätely)
 - Hellävaraisinta kasvin kannalta
 - Ei mahdollista perinnekeinon



Hyötygeenin tuonti kasviin perinteisesti vs. geenimuuntelulla 1.

■ Esimerkki 1. Maissi (diploidi kasvilaji)

- Typenottoa tehostavan geeni voidaan tuoda maissiin puhveliheinästä (*Tripsacum*)
- A. Geenimuuntelu. Tehokkaampi geeni etsitään puhveliheinästä, puhdistetaan ja tuodaan maissiin sen oman, huonomman geenimuodon päälle
 - Maissin geeni sammuu, puhveliheinän geeni toimii, maissin typenotto tehostuu
 - Muita geenejä ei siirry mukana puhveliheinästä
- B. ”Perinteinen” risteytysketju. Tehokkaampi geeni tuodaan puhveliheinästä risteytysmanipulaatiolla
 - Puhveliheinä ei risteidy maissin kanssa, mutta geeni voidaan tuoda maissiin kiertotietä, teosintin kautta:
 - ...risteyttämällä ensin väkisin puhveliheinä ja teosintti, ja sitten niiden risteytymä ja maissi
 - Mukana siirtyy aluksi kymmeniätuhansia muita (vaikutuksiltaan tuntemattomia) geenejä,
 - joista satoja voi jäädä jäljelle maissiin pysyvästi, jälkikäteisistä puhdistusyrityksistä huolimatta

Viljelykasvien typpitaloutta tehostetaan kasvinjalostuksella

- ❖ Sokeriruoko vaatii aika paljon typpilannoitetta, mikä heikentää sen tuotannon taloudellisuutta ja hiilitehokkuutta
 - ...ja myös saastuttaa ympäristöä, sillä perinteisesti viljakasvit pystyvät käyttämään alle puolet annetusta lannoitetypestä (loppu joutuu ilmaan, pohjaveteen ja vesistöihin)
- ❖ Geenimuuntelulla jalostetaan eri maissa typenkäytöltään tehokkaampaa vehnää, riisiä, ohraa, maissia ja rapsia
- ❖ Rapsi ja maissi tehokkaita kenttäkokeissa
 - Rapsi tuottaa saman sadon kuin perinteinen, mutta tarvitsee typpilannoitetta vain kolmasosan
 - Uusi maissi vaatii puolet vähemmän typpilannoitetta

www.seedquest.com/News/releases/2008/april/22304.htm rapsi

www.topcropmanager.com/content/view/1422/67/ maissi

www.medicalnewstoday.com/articles/105254.php riisi (Afrikka)

http://beta.irri.org/news/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=4306 riisi (Kiina)

<http://www.news-medical.net/news/20091120/Arcadia-Biosciences-and-Vilmorin-collaborate-to-develop-and-market-NUE-wheat.aspx> vehnä

<http://www.csiro.au/news/NueBarley.html> ohra

”Maissin” typpitalous paremmaksi kasvisukujen välisillä risteytyksillä?



- ❖ ”Geenimuuntelun väistämiseksi” yritetään typenkäyttöä tehostaa maissilla myös lajiristeytysten avulla
- ❖ Puhveliheinillä (kasvisuku *Tripsacum*) juuristo käyttää typpeä tehokkaammin hyväkseen kuin maissin juuristo
 - ...mutta puhveliheinien tähkät ovat vain pieniä, muutaman sentin ”luiruja”
- ❖ Erilaisten manipulaatioiden avulla (käyttäen ”siltana” risteytyksiä villien teosinttien kanssa) voidaan maissi ja puhveliheinä risteyttää
 - mutta hybrideissä on tuhansia viljelymaissille haitallisia, ”primitiivisiä” geenejä
 - ...joten hybridit ovat yhtä alkeellisia kuin alkumaissi oli tuhansia vuosia sitten
- ❖ Siksi hybrideille on tehtävä kymmenien sukupolvien ajan perinteisiä takaisinristeytyksiä maissiin päin
 - valvoen kaiken aikaa, että siirrettävät geenit pysyvät kelkassa mukana
- ❖ ...mutta lopputulokseen jää silti väistämättä ”**viitisensataa**” *Tripsacum*-suvun ”turhaa”, tuntematonta geeniä, joita ei maissiin olisi haluttu
 - maissin perimän luenta on jo pitkällä; kasvilla on 50 000–60 000 geeniä:
www.eurekalert.org/pub_releases/2008-02/wuis-wuu022508.php
- ❖ ...eikä kukaan kysy, mitä nämä arvaamattomat kylkiäisgeenit oikein maissille tekevät
 - jospa ne sopivat härälle mutta eivät Jupiterille tai ihmiselle...?
- ❖ Perinnejalostus ”nyt vain on” sellaista:
 - ❖ Likaista arpapeliä (www.geenit.fi/HSTKas110804.pdf)
 - ...johon menneen ajan kaiho meitä kutsuu?



Mikä sopii härälle tai Jupiterille, ei välttämättä sovi ihmiselle 4.



Puhveli, Korkeasaari 15.7.2009. © J.Tammisola

- Miksi ihmeessä ihmiskunnan pitäisi ottaa täysin tarpeettomia riskejä?
 - ...likaamalla ”peruuttamattomasti” ihmiskunnan vuosituhantinen luomus, maissi,
 - ...sadoilla puhveliheinän tuntemattomilla, ”primitiivisillä” ja usein vahingollisilla geeneillä
 - ...hakuammuntana, menneisyyden arpakonsteilla
 - ...pelkästään ”aatteen”, hämärän okkultismin vuoksi?
- Hyötygeenithän voidaan jalostaa maissiin jo täysin puhtaasti, uusilla geenimuuntelun menetelmillä



Hyötygeenin tuonti kasviin perinteisesti vs. geenimuuntelulla 5.

■ Esimerkki 1. Maissi (diploidi kasvilaji)

■ C. Tuntemattomat yhdysvaikutukset

■ Jos maissiin tuodaan k uutta geeniä (ja siinä on ennestään m eri geenimuotoa), niin

■ ...uusia pareittaisia, maississa ennestään tuntemattomia kahden geenin välisiä

yhdysvaikutuksia syntyy $km + k(k-1)/2$ kpl

■ ...geenimuuntelussa ($k=1$) siis yleensä m kpl

■ ... kun taas risteytysketjussa yli k kertaa enemmän

■ Kun maissilla $m \approx 50\,000$ ja puhveliheinällä voisi ajatella olevan $10\,000$ maissista poikkeavaa geenimuotoa, niin jalostuksessa

- ...risteytysketju aiheuttaisi aluksi $11\,000$ kertaa ja lopuksikin vielä **100 kertaa enemmän** uusia (tuntemattomia) geenien pareittaisia yhdysvaikutuksia kuin geenimuuntelu

■ Tosiasiassa likaisen vanhan jalostuksen ongelma on vielä paljon tätä suurempi, sillä uusia *usean* eri geenin välisiä yhdysvaikutuksia syntyy tietysti vielä "tähtitieteellisesti" enemmän.

Kasveilla lajirajojen ylittyminen on arkipäivää

- ◆ ...toisin kuin eläimillä
- ◆ Vehnä on kolmen eri heinälajin risteytymä
- ◆ ...ja ruisvehnässä yhdistyvät neljän kasvilajin (kolmen eri kasvisuvun) geenistöt
- ◆ Puutarhamansikka on eurooppalaisen ja amerikkalaisen mansikkalajin risteytymä
 - oktoploidi: kromosomiluku on kahdeksankertainen
- ◆ Rapsi puolestaan on kahden eri kaalikasvilajin risteytymä
 - josta saatiin terveellinen vasta 60-luvulla rikkomalla yksi luonnon geeni

Kelta- ja paimenmatara risteytyvät helposti

Risteytymä *Galium verum* *G. mollugo*



Kuva: J. Tammissola, Itä-Pakila 2010

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| • <u>Keltamatarra:</u> | <u>Paimenmatarra:</u> |
| • Pysty, tuoksuva | Rento, tuoksuton |
| • Keltakukkainen | Valkokukkainen |
| • Kuivilla kedoilla | Rehevillä niityillä |
| • ”Alkuperäinen” | Tulokas (1900-luku) |

❖ Ihmistoiminta saattoi lajit lähekkäin

Karukka on karviaisen ja mustaherukan risteytymä 1.



Karukka on karviaisen ja mustaherukan risteytymä 2.



Karukka, Helsinki 2006. © J.Tammisola

- ◆ Perinteisesti jalostuksessa saadaan vapaasti yhdistää lajikkeeseen kahden eri kasvilajin kaikki tuhannet geenit
- ◆ Jos taas kasviin tuodaan tuosta geenipuurosta puhdistettuna vain yksi, tarkasti tunnettu geeni
 - nykyaikaisten, hallitumpien menetelmien avulla
- ◆ ...laukeavat lainsäädännön raskaat ja kalliit vaatimukset

☞ <http://geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf>

Kesyttääkö uusia villikasveja viljelyyn...?



©J.Tammisola 1968

- Mesimarja (*Rubus arcticus*)
 - ”maukkain Euroopan marjoista” (Linné 1762)
- Harvinaistuva laji – marjojen saanti luonnosta vähenee
- Jo Linné teki viljelykokeita
- Jalostusyriä 1920-luvulta lähtien
 - niukoin tuloksin
- ☞ Tammisola (1988) *J.Agric.Sci.Finl.* 60: 327–446
- ☞ <http://geenit.fi/MesimSTTKasik080405.pdf>

...vai kehittää keuhkoja kompromisseja klassillisilla risteytyksillä?

- Mesimarja on epäluotettava ja työläs viljeltävä ”primitiivisten” piirteidensä takia
 - viihtyy vain pohjoisessa (huonosti jo Etelä-Suomessa)
 - ei kestä rikkakasveja (on heikko kilpailija)
 - on taudinarka (virus- ja sienitauteja)
 - on itsesteriili (joten marjojen saamiseksi täytyy kasvattaa useita lajikkeita sekaisin)
 - marjat ovat pehmeitä eivätkä sovellu mekaaniseen korjuuseen
- Rotevampaa kasvutapaa, etelänsietoa ja taudinkestävyyttä voitaisiin saada amerikkalais–aasialaisesta ”sisar”alalajista (ssp. *stellatus*)

Aromi tärvääntyi, kun yhdisteltiin tuntemattomia geenejä sattuman kauppaa

- Näitä kahta mesimarjan ”sisarus”-alalajia risteytettiin perinteisesti keskenään ja takaisin aitoon mesimarjaan päin vuosikausien ajan
 - ensin Ruotsissa ja sitten myös Suomessa
 - tuloksena eteläisempi, rotevampi ja vähemmän taudinarka ”jalomaarain” (”allåkerbär”)
- Mutta! Ainutlaatuinen mesimarjan aromi menetettiin
- Jalomaaraimet maistuvat kyllä hyviltä, mutta aitoa mesimarjalikööriä niistä ei voi valmistaa
- Opetus: ”pelastus”ominaisuudet täytyy, varovaisuuden vuoksi, tuoda kasviin puhdistettuina (geenitekniikan avulla).

☞ Pirinen ym (1998) *Agric. Food Sci. Finl.* 7:455-468



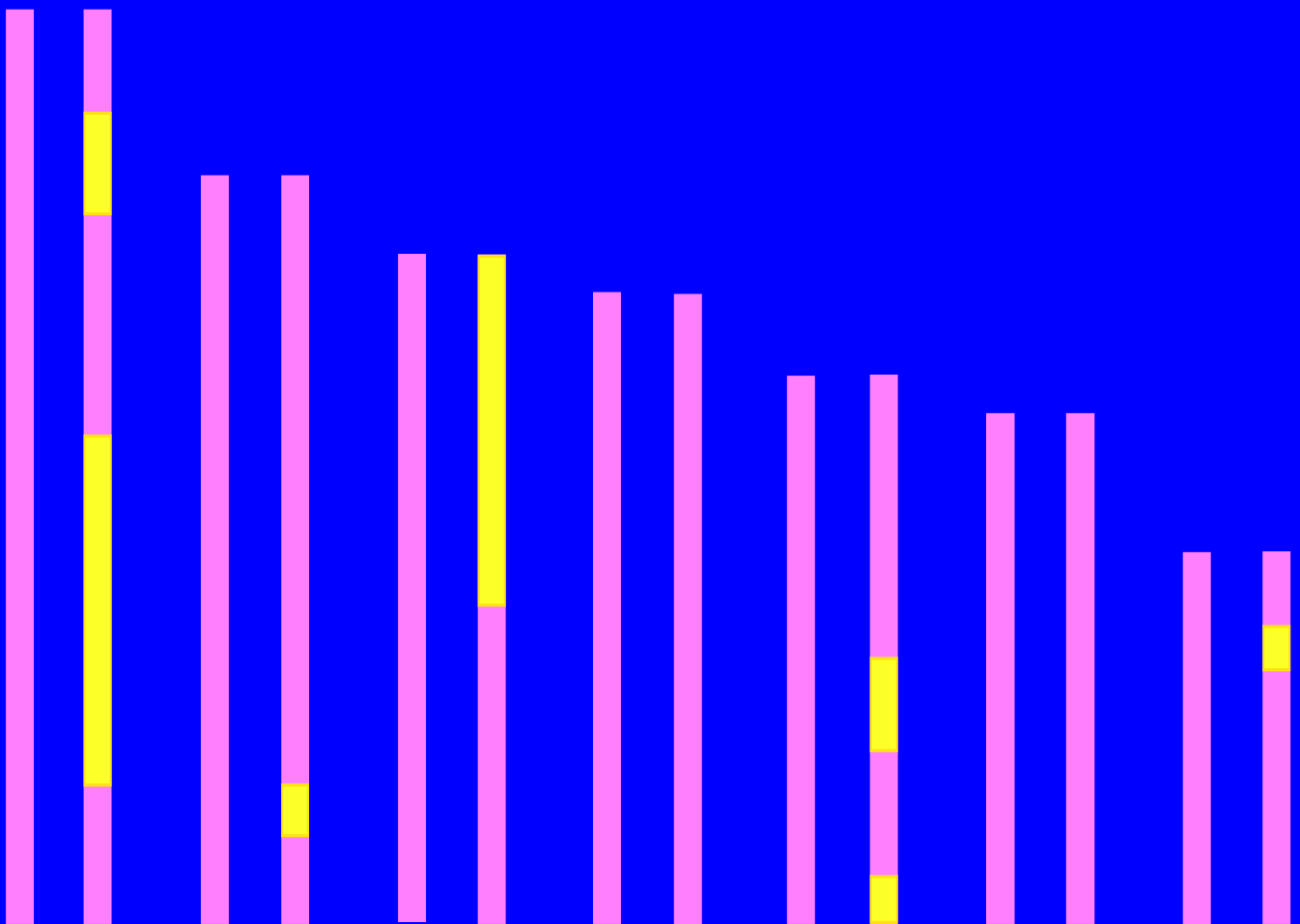
Sotkeminen kiellettävä?

- Miksi ihmeessä pitäisi tehdä turhaa sotkua...
 - ...vain, jotta pääsisimme sitä taas heti siivoamaan?
- Hyötygeeni kannattaa tuoda mesimarjaan puhtaana
 - ...ilman haitallisia ”vapaamatkustajia”
- Nyt sen osaisimme, eikä enää
 - ...pikku aromipommiin pääsisi huonon maun geenejä
- Uudessa täsmäjalostuksessa kasviin tuodaan
 - miljoona kertaa vähemmän vierasta perimäainesta, ja
 - 10 000 kertaa vähemmän turhia geenejä
 - ...joista valtaosa on tavalla tai toisella haitallisia
- Onnistunut yksilö löydetään seulomalla
 - ...tuhat kertaa vähemmän jälkeläislinjoja kuin vanhassa, likaisessa jalostuksessa
- Nykyaikainen geenitieto ja -muuntelu parantaa näin jalostuksen hallittavuutta muutamalla kertaluokalla (eli 1000–100 000 -kertaisesti)
- Saako mesimarjan pelastaa?

<http://geenit.fi/MesimSTTKasik080405.pdf>

Geenin nouto risteyttämällä villilajista ja puhdistaminen takaisinristeytyksillä

Risteytysjälkeläisen kromosomit ovat mosaiikki risteytysvanhempien kromosomien osista



 Viljelykasvi

 Villilaji

Geeni siirtyy puhtaana uudessa jalostuksessa

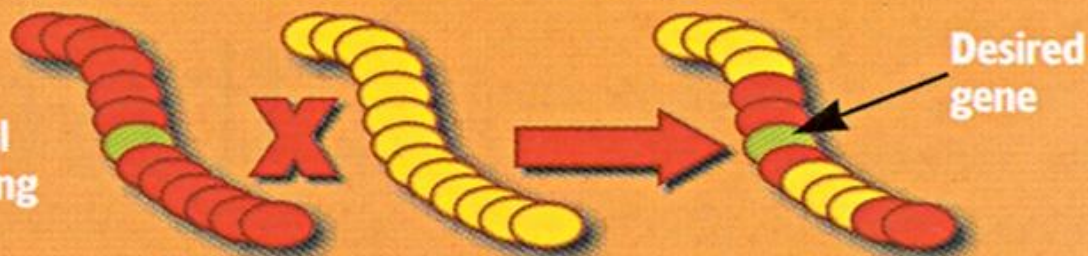
DIFFERENCE BETWEEN **CONVENTIONAL BREEDING** AND **GENETIC ENGINEERING**

Source variety/species

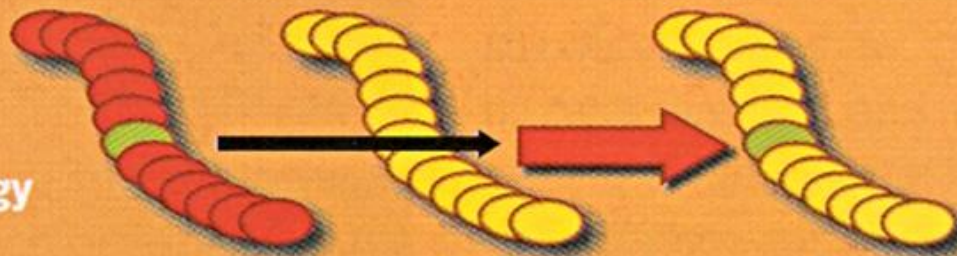
Commercial variety

Result

Conventional
plant breeding



Modern
biotechnology



Mutaatiojalostus (70 vuotta)

- ◆ ...on kasvin perimän summittaista särkemistä onnekkaiden muutosten toivossa
 - ei mitään "sokean kellosepän" tarkkuustyötä, vaan
 - ..."aleatorisen apinan" sattumanvaraista mäiskintää
 - ...tietokoneen "korjailua" vasaralla hakkaamalla
- ◆ Säteilyä tai kemikaaleja annetaan siemenille niin paljon, että
 - puolet niistä kuolee
 - ...jolloin saadaan riittävästi mutaatioita
- ◆ Perinteiset mutaatiot ovat ennakoimattomia
 - ...joten yhtä toivottua muutosta kohden syntyy satojatuhansia ei-toivottuja muutoksia kasvin perimässä
- ◆ Kelvottomien muutosten massa täytyy karsia pois
- ◆ ...ja suotuisat harvinaisuudet on poimittava talteen
- ◆ Jalostus on laatujärjestelmä: ”syrjinnässä perinnejalostuksen taide koetellaan”
- ◆ Erukahapoton mutanttirypsi jalostettiin 1960-luvulla Suomessakin
 - turvautumalla kobolttikanuunaan, ja
 - analysoimalla rasvahapot erikseen 200 000 rypsin siemen puolikkaasta

Jalostuksen vaikutukset ihmiseen ja ympäristöön...

- ...riippuvat aina siitä,
millaisen kasvin jalostimme...
- ...eli kasviin jalostetuista ominaisuuksista...
- ...eivätkä jalostuksessa käytetyistä menetelmistä
 - ☞ Euroopan kasvinjalostustutkijoiden liitto EUCARPIA (1989), ks. luento <http://geenit.fi/Euc1989.pdf>
 - ☞ USA:n kansallinen tiedeneuvosto 27.7.2004 <http://geenit.fi/USATiedeNeuv270704.pdf>
 - joskin perinteisessä jalostuksessa on usein aika vaikea tietää, millainen kasvi oikein saatiin aikaan
 - ...ja vaikka geneettiseen tietotaitoon perustuvat uudet jalostustekniikat (geenimuuntelu) ovat monesti jopa ”tähtitieteellisesti” hallitumpia
 - ☞ <http://geenit.fi/EP101006LiitelK.pdf>

LOPPUTULOS RATKAISEE...

Kasvinjalostuksen lipsahduksia

Perinteinen kasvinjalostus nojasi ”yrityksen ja erehdyksen” menetelmään vuosituhansien ajan

- ”black box”
- siihen nähden vähän möhläyksiä
- (valitut) viljelykasvit ovat melko turvallista ravintoa

⊗ Parissa (muutamassa) perunalajikkeessa on ollut ”liikaa” alkaloidoja

⊗ Yksi luomuviljelyyn jalostettu sellerilajike tuotti liikaa psoraleenia

- sarjakukkaiskasvit torjuvat sillä hyönteistuoja. Jättiputken koskettaminen aiheuttaa ihoon valovammoja. Sellerilajike vaurioitti käsiä.

⇒ Lajikkeet vedettiin viljelystä

☹ Monissa viljelykasveissa on haitallisia yhdisteitä vielä jäljellä (”liikaa”?)

Kasvinjalostus on vain ensimmäinen suuri laatu järjestelmä

- ◆ Lähdetään liikkeelle suurista aineistoista
 - ◆ Jatkoon valitaan aina vain ehdottomasti parhaat yksilöt
 - häviäjiä olisi kallista roikuttaa mukana
 - ◆ Yksilöiden ja linjojen laatu tarkastetaan sukupolvi toisensa jälkeen
 - useinkin 10–15 sukupolven ajan
 - ◆ Syrjäntäjärjestelmän tehokkuus testautuu käytännössä vuosi vuodelta uudelleen
- mm. yli 2700 mutaatiolajiketta lähes ongelmitta

Tieto ja osaaminen – vaarallista?

- ”Geenitekniikan paradoksi...
täsmällisyyden ja tarkkuuden nähdään tuovan mukanaan myös hallitsemattomuuden”
(HS 20.10.2007, Mari Niva & Johanna Mäkelä)
 - Paradoksiko? Ei, vaan taikauskoa
 - luonnontieteen vastaisten liikkeiden iskulause
 - Jalostimme kasveja 11 000 vuotta tietämättä mitään
 - edes kasvien suvullisesta lisääntymisestä (Camerarius 1694)
 - saati sitten geeneistä (Mendel 1865, 1900)
 - Biologinen tietotaito ei tietenkään heikennä vaan **parantaa jalostuksen hallittavuutta**
 - ”tuhatkertaisesti”
- ☞ http://geenit.fi/Natura3_2010.pdf (Natura 3/2010)
- ☞ http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf (Natura 4/2010)
- ☞ <http://geenit.fi/KL030907.pdf> (KL 3.9.2007)
- ☞ <http://geenit.fi/EP101006LiitelK.pdf> (EP 10.10.2006)



Syötävät puuvillansiemenet – proteiinia miljoonille kehitysmaissa

- Proteiinin puute vahingoittaa kehitysmaissa
 - haittaa muun muassa aivojen kehitystä
 - monesti 'nälkä' on siellä juuri proteiinin puutetta
- Puuvillakasvi on myrkyllinen
 - puuvillan siemenissä olisi runsaasti (22 %) hyvin korkealaatuista proteiinia...
 - ...joka gossypol-myrkyä takia kuitenkin menee hukkaan
 - siementen proteiini (10 miljardia kg/v) riittäisi kohentamaan 500 miljoonan ihmisen terveyttä
- Puuvillan siemenet on nyt geenimuuntelun avulla jalostettu syötäväiksi
 - myrkyä muodostuminen estettiin ainoastaan syötäväksi aiotussa kasvinosassa
 - ...sammuttamalla gossypol-geenin toiminta kohdistetusti vain siemenissä
- ...mutta muut kasvinosat säilyttivät tärkeän puolustuskykynsä
 - mikä ei olisi mahdollista "perinteisillä" jalostusmenetelmillä
 - vanhalla jalostuksella myrkky katosi koko kasvista, ja hyönteiset söivät viljelmät suihin kiitokseksi
- Geenitekniikka (Rna-häirintä) palkittiin lääketieteen nobelilla vuonna 2006
 - käytetty kasvinjalostuksessa jo 20 vuotta, varsinkin viruskestävien lajikkeiden jalostamiseksi

☞ <http://agnewsarchive.tamu.edu/dailynews/stories/SOIL/Nov2006a.htm>

☞ <http://agnews.tamu.edu/showstory.php?id=1399>

☞ [Sunilkumar ym. \(2006\). PNAS 103: 18054-18059](#)



Monet jalostusominaisuudet ovat ekologisesti ”kesyjä”

- Laatuominaisuudet, jotka parantavat kasvituotteiden käyttökelpoisuutta ihmisen tarpeisiin
 - Eivät yleensä auta kasvia leviämään tai selviämään paremmin luonnon ekosysteemeissä...
 - ...kuten eivät moiset ominaisuudet vanhassa jalostuksessakaan
 - Vaan ne joutuvat säännön mukaan karsituiksi pois luonnon valinnassa
 - Villikasvi ottaa käyttöönsä vain ominaisuuksia, joista on sille hyötyä elinympäristössään
- Sopeutuneisuutta merkittävästi lisäävät uudet jalostusominaisuudet ansaitsevat sitä vastoin enemmän tarkkailua, jotta mahdollisia vaikutuksia ympäristöön voidaan ennakoida
 - ...sillä tuollaiset ominaisuudet voivat luonnon populaatioissa tiettyyn mittaan yleistyä
 - ...joskaan eivät välttämättä nouse siellä vallitsevaan asemaan.



Biologisen monimuotoisuuden pääuhkia maailmassa

- 1. Elintilan (kasvupaikkojen) katoaminen
 - Luonnon elintila vallataan ihmiskunnan käyttöön:
 - maatalous, asuminen, liikenne, energia
- 2. Myytit
 - Uskomuslääkintä (IUCN 2007), kulttiruoka, näennäistuotanto
- 3. Nopeat ympäristöolojen muutokset
- 4. Invasiiviset lajit
 - Muita paremmin sopeutuneita muuttuviin nykyoloihin
 - ...tehokkaita leviäjiä (esim. [Silva & Smith 2004](#)), ja
 - ...kilpailukykyisempiä kuin moni alueen aiempi laji.
- Uusia kasveja ei tarvitse kovin pelätä
 - Vain pari prosenttia tuoduista kasvilajeista pystyy asettumaan alueelle pysyvästi (Britannian oloissa)
 - ...ja niistä vain pari prosenttia ilmenee invasiivisiksi
- Jalostetut kasvilajikkeet eivät juuri ole uusia lajeja
 - Poikkeuksena laajat ”kansatieteelliset” villipuiden kesytysohjelmat tropiikissa (esim. [WAC 2007](#))
- ...ja niiden uhat luonnolle jäävätkin paljon pienemmiksi.



Geenikampanjoiden perusväittämiä 1.

- Väittämä 1. "The transgenic elements ***combining DNA of various life forms*** can pass the boundaries between species in the nature, this has been proved in several studies by now."

(Ote kampanja-aktivistien EU-komissiolle lähettämästä väärennöksestä: <http://geenit.fi/GeVaVaar.htm>)

- Väittämää toistaa mm. Kansalaisten Bioturvayhdistys
- ...eikä siinä ole biologista järkeä:
- Samankaltaisuus ei aiheuta geenivirtaa
- Eri eliöiden geenit ovat usein aika samanlaisia
 - ...mutta eivät ne siksi sukukoloi yhtään alttiimmin eri lajien välillä
- Esimerkiksi leivinihiivan geenit ovat yllättävän lähellä omiamme
 - ...mutta eivät ne silti hyppäle ihmisen kimppuun
 - ...eivätkä omat geenimme tunkeudu hiivan perimään
- Yhteiset geenijaksot hiivan kanssa eivät tee ihmisestä epäilyttävää Frankensteinin hirviötä
 - ...joka siksi olisi muka vaaraksi ekosysteemille



Geenikampanjoiden perusväittämiä 2.

- Väittäjä 2. “Muuntogeenit **ovat virusmaisia** ja kykenevät siirtymään eliöstä toiseen”
 - ...”koska niistä puuttuvat **välikkeet**, kuten viruksiltakin”
 - ...ja “koska niissä on **virusten geeniainesta**”
- Mitä hlö “virusmaisella” tarkoittaa, ei käy selväksi
 - ...paitsi hänen yleisölleen, jonka “patologinen” vertaus osaa säikäyttää...
- Väittäjä on monipuolisesti hultaton:
- a) Välikkeet eli intronit puuttuvat kaikilta prokaryooteilta (sekä viruksilta että bakteereilta ym)
- b) ...mutta myös kasvisoluissa **esiintyy luonnostaan** runsaslukuisesti geenejä, joista välikkeet puuttuvat (esim. kloroplastien geenit)
 - ...eivätkä ne siirtyile muihin eliöihin ([Rintamäki 2007](#))
- c) Muuntogeeeneissä **voidaan käyttää** välikkeitä
 - ...ja ne ovat toisinaan hyödyksi
- d) Tällainen rakennepiirre (välikkeitä on tai ei) **ei vaikuta mitenkään** dna-jaksojen siirtymisiin



Yksi Ferrarin mutteri ei tee volkkarista kilpa-autoa

3.

- e) Ei **yksi geeni** virusta tee
 - ...yhdestä dna-jaksosta puhumattakaan
- ...sillä toimiakseen viruksen on oltava lukuisien geenien tarkoin yhteen viritetty kokonaisuus
 - “Yksi Ferrarin mutteri ei tee volkkarista kilpa-autoa”
- f) Viruksen geeniaines pääsee soluun viruksen spesifisten hyökkäys**proteiinien** avulla
 - ...eikä dna-jaksojen perusteella
 - ...olipa niillä välitteitä tai ei...
- g) Perinnöllistä merkitystä on vain geeniaineksella, joka pääsee **kiinnittymään** solun kromosomeihin
 - ...sillä irralliset geenijaksot katoavat tai hajotetaan
- Geeninriekaleita maailma on kyllä täynnään:
 - Annoksesta sekasalaattia syömme 100 000 miljardia “vierasta” geeniä (riekaleiksi ruoansulatukseemme)
 - ...ja kaalinlehdestä mosaiikkiviruksen geenistöjä miljoonittain (paitsi viruskestävistä lajikkeista...)
 - Omatkin geenisi ovat maabakteerien eväs kuoltuas
 - ...kuten koivun, kirahvin, ruisvehnän ja biokassavan.



Luonnon kasveista hyötygeenejä viljelykasveihin

4.

- h) Muuntogeenissä ***ei enää useinkaan tarvitse*** käyttää minkään viruksen kanssa identtisiä jaksoja
 - ...siis löysäkielessä: “virusperäistä” geeniaiainesta
- ...koska hyödynnettävissä on jo valtava määrä yksityiskohtaista geenitietoa myös kasvikunnasta
- Luonnon kasvien kromosomeissa moisia jaksoja voi sitä vastoin esiintyä hyvinkin runsaasti
 - esimerkkeinä transposonit
- Viime vuosien kehityssuuntia:
 - Boreal Kasvinjalostus Oy:n periaate:
Vain “kasvipерäisiä” geenejä
 - “Cisgeeninen” muuntelu ([Schouten ym. 2006](#))



HimmeleitÄ jalostamaan?

5.

- Väittämä 3. “Perimä on siitä monipuolinen systeemi, että kun sorkit yhtä kohtaa, **aiheutat samalla vahingossa muutoksia** myös muualla. Samaan tapaan, kuin himmeli ei ole entisensä, jos lisäät sinne yhden korren.” (Liisa Kuusipalo: ”GMO, ruokaa manipuloituilla geeneillä”. YLE Radio1, 9.9.2008)
- Vertaus kylvää kalliolle... unohtuu näet mainita, että ongelma koskee erityisesti *perinnejalostusta*:
 - Geenimuuntelu on usein satoja tai tuhansia kertoja puhtaampaa, tarkempaa, tuloksekkaampaa ja hallitumpaa (Tammisola [2004](#), [2009](#))
 - ...ja aiheuttaa (esim. ”sata kertaa”) vähemmän ei-toivottuja muutoksia kasvissa kuin perinnejalostus
- Perimäkö siis ”himmeli”? – ja sitä ei saisi muuttaa?
 - ...vai kuvastaako moinen aatos sittenkin harppausta Darwinia edeltävään maailmaan:
 - ...uskonnollista pysähtyneisyyttä, predeterminismiä, spiritualistista Ho-holismia, ”älykästä suunnittelua”?
- Perinneolki vain ei elätä, joten olkien asemesta jalostajat kehittävät nyt jyviä ihmiskunnan laariin...



Väinämöisen paluu –sarja. © Petri Hiltunen

- ...vai voisiko modernin olkihevosen huima nopeus olla sittenkin myytti vain: pollehan on nyt pienempi?
- Viljat on näet nykyään jalostettu lyhytkortisiksi:
 - ...parempi satoindeksi, jyväläatu ja satoisuus
- ...paitsi ruis, joka puskee järjettömän pitkää olkea yhä vain – ”[ilman genetiikkaa](#)”



Geenikampanjoiden perusväittämiä 7.

■ Väittämä 4. Geenimuuntelu aiheuttaa luonnon *geneettisen diversiteetin katoamisen*

(biodynaamikko Jaakko Länsipuro, VL:n vpj 2005–7)

Populaatiogenetiikan perusteet kuitenkin kertovat:

- Jos kasvipopulaatioon *lisätään* uusi geenimuoto, niin populaation geneettinen vaihtelu ei siitä suinkaan vähene vaan päinvastoin ***kasvaa***
 - ...mitattiinpa sitä millä mittarilla tahansa ([JT 2009](#))
- a) Mikäli uusi geenimuoto *parantaa* kasvilajin selviämiskykyä joissakin luonnon oloissa ([JT 2004](#))
- ...niin se voi *vakiintua* osaksi kasvilajin geneettistä kirjoa joissakin sen luonnonpopulaatioissa
 - Monimuotoisuus säilyy populaatiossa olovaihtelun ja erisuuntaisten valintatekijöiden ansiosta
- b) Mikäli uusi geenimuoto taas ei tuo kasville valintaetua vaan *haittaa* luonnon oloissa
- ...niin sen vierailu kasvilajin luonnonpopulaatioissa jää *tilapäiseksi*
 - Kasville haitallinen geenimuoto karsiutuu nopeasti vähiin luonnonvalinnan paineessa.



1989 Statement of Eucarpia* on Risk Assessment Regarding the Release of Transgenic Plants

1. It is the prime competence and responsibility of every research worker to evaluate potential risks of his research and to find ways to control these.
2. The plant is a relatively easy organism to control. Many crop plants are fully dependent on man for their existence.
3. In assessing risks the potential gene flow is crucial. This is determined in amount by the mating type and by the degree of taxonomic relationship. Much knowledge on these phenomena is already available in the literature.
4. Secondly, the effect of the gene is relevant and not the way it was introduced into the genome.
5. It should be kept in mind that well-defined genes, such as those transferred to plants by molecular techniques, can precisely be identified and controlled at the molecular level. However, their phenotypic expression must always be monitored most carefully.
6. There are genes which a priori are known to be harmful. These are not to be transferred into crop plants.
7. Presently, case studies with the release of transgenic plants are underway in several countries. All results should be fully published.
8. Eucarpia has established a working group of competent scientists on the subject of risk assessment for the release of transgenic plants.

*European Association for Plant Breeding Research



Genetiikan peruspäätelmiä 1.

Biologian tiedeyhteisö on jo pari vuosikymmentä korostanut yhteisymmärryksessä, että:

- Muunnetut geenit käyttäytyvät samojen geneettisten ja ekologisten lainalaisuuksien mukaisesti kuin muut geenit
- Ne eivät leviä sen voimakkaammin luonnossa, eivät siirry tehokkaammin eliöstä toiseen eivätkä säily ympäristössä sen pidempään kuin muut geenit ([von Wright 2009](#)).
- Ovatko geneettisen muutoksen vaikutukset **haitallisia vai hyödyllisiä** kasville itselleen, kasvin tuhoajille tai ympäristölle
- ...riippuvat siitä, mikä on jalostuksen **lopputuloksen** eli millaisen kasvin saimme aikaan:
 - Mitä muutoksia kasviin jalostettiin, siis
 - ...mitä muuttuneet geenit kasvissa tekevät ja millaisen säätelyn alaisena
- ...eivätkä siitä, millä menetelmillä nuo perinnölliset muutokset jalostettiin ([Eucarpia 1989](#), [NRC 2004](#))



Genetiikan peruspäätelmiä 2.

Ruoan ravitsevuutta parantavat muutokset

viljelykasveissa tulisi välittömästi **vapauttaa**

geenisäädösten ympäristövaatimuksista ([JT 2006](#))

- ...sillä niistä ei aiheudu minkäänlaista ekologista uhkaa luonnolle
- ...aivan riippumatta ominaisuuden jalostuksessa käytetyistä menetelmistä.
- Samoin tulisi ihmiselle haitallisten geenien sammuttaminen viljelykasveissa vapauttaa elämän tieteen vastaisista rasitteista
 - Tuollaisia haittageenejä ovat monet kasvien geenit, jotka vastaavat luontaisten myrkkujen tai allergiaa aiheuttavien proteiinien tuotannosta
 - ...ravinnoksi käytettävissä kasvinosissa.
- Hyötygeenien nouto primitiivistä kasvisukulaisista ja villikasveista risteytysten avulla tulisi jo **kieltää**
 - ...ja sallia niiden nouto vain puhdistettuina, uusilla geenimuuntelun menetelmillä ([JT 2005](#))
 - ...jottei jalostuspopulaatioita enää suotta liattaisi



Lisää (hyper)linkkejä

- Eräitä geenikampanjoiden näkyvimpiä väitteitä 15 viime vuoden ajalta tarkastellaan Rinnakkaiselon asiantuntija-työryhmän ”klassillisessa” väliraportissa 31.5.2005:
 - [Ote: Geenitekniikka, geenivirta, kasvinjalostus ja geenikeskustelu] <http://geenit.fi/REbiolOte310505.pdf>
- ”GMO-vapaa Suomi”-kampanjan ”luonnonlait” haetaan joogalentäjä Jeffrey M. Smithin pamfletista: <http://geenit.fi/SmithKum.htm>
- Yli 6 000 geenimuuntelun turvallisuuteen liittyvää tiedejulkaisua on kerätty Biosafety Bibliographic Databasen (ICGEB) avoimeen tietokantaan: www.icgeb.org/~bsafesrv/databases/databases.html
- Biologisen riskinarvioinnin perusteita tarkastellaan esim. RA-seminaarin (7.9.1998) esitelmässä:
 - <http://geenit.fi/RA070998.pdf>
- SA:n [ESGEMO-tutkimusohjelman](#) tuloksia
- 333 tohtorin biovetoomus Suomessa: <http://geenit.fi/RinnakkaiseloTurvattava.pdf>
- Onko ruokatuotannon geenimuuntelu terveydelle vaarallista? Laboratoriolääketiede 2012, Symposio 3, Elintarvikkeiden vaarat: <http://geenit.fi/LabL12.pdf>
- Kasvibiologian tietosivusto (HY): <http://geenit.fi>