



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Onko ruokatuotannon geenimuuntelu terveydelle vaarallista?

Symposium 3, Elintarvikkeiden vaarat
Laboratoriolääketiede ja näyttely 2012
Hki 4.–5.10.2012

Abstrakti: <http://geenit.fi/LabL12.pdf>

Luento: <http://geenit.fi/LabL12L.pdf>

Jussi Tammisola, MMT FL
Kasvinjalostuksen dosentti
jussi.tammisola@helsinki.fi

■ Ruokaa on tuotettava kaksin verroin vuoteen 2050 mennessä	3
■ Luomu. Ruokaa sellaisena kuin luonto sen tarkoitti	4
■ You are what you eat	5
■ Ruvetaan röhkimään...?	6
■ Ihminen ei ole mitä hän syö	7
■ Salaatin geenit	8
■ Luuloista laatua? Myyteistä myntiksi kotimaisen ruoan lumokampanjalla	9
■ Syödään Suomen luonto?	10
■ Kasville ihminen on tuholainen, jota vastaan täytyy puolustautua	11
■ Viljelykasveja täytyy muuttaa ...ja on niitä jo aika lailla muutettukin	12
■ Mihin uutta kasvinjalostusta tarvitaan – ja miksi?	13–14
■ Kasvinjalostuksen menetelmiä	15
■ Menetelmä vai ominaisuus?	16
■ Parannuksia vai tarkoittamattomia muutoksia?	17
■ Kiusatun kasvin kosto	18
■ Huonosti suojattu kesäkurpitsa	19
■ Esim.1. Haittageenin sammutus: Erukahapoton rypsi	20–21
■ Esim. 2. Haittageenin sammutus: Syötävät puuvillansiemenet	22
■ Esim. 3. Haittageenin sammutus: Aromivehnä	23
■ Puutostaudit ovat suuri tappaja kehitysmaissa	24
■ Esim. 4. Ravitsevuusjalostus: Biocassava Plus	25–27
■ Esim. 5. Terveellisyysjalostus: Onko A-vitamiiniriisi täysin tarpeetonta vai uhka ihmiskunnalle?	28–30
■ Esim. 6. Terveellisyysjalostus: Soijalla pitkäketjuisia ω 3-öljyjä soluihimme	31–33
■ Kasveilla lajirajojen ylittyminen on arkipäivää	34
■ Kelta- ja paimenmatara risteytyvät helposti	35
■ Karukka on karviaisen ja mustaherukan risteytymä	36–37
■ Esim. 7. Hyötygeenin nouto villilajista: Mesimarja	38–41
■ Geenin nouto risteyttämällä villilajista ja puhdistaminen takaisinristeytyksillä	42
■ Esim. 8. Hyötygeenin nouto villilajista: Maissin typpitalouden tehostaminen puhveliheinän geenillä	43–45
■ Mustaruoste uhkaa romahduttaa maailman vehnäsadot – jälleen	46
■ Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehniä kromosominpaloilla	47–51
■ Banaani on kehitysmaiden neljänneksi tärkein ruokakasvi	52
■ Esim. 10. Hyötygeenin nouto riisistä: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon	53–59
■ Kasvinjalostuksen suuri linja	60
■ Kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaasien avulla	61–63
■ Kasvinjalostus on vain ensimmäinen suuri laatu järjestelmä	64
■ Kasvinjalostuksen lipsahduksia	65
■ Jälkipaloiksi perinteistä Frankenstein-ruokaa?	66
■ Tieto ja osaaminen – vaarallista?	67
■ 1989 Statement of Eucarpia on Risk Assessment Regarding the Release of Transgenic Plants	68
■ (Ekologisen) genetiikan peruspäätelmiä	69



Ruokaa on tuotettava kaksin verroin vuoteen 2050 mennessä

- Nopeasti muuttuvassa maailmassa kasvinjalostusta tarvitaan kipeämmin kuin koskaan
 - ...näiden 10 000 kulttuurin vuoden aikana
- Maailman kasvintuotanto joutuu lähivuosikymmeninä kohtaamaan kolme kovaa haastetta:
 - Väestönkasvu
 - Viljelyolojen muuttuminen tärkeillä tuotantoalueilla (usein huonommiksi), sekä
 - Siirtyminen fossiilisista uusiutuviin raaka-aineisiin ja energiaan
- Lyhyt johdatus kasvintuotannon kriittisiin ongelmiin on abstraktissa (<http://geenit.fi/LabL12.pdf>)
- Tässä luennossa tarkastellaan uuden vs. perinteisen kasvinjalostuksen turvallisuutta
- Onko kasvinjalostus vaaraksi terveydellemme? Ja onko se vaarallisempaa uusilla kuin vanhoilla menetelmillä?



Kuva: ©J.Tammissola, Mallorca 2010

- Villiporkkanan kookkain alalaji, isoporkkana (*Daucus carota* ssp. *maximus*) (vas.)
- Jalostettu porkkana (150 g) (oik.)

You are what you eat

You are what you eat. Well, I want to be wild. Join me and take a walk on the wild side of Finnish food.

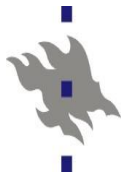
Bon appetit! ●

.....
ALEXANDER STUBB is Finland's minister for European affairs and foreign trade.
.....

(Blue Wings Sep. 2012)

- Niinkö on näreet? No ei:
- Ihminen ei ole, mitä hän syö...
- Reipas Eurooppa-ministerimme on tässä selvästikin nielaissut muodikasta puppua "villivihanneksista" yms.





Ruvetaan röhkimään...?



Ihminen ei ole mitä hän syö



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

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



Luuloista laatua? Myyteistä myntiksi kotimaisen ruoan lumokampanjalla

- Maatalousministeriö kampanjoi suomalaisten elintarvikkeiden laadun parantamiseksi, huippukalliin ravinnon maassa:
- 16 muotikokkia maailmalta, kansainvälisten toimittajien kuorruttamina, kustannettiin euroillamme Lapin luksuslomalle, valistamaan metsäläisiä kotimaisen lähiruoan hurmasta:
- Kokkasivat jäkälää, sammalta, neulasia, kukkia, tuohta, nilaa, puiden lehtiä, heinää, juuria, kärpäs-sieniä; toki ”Jätä raa’aksi”-idealla. Poronkieli hautui luonnonläheisesti vessan lattialla. ”Siinä on taikaa”.



”Meillä on kaikkea”, riemuitsee ministeriö kansalaisten puolesta
(HS 9.9.2010)



Syödään Suomen luonto?

- No, 1860-luvun nälkävuodet tappoivat 170 000 ihmistä Suomessa
 - Köyhien ruisleipään lisättiin näet puolet jäkälää – sen myrkkyjä on vaikea poistaa ja ravintoarvo on heikko (Antti Häkkinen, Yliopisto 10/2010)
- Etelä-Suomen kaupunkilaisten on ehkä tyytyminen jäkälän sijasta vaikkapa somaan punakoisoon, mutta onhan sekin sentään myrkyllistä... (mikä vinkiksi ideologisille ”keräilypuutarhureille”)



Solanum dulcamara
Kuva: J.Tammisola,
Pirkkola 2010

” Tallien ja navetoiden edustalla sen uskottiin suojaavan karjaa noitien aiheuttamilta onnettomuuksilta”

Kasville ihminen on tuholainen, jota vastaan täytyy puolustautua

...poikkeuksena vain eräät marjat ja hedelmät

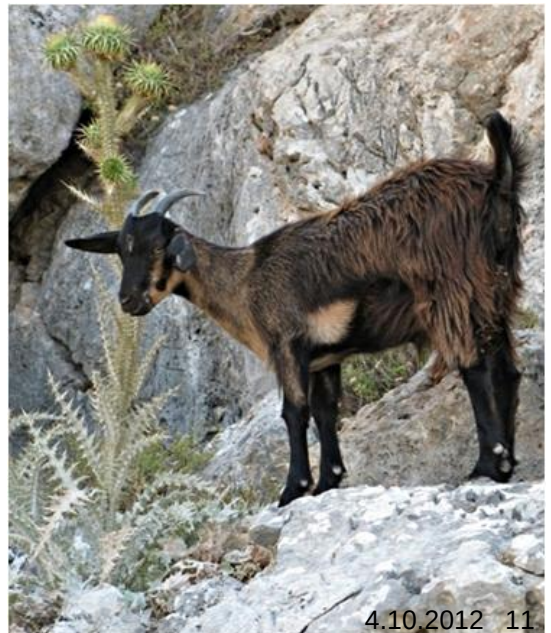


Kolymia, Rodos 2009. © J. Tammissola

Tähän tähtisilmään ei kajoa vuohikaan...
(*Onopordum bracteatum*, Illyrian jyrkänne-
jättiskottiohdake)



Jussi Tammissola, Jalostuksen turvallisuus



4.10.2012 11



Viljelykasveja täytyy muuttaa ...ja on niitä jo aika lailla muutettukin

- Kasvit puolustautuvat tuholaisiltaan, kuten ihmiseltä, mm. moninaisilla kemiallisilla aseilla
- Ihmisen ohjaamalla evoluutiolla, kasvinjalostuksella, viljelykasveja on muutettu toiveittemme suuntaan
- Sadot ovat nousseet usein jopa 10–30-kertaisiksi
 - Puolet tästä on jalostuksen ansiota
- Ruokakasvien myrkkyjä ja haitta-aineita on saatu vähenemään
- Myös viljelykasvien **ravitsevuutta** on hieman parannettu
 - mm. kohottamalla välttämättömien amino- ja rasvahappojen pitoisuuksia
- ...mutta paljon enemmän on vielä tekemättä



Mihin uutta kasvinjalostusta tarvitaan – ja miksi? 1 (2)

❖ Ideologisia päiväunia...?

”Luomu ruokkii koko maailman... ja enemmänkin”

(Lim Li Ching, geenivastustaja Mae-Wan Ho:n pitkäaikainen työntekijä, HS 29.3.2009)

<http://geenit.fi/HS290309.pdf>

❖ Aatepuuro ei nälkää karkoita?

”Ei likimainkaan” (FAO [2007](#)).

Väestö kasvaa, ja ruokaa on vuonna 2050 tuotettava **kaksi kertaa enemmän** (FAO [2009](#))

❖ ...jotta ruokaturva pysyisi edes ennallaan

❖ Luonnon säästymiseksi tässä täytyisi onnistua nykyiseltä (tai pienemmältä) peltoalalta

❖ Jos ympäristö muuttuu ja maataloustuotanto heikkenee tärkeimmillä tuotantoalueilla

❖ ...on nopeasti päivitettävä maailman tuhannet tärkeimmät kasvilajikkeet uusissa ekolokeroissaan menestyviksi.



Mihin uutta kasvinjalostusta tarvitaan – ja miksi? 2 (2)

Tärkeitä jalostusominaisuuksia ovat mm:

- ❖ Satoisuus (uudet käytöt)
- ❖ Resurssien käytön tehokkuus (vesi ja ravinteet, jopa yhteyttäminen); myös hiilitehokkuus
- ❖ Taudinkestävyys
- ❖ Tuholaiskestävyys
- ❖ Ekologinen sietokyky
 - Ongelmina kuumuus, kuivuus, kylmyys, suolaisuus, happamuus [alumiini], tulvat, olojen vaihtelu
- ❖ Ravitsevuus (proteiinit, öljyt)
- ❖ Terveellisyys:
 - Myrkkyjä ja haitta-aineita on poistettava
 - Vitamiinit ja mineraalit olisi saatava maailman tärkeistä ravintokasveista (WHO)
- ❖ Sekä vihdoin myös maku
 - koska lopultakin osataan...



Kasvinjalostuksen menetelmiä

- Kasvinjalostus on **ihmisen ohjaamaa evoluutiota**
 - viljelykasvien perinnöllisten ominaisuuksien muuttamista ihmisen toivomaan suuntaan (Tammisola & OECD 2000)
- 1. Valintajalostus (11 000 v.)
 - ”Luonnonoikkujen keräily” alkoi samalla kuin maanviljely: ihmiset valitsivat pelloiltaan aina sopivimpia kasveja jatkoon
- 2. Risteytysjalostus (300 v.)
 - Syntyi varsinaisesti vasta, kun kasvien seksuaalisuutta alettiin ymmärtää (Camerarius 1694)
 - Geenejä siirretään kasvista toiseen risteyttämällä
- 3. Geenimuuntelu (75 v.)
 - moderni gm mikrobeilla 1973, kasveilla 1983
- 3a. Perinteinen mutaatiojalostus (75 v.)
 - Satunnaismuutosten aiheuttamista perimään säteilyllä ja perimää vaurioittavilla kemikaaleilla
- 3b. Kasvien moderni geenimuuntelu (29 v.)
 - Useita uusia täsmämenetelmiä 2000-luvulla, mm. **kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaaseilla**
 - Shukla ym. (2009) ja Townsend ym. (2009)



Menetelmä vai ominaisuus?

- Jalostetun kasvin **vaikutukset** terveyteen tai ympäristöön
 - niin myönteiset kuin kielteisetkin
- ...riippuvat siitä, mitä **ominaisuuksia** kasviin on jalostettu
 - eli millaisen kasvilajikkeen kehitimme
- ...**eivätkä** jalostuksessa käytetystä **menetelmästä**.
- Tästä perusasiasta on jo vuosikymmeniä vallinnut laaja yhteisymmärrys biotutkijoiden tiedeyhteisössä
 - esim. Eucarpia ([1989](#)), 25 nobelistia ([2004](#)),
Royal Society ([2009](#)), NRC ([2010](#)), 333 tohtoria ([2011](#)),
Ruotsin johtavat kasvitutkijat ([2011](#))
- ”Kuten aina” tieteen historiassa, on ”uusilla” jalostusmenetelmilläkin yhä yksittäisiä, nimekkäitäkin vastustajia myös tutkijapiireissä
 - he vain eivät ole voineet esittää asennoitumiselleen tieteellisesti kestäviä perusteita



Parannuksia vai tarkoittamattomia muutoksia?

- Tieteen nopea kehitys tällä vuosituhannella
 - varsinkin uusin tieto geenimuuntelusta ja perinnöllisestä vaihtelusta
- ...antaa tosin aihetta tarkentaa em. konsensusta seuraavalla varauksella:
- Jalostusmenetelmien turvallisuudessa on kyllä eroja sen suhteen, kuinka paljon menetelmä aiheuttaa tarkoittamattomia muutoksia kasviin
- Uusimmat geenimuuntelua soveltavat jalostusmenetelmät ovat yleisesti 100 000 – 100 kertaa hallitumpia (ja vastaavasti turvallisempia) kuin kasvinjalostuksen perinteiset menetelmät
- Seuraavissa kalvoissa asiaa analysoidaan vertailevilla esimerkeillä jalostuksen ydinalueilta



Kiusatun kasvin kosto

- ◆ Kasvit käyvät kemiallista sotaan kasvinsyöjiä vastaan.
 - ◆ Vaarattomatkin kasvit voivat tuottaa myrkyllisiä aineita, kun laidunpaine kasvaa liian suureksi.
 - ◆ ”Liikaa” kiusattuna tunturisara panostaa siementen sijasta myrkyn tuotantoon:
 - 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 hyönteistuhailta 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



Esim.1. Haittageenin sammutus: Erukahapoton rypsi 1(2)

- Rypsi- ja rapsiöljyssä on luonnostaan erukahappoa, joka on epäterveellistä nisäkkäille
 - Heikensi syöttökokeissa vasikoiden kasvua
 - Söimme sitä haitaksemme 4 500 vuotta
- Rypsit ja rapsit jalostettiin erukahapottomiksi vasta 1960-luvulla
 - Huonon maineen karistamiseksi erukahapoton kasvi sai Amerikassa uuden nimen: 'canola'
- Erukahapon syntymiselle välttämätön geeni onnistuttiin rikkomaan **perinteisellä mutaatiojalostuksella** myös Suomessa (Hankkija)
- Siemeniä käsiteltiin mutaatioita aiheuttavilla kemikaaleilla ja säteilytettiin kobolttikanuunalla
- Satojatuhansia jälkeläisten siemeniä tutkittiin yksittäin erukahapottoman siemenen löytämiseksi
- ...työläillä ja kalliilla mikromenetelmillä:
 - Rasvahapot analysoitiin pikku siemenen puolikkaasta
 - Toinen puolikas idätettiin sitten kasviksi petrimaljalla.



Esim.1. Haittageenin sammutus: Erukahapoton rypsi 2(2)

- Perinteinen mutaatiojalostus
 - jota geenivastustajat haluavat, ja jota kuka vain saa käyttää täysin vapaasti, ilman säädösrajoitteita
- ...on hakuammuntaa, jossa yhtä toivottua mutaatiota kohti kasveissa syntyy **satojatuhansia tarkoittamattomia** perimän muutoksia
- Onnistunut mutantti on hyvin harvinainen ”lottovoitto”, ja sellaisen löytämiseksi täytyy seuloa satojatuhansia jälkeläiskasveja
- Lopputulos: **Tarkoittamattomia muutoksia kasvin aineenvaihduntaan** kertyi tässä perinteisen mutaatiojalostuksen esimerkissä lopulta jopa **sata kertaa enemmän**
 - mitattuna kasvissa ilmentyneiden proteiinien koko kirjolla (proteomi)
- ...kuin jalostettaessa rapsi glyfosaatinkestäväksi (1980-luvun) geenimuuntelulla
- Uudella täsmämuuntelulla haittageeni voidaan muuttaa toimimattomaksi tarkasti ja turvallisesti
- ...ja myös tuhansin verroin paremmalla hyötysuhteella:
 - pienetkin kasviaineistot riittävät.



Esim. 2. Haittageenin sammutus: Syötävät puuvillansiemenet

- Puuvillan siemenissä olisi runsaasti (22 %) hyvin korkealaatuista proteiinia
 - Proteiini (10 miljardia kg/v) riittäisi kohentamaan 500 miljoonan ihmisen terveyttä kehitysmaissa
 - Kasvi vain tuottaa gossypol-myrkkyä, joten sen siemeniä ei voi syödä, ja proteiini menee hukkaan
 - Myrkytön lajike kehitettiin toki jo kauan sitten
 - ...särkemällä myrkytön tuotannolle välttämätön geeni ("gossypol-geeni") perinteisellä mutaatiojalostuksella
 - Tulos? Täysi kato: Tuhohyönteiset kiittivät ja söivät suojaattomiksi riisutut kasvit suihinsa viljelmillä
 - Geenimuuntelulla, käyttäen v.2006 [Nobel-palkittua rna-häirintää](#), on puuvillan siemenet nyt jalostettu syötäviksi
 - Gossypol-geenin toiminta [estettiin vain siemenissä](#)
 - Muut kasvinosat säilyttivät tärkeän puolustuskykynsä
 - Perinteisillä menetelmillä jalostusta on [mahdotonta](#) kohdentaa solukkotasoisesti
 - Ne ovat siihen aivan liian karkeita ja summittaisia.
- Sunilkumar ym. (2006), [PNAS 103: 18054–9](#)



Esim. 3. Haittageenin sammutus: Aromivehnä

- Thaitutkijat selvittivät aromin genetiikan viljoilla
- Tavallisilla viljakasvien lajikkeilla tuoksuttomuuden geeni on toiminnassa
- ...kun taas arvokkaissa aromiriiseissä ('basmati' ja 'jasmiini') tämä aromin muodostumisen estävä geeni on sammunut mutaation tuloksena
- Löydetty geeni puhdistettiin ja patentoitiin, jotta oikeudet sovellusten markkinointiin pysyisivät kehitysmaassa
- Vehnällä näitä haittageenejä on kuusin kappalein (koska vehnä on heksaploidi laji), joten kaikkia niitä **olisi mahdotonta sammuttaa** vanhoin keinoin
- ...eli rikkomalla geenejä sattumanvaraisesti säteilyllä ja mutageenisilla kemikaaleilla
- Jo yhden geenin sammuttaminen perinteisellä "yrityksen ja erehdyksen" menetelmällä vaatii näet valtavasti työtä ja aikaa
- Uudella täsmämuuntelulla (rna-häirintä tai kohdennettu mutageneesi) aromivehnä voidaan kehittää jopa yhdellä tai **parilla jalostusaskella**

➤ <http://geenit.fi/PohSa130306.pdf>



Puutostaudit ovat suuri tappaja kehitysmaissa

Vuosikuolleisuus eräisiin ravinnepuutoksiin

(Lähde: Caulfield ym. 2006)

Alue ja sen väestömäärä [milj.]		A-vita- miini	Rauta	Sinkki
Itä-Aasia ja Tyynenmeren saaret	1 823	11 000	18 000	15 000
Itä-Eurooppa ja Keski-Aasia	475	0	3 000	4 000
Latin.-Amerikka ja Karibia	524	6 000	10 000	15 000
Lähi-itä ja Pohjois-Afrikka	301	70 000	10 000	94 000
Etelä-Aasia	1 378	157 000	66 000	252 000
Saharan etelä-puolinen Afrikka	674	383 000	21 000	400 000
Korkean tulotason maat	957	0	6 000	0
Yhteensä	6 132	627 000	134 000	780 000



Esim. 4. Ravitsevuusjalostus: Biocassava Plus 1(3)

- Kassava eli maniokki (*Manihot esculenta*) on 800 miljoonan ihmisen perusruokaa kehitysmaissa
 - Saharan eteläpuolisen Afrikan kasvatetuin ravintokasvi
- Viljelyominaisuudet sopivat köyhille kasvattajille:
 - Halpa viljeltävä, viihtyy huonoillakin mailla, sietää erinomaisesti kuivuutta, tuottaa satoa läpi vuoden
- Perinteinen kassava on kuitenkin **kehnoa ruokaa**:
- Tappavan myrkyllistä (synnyttää syaanivetyä)
 - Prosessoitava 3–6 vrk ajan myrkyä vähentämiseksi
- Huonot ravinto-ominaisuudet
 - Juurakko on lähes silkkaa tärkkelystä
 - Niukasti proteiinia, vitamiineja ja mineraaleja
 - Maailman 10 pääravintokasvista kassavalla on alhaisin proteiini:hiilihydraatti-suhde
 - Aikuisen kassava-annoksesta (500g) saa riittävästi kaloreita mutta vain 30 % proteiinin, raudan ja sinkin sekä 10 % A-vitamiinin esiasteen (β -karoteeni) päivittäisestä vähimmäistarpeesta (MDR)
- Juurakot pilaantuvat 2–3 päivässä korjuun jälkeen
- Sayre ym. 2011, [Ann.Rev. Plant Biol. 2011; 62: 251–72](#)



Esim. 4. Ravitsevuusjalostus: Biocassava Plus 2(3)

Annos biokassavaa voi turvata päivän ravitsemuksen

- **BioCassava Plus**: Laajassa kansainvälisessä jalostusprojektissa Afrikassa korjataan kassavan puutteita
- Tavoitteena on, että uusissa kassavalajikkeissa olisi niin paljon vitamiineja, mineraaleja ja proteiinia, että jo yksi ateria turvaa päivän ravitsemuksen
- Geenimuuntelulla on edistytty jokaisella osa-alueella:
- **Rautaa** imeytyy maasta kassavan juurakkoon neljä kertaa enemmän, ja myös **sinkin** imeytymistä on tehostettu
- Juurakoissa on nyt **E-vitamiinia**, ja 15–30 kertaa enemmän **A-vitamiinin esiastetta** (β -karoteenia)
- Juurakoiden **syanidipitoisuutta** on vähennetty 80 %, ja lisäksi syanidi poistuu prosessoinnissa 50 kertaa nopeammin
- **Proteiinia** syntyy neljä kertaa enemmän, kun mm. typen siirtymistä syaanivedyn aineenvaihdunnasta juurakon varastoproteiineihin vauhditetaan
- **Viruskestävyyttä** on parannettu jalostamalla kasviin viruksen lisääntymistä haittaava proteiini sekä lyhyitä häirintä-rna-jaksoja
- Juurakot on nyt jalostettu **säilymään** jo 3–4 viikkoa.



Esim. 4. Ravitsevuusjalostus: Biocassava Plus 3(3)

Parannetut ominaisuudet yhdistetään samaan lajikkeeseen

- Ensimmäisessä vaiheessa yhdistyvät viruskestävyys sekä korkeammat proteiini-, β -karoteeni- ja mineraalitasot

Kenttäkokeet alkoivat Nigeriassa v. 2009 ja Keniassa v. 2010



Perinteistä kassavaa

Geenimuuntelulla voidaan monesti saavuttaa jopa kymmeniä kertoja enemmän tuloksia kuin perinnejalostuksella

- jossa eteneminen usein pysähtyy geenivaihtelun niukkuuteen.

➤ Sayre ym. ([2011](#))



Vitamin A Fortified Cassava

Traditional Cassava



Esim. 5. Terveellisyysjalostus: Onko A-vitamiiniriisi täysin tarpeetonta vai uhka ihmiskunnalle? 1(3)

Kuinka jalostettiin ”kultainen riisi”?

- **EU ja Rockefeller-säätiö** rahoittivat A-vitamiinin esiastetta (β -karoteenia) sisältävän riisin jalostamista
- Projektissa avainasemassa olivat sveitsiläiset yliopistotutkijat, etenkin prof. Ingo Potrykus
- Tämä riisi tuottaa jyvissä merkittäviä määriä β -karoteenia, jota ihmisen elimistö sitten muuntaa tarpeen mukaan A-vitamiiniksi
 - Perinteisten riisien jyvistä ei A-vitamiinia saada (vihreissä riisikasvin osissa sitä kyllä on)
- Jalostuksessa päästiin tuloksiin viemällä riisiin ensi vaiheessa kaksi β -karoteenin biosynteesissä hyödyllistä geeniä narsissista
 - ”ensimmäisen aallon” modernilla geenimuuntelulla
- ...mutta uudemmissa lajikkeissa (Golden Rice-2) hyödynnettiin sen sijaan paljon tehokkaampaa maissin geeniä
- Kehitetyt kasvilinjat **lahjoitettiin Maailman riisintutkimuskeskukselle (IRRI, Filippiineillä)**
- ...lajikkeiden jalostamiseksi kehitysmaiden (pien)viljelijöille vapaaseen käyttöön



Esim. 5. Terveellisyysjalostus: Onko A-vitamiiniriisi täysin tarpeetonta vai uhka ihmiskunnalle? 2(3)

- Kultaista riisiä viimeistellään viljelyyn viiden Aasian maan sekä monien yliopistojen ja tutkimuslaitosten kansainvälisessä ohjelmassa 'The Golden Rice Project': <http://www.goldenrice.org/>
- Sen lajikkeita odotetaan **käytännön viljelyyn** Aasiassa
 - heti, kun kussakin maassa säädöshyväksynät valmistuvat (mihin Gates-säätiö antaa rahoitusta)
- Tutkimukset osoittavat, että kultainen riisi on A-vitamiinin lähteenä **erittäin tehokasta** ja ylittää puutoksen ehkäisyssä tutkijoiden odotukset
 - **50 g jyviä** tyydyttää 6–8-vuotiailla lapsilla 60 % A-vitamiinin päivittäisen saannin suosituksesta Kiinassa
 - Kultaisen riisin β -karoteeni poistaa A-vitamiinivajetta yhtä tehokkaasti kuin puhdas, öljyyn sekoitettu β -karoteeni – ja paremmin kuin pinaatin β -karoteeni
- Elimistössä kultaisen riisin β -karoteeni muuntuu A-vitamiiniksi paljon tehokkaammin kuin useimmista hedelmistä ja vihanneksista saatu
- Golden Rice-2: Paine ym (Nature Biotechnology [2005](#))
- Tang ym (AJCN [2012](#))
- ❖ Greenpeace on kierrättänyt mediassa vuosia väitettään, ettei kultaisesta riisistä ole mitään apua, ”ellei sitä syö **14 kg päivässä**”



Esim. 5. Terveellisyysjalostus: Onko A-vitamiiniriisi täysin tarpeetonta vai uhka ihmiskunnalle? 3(3)

Miljardien ravintoon riittävästi A-vitamiinia?



- Maailmassa **kuolee** joka vuosi **627 000 ihmistä** A-vitamiinin puutokseen (Caulfield ym 2006)
- Valtaosa heistä on pieniä lapsia
 - jotka "vain" sokeutuvat ensin, mutta useimmiten kuolevat vuoden sisällä sokeutumisestaan
- Eräät uskonpuhaukset (esim. antroposofia, joogalentäjät, Mae-Wan Ho, Vandana Shiva, IFOAM, Soil Association, Greenpeace ja Maan ystävät) **kampanjoivat yhä kultaisen riisin pysäyttämiseksi** (mm. "Stop Gates!"-kampanja)
 - ...ja onnistuivat hidastamaan riisin pääsyä käyttöön ainakin 8 vuodella – ihmisuhreja kenties miljoonia
 - ...ja yhä lisää, sillä **"aateväki" tuhosi** Kultaisen riisin viljelykokeet Maailman riisintutkimuskeskuksessa Filippiineillä v. 2013



Esim. 6. Terveellisyysjalostus: Soijalla pitkäketjuisia ω 3-öljyjä soluihimme 1(3)

- Levät ja sammaleet osaavat valmistaa pitkäketjuisia, 20 (EPA) tai 22 (DHA) hiiliatomia sisältäviä monitydyttämättömiä omega3-rasvahappoja, joita ihmisen elimistö tarvitsee hermosolujen rakentumiseen
 - Viljelykasvit eivät ole siihen pystyneet
- EPA on sydänterveiden* kannalta tärkeä, toisin kuin kasviöljyjen yleisin ω 3-rasvahappo, lyhytketjuinen (18-hiilinen) ALA eli alfa-linoleenihappo
 - josta vain prosentti muuntuu ihmisen elimistössä pitkäketjuiseksi, sydäntauteja ehkäiseväksi
- Näitä pitkäketjuisia ω 3-happoja saamme merikaloista, jotka syövät leviä. Kalaa tulisi nauttia kahdesti viikossa
 - Kalaa ei kuitenkaan riitä koko maailmaan, ja ylikalastuksen ongelmat ovat vain pahenemassa
 - ...eikä kala useinkaan käy allergikoille tai vegaaneille
- Amerikkalaiset saavat pitkäketjuisia ω 3-rasvahappoja ravinnostaan vain neljäsojan suositellusta määrästä
- Öljyalaadun parannuksista olisi apua myös kehitysmailla, joiden nykyiset kasvirasvat – kuten kookosrasva tai sinappiöljy – ovat terveydelle epäedullisia.

* Selvittäessään EPA:n suhdetta sydäntautien riskiin USA:n elintarvike- ja lääkeviranomaisen FDA on hyväksynyt käyttöön seuraavan terveysväitteen:
“Supportive but not conclusive” research shows that consumption of EPA
“may reduce the risk” of CVD



Esim. 6. Terveellisyysjalostus: Soijalla pitkäketjuisia ω 3-öljyjä soluihimme 2(3)

- USA:ssa on tulossa markkinoille veren EPA-arvoja kohottava ' [SDA Omega-3 Soybean](#) '
- ...ehkä jo v. 2012 aikana (virallinen hyväksyntä on nyt loppusuoralla, ja FDA antoi v. 2009 öljylle GRAS-statuksen eli totesi sen 'tunnetusti turvalliseksi')





Esim. 6. Terveellisyysjalostus: Soijalla pitkäketjuisia ω 3-öljyjä soluihimme 3(3)

- Stearidonic acid (SDA) on lyhytketjuinen, 18-hiilinen ω 3-rasvahappo, jota elimistömme kuitenkin **muuntaa tehokkaasti EPA:ksi** (James ym, AJCN [2003;77:1140–5](#))
 - Ravinnosta saatuna SDA kohottaa sydänterveellisen EPA:n pitoisuutta veressä merkittävästi: 16.7–26%
 - ...kun taas kasviöljyissä kehuttu alfa-linoleenihappo (ALA) nostaa sitä vain vähän (0.2–7%)
- Uusi tutkimus varmisti, että SDA-soijaöljyn nauttiminen parantaa merkittävästi verisolujen EPA-indeksiä (Lemke ym, AJCN [2010; 2010;92:766–75](#))
- Soija saatiin tuottamaan öljyynsä runsaasti SDA:ta jalostamalla kasviin yksi geeni **toisesta kasvilajista** ja yksi geeni **Neurospora-sienestä**
- Monityydyttämättömät öljyt härskiintyvät usein nopeasti, mutta SDA-soijaöljy saadaan jo säilymään pulloissa ensiluokkaisena riittävän pitkään.



Kasveilla lajirajojen ylittyminen on arkipäivää

...toisin kuin eläimillä

Pari esimerkkiä viljelykasveista:

- **Vehnä** on kolmen eri heinälajin risteytymä
- ...ja **ruisvehnässä** yhdistyvät neljän kasvilajin (kolmen eri kasvisuvun) geenistöt
- **Puutarhamansikka** on eurooppalaisen ja amerikkalaisen mansikkalajin risteytymä
 - kromosomistoltaan oktoploidi, eli 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. Tammisola, Itä-Pakila 2010

- | | |
|----------------------|---------------------|
| • <u>Keltamatar:</u> | <u>Paimenmatar:</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(2)



Karukka, Helsinki 2009
© J. Tammissola



Karukka on karviaisen ja mustaherukan risteytymä

2(2)



Karukka, Helsinki 2006. © J. Tammissola

- 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
- ...niin laukeavat lainsäädännön raskaat ja kalliit vaatimukset

👉 <http://geenit.fi/LabL12.pdf>

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



Esim. 7. Hyötygeenin nouto villilajista: Mesimarja 1(4)



Maaninka 1968 © J. Tammisola

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



Esim. 7. Hyötygeenin nouto villilajista: Mesimarja 2(4)

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*)
 - sen marjat vain ovat maultaan mitättömiä...



Esim. 7. Hyötygeenin nouto villilajista: Mesimarja 3(4)

Aromi väljähtyi, kun yhdisteltiin tuhansia
tuntemattomia geenejä sattuman kauppaa

- Näitä kahta mesimarjan ”sisarus”-alalajia risteytettiin perinteisesti keskenään ja takaisin aitoon mesimarjaan päin vuosien 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 saa
 - niiden makuspektri on paljon kapeampi (sadan aromiaineen sijasta se painottuu mesifuraaniin)
- Opetus: ”pelastus”ominaisuudet täytyy, varovaisuuden vuoksi, tuoda kasviin puhdistettuina, geenimuuntelun avulla.
- Pirinen ym. (1998). Description of three new arctic bramble cultivars and proposal for cultivar identification. Agric. Food Sci. Finl. 7:455–468



Esim. 7. Hyötygeenin nouto villilajista: Mesimarja 4(4)

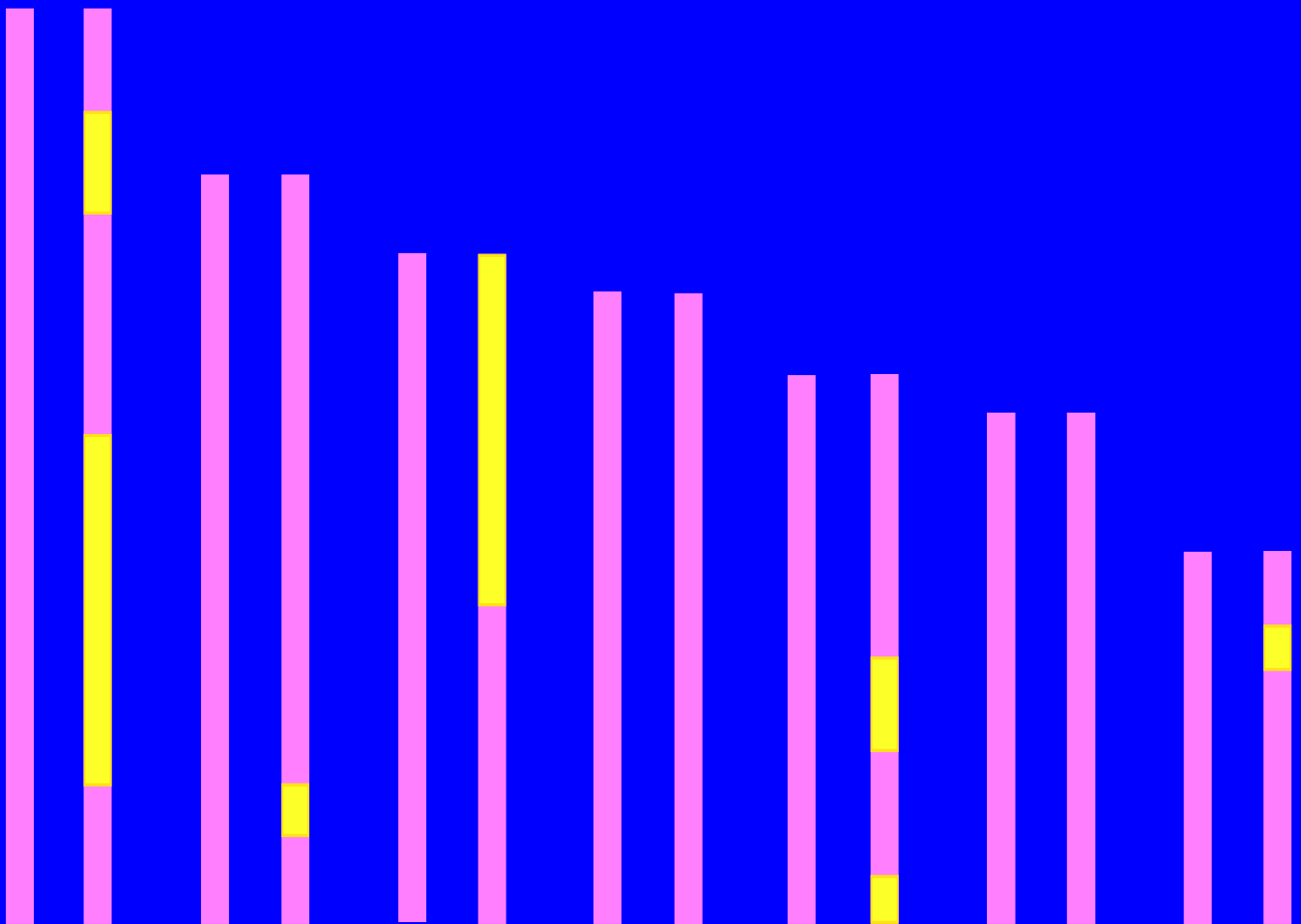
Olisiko ”perinteinen” sotkeminen jo kiellettävä?

- 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 liftaamaan huonon maun geenejä:
- Uudessa täsmäjalostuksessa kasviin tuodaan (geenimuuntelulla)
 - miljoona kertaa vähemmän vierasta perimäainesta
 - 10 000 kertaa vähemmän tarkoittamattomia geenejä
 - joista suuri osa on tavalla tai toisella haitallisia...
- Onnistunut yksilö löydetään tällöin seulomalla
 - tuhat kertaa vähemmän jälkeläislinjoja kuin vanhassa, likaisessa (perinne)jalostuksessa
- Nykyaikainen geenitieto ja -muuntelu parantaa näin jalostuksen puhtautta ja hallittavuutta **muutamalla kertaluokalla** (eli 1000 – 100 000 -kertaisesti) perinteiseen kasvinjalostukseen verrattuna.
- Saako mesimarjan pelastaa?

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

Geenin nouto risteyttämällä villilajista ja puhdistaminen takaisinristeytyksillä

Risteytysjälkeläisen kromosomit ovat mosaiikki risteytysvanhempien kromosomien osista



 Viljelykasvi

 Villilaji



Esim. 8. Hyötygeenin nouto villilajista: Maissin typpitalouden tehostaminen puhveliheinän geenillä 1(3)



”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 perinteisten manipulaatioiden avulla, käyttäen ”siltana” risteytyksiä villien teosinttien kanssa, voidaan maissi ja puhveliheinä välillisesti risteyttää
- ...mutta näin saaduissa (kaksois)hybrideissä on tuhansia viljelymaissin kehittyneille ominaisuuksille haitallisia, ”primitiivisiä” geenejä
- ...joten ”puhmaissit” ovat viljeltäviksi yhtä alkeellisia kuin alkumaissi oli tuhansia vuosia sitten.



Esim. 8. Hyötygeenin nouto villilajista: Maissin tyypitalouden tehostaminen puhveliheinän geenillä 2(3)

- Näille lajihybrideille on siksi vielä tehtävä kymmenien sukupolvien ajan takaisinristeytyksiä maissiin päin
- ...valvoen kaiken aikaa, että maissiin siirrettävä hyötygeeni pysyy kelkassa mukana
- Lopputulokseen jää silti väistämättä ”viitisensataa” *Tripsacum*-suvun ”turhaa”, tuntematonta geeniä:
 - hyötygeenin ”kylkiäisiä”, joita ei olisi maissiin kaivattu
- Maissin perimä (2,3 mrd dna-emästä) luettiin kokonaan läpi v. 2009: *Science* 2009; 326: 1112–5
<http://dx.doi.org/10.1126/science.1178534>
- Maissilla on noin 32 000 geeniä
- ...eikä kukaan kysy, mitä puhveliheinän em. sadat arvaamattomat ”peukalokyytiläiset” oikein tekevät maissilajikkeille ja niiden vuosituhansien työllä parannetuille ominaisuuksille.
- Kas, perinnejalostus ”nyt vain on” sellaista:
 - Likaista arpapeliiä (<http://geenit.fi/HSTKas110804.pdf>)
 - ...johon menneen ajan kaiho meitä viekoittaa?



Esim. 8. Hyötygeenin nouto villilajista: Maissin typpitalouden tehostaminen puhveliheinän geenillä 3(3)



Puhveli, Korkeasaari 15.7.2009. © J.Tammisola

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

- Miksi ihmeessä ihmiskunnan pitäisi ottaa aivan tarpeettomia riskejä
 - ...likaamalla "peruuttamattomasti" ihmiskunnan vuosituhantinen luomus, maissi,
 - ...sadoilla puhveliheinän tuntemattomilla, "primitiivisillä" ja usein haitallisilla geeneillä?
- Hyötygeenithän voidaan jalostaa maissiin jo täysin puhtaasti, uusilla geenimuuntelun menetelmillä.



Mustaruoste uhkaa romahduttaa maailman vehnäsadot – jälleen

Ruosteenkestävät ja lyhytkortiset vehnälajikkeet

- ...toivat "vihreän kumouksen" vehnän viljelyyn 60-luvulla:
- Peltonen-Sainio P. [Vihreä vallankumous](#), Tiede 22.8.2005
- Tautisien evoluutio iskee vihdoin takaisin:
- Mustaruosteen (*Puccinia graminis*) **tuhoisa uusi rotu** ([Ug99](#)) leviää nyt Afrikasta Aasian kautta maailman vehnäalueille
- ...ja vehnäsadot uhkaavat romahtaa kaikkialla
- Maailman tuhannet tärkeät vehnälajikkeet on siksi jalostettava nopeasti uudelleen, kestäviksi tälle tuhoisalle tautirodulle
- Kunnollisia kestävyysgeenejä sitä vastaan ei löydy vehnäaineistoista
- Villiheinistä kestävyysgeenejä on kuitenkin löydetty, ja niitä ollaan siirtämässä leipävehnään
- ...”perinteisillä” kromosomimutaatioilla, kuten translokaatioilla.

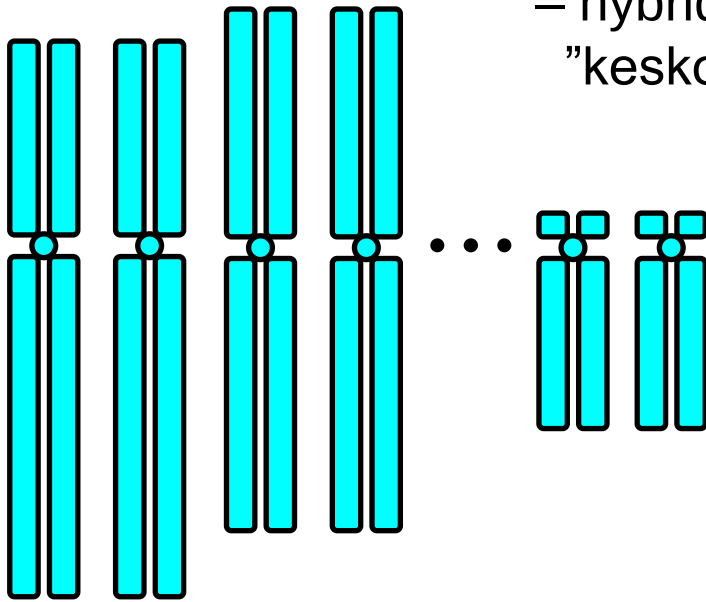




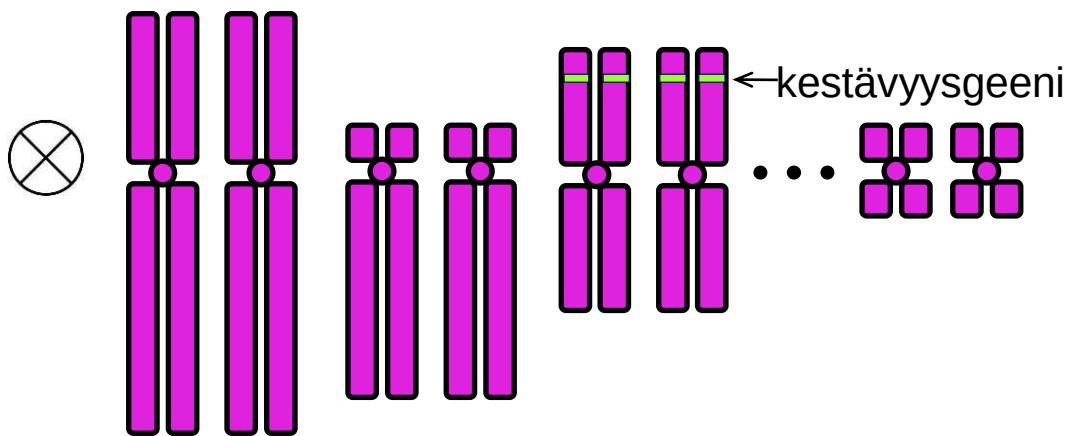
Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehnien kromosominpaloilla 1(5)

Leipävehnä ja juolavehnän sukulainen
pakkoristeytetään keskenään*

– hybridisiemen pidetään hengissä
”keskoshoidolla” (alkionpelastus)



Leipävehnä (*Triticum aestivum*)



”Juolavehnä” (*Thinopyrum* sp.)

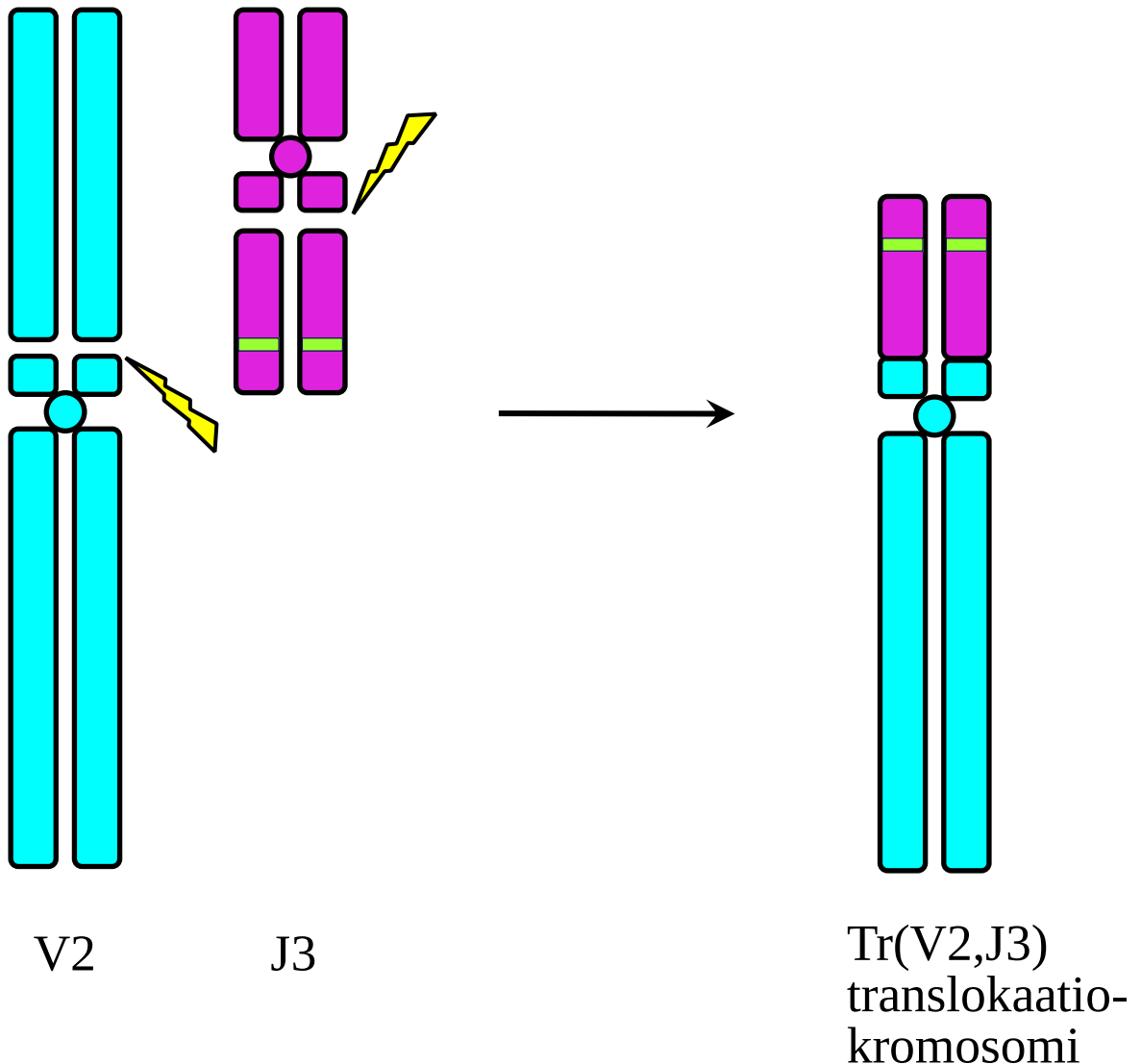
* Sama prosessi toistetaan kenties viiden eri villilajin kanssa,
jotta vehnään kertyisi riittävästi eri kestävyysgeenejä
Ug99-rotua vastaan



Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehnien kromosominpaloilla 2(5)

Lajiristeytymää pommitetaan säteilyllä
kromosomien katkomiseksi

- vehnän jonkin kromosomin osa
häviää ja tilalle tarttuu
”juolavehnän” kromosomin osa

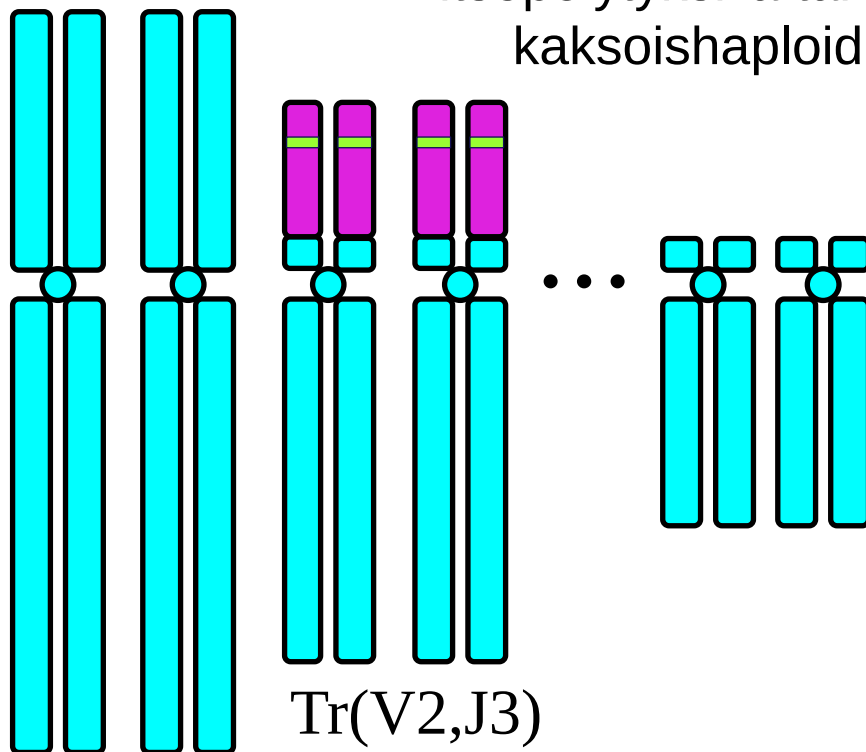




Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehnien kromosominpaloilla 3(5)

Lajihybriditä risteytetään takaisin vehnään
5–10 sukupolven ajan* turhien villikromosomien
karsimiseksi

– ja lopuksi tuotetaan
homotsygoottinen kasvinlinja
itsepölytyksillä tai
kaksoishaploiditekniikalla



Tuloksena vehnälinja, johon on ympätty
”juolavehnän” kromosomin osa

*Dna-määrittysten tukemana, sillä 5 polven päästä vielä yli puolet jälkeläisistä sisältää ”juolavehnän” kromosomeja

Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehnien kromosominpaloilla 4(5)

Tämä 1900-luvun puolivälin ”retro”menetelmä,
[perinteinen kromosomimanipulaatio](#), tuo ongelmia:

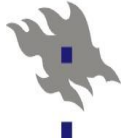
- Irronneessa kromosomin osassa  vehnästä voi **kadota pysyvästi** jopa tuhansia vehnän geenejä
- ...joista moni saattaa olla korvaamaton vehnän laadulle, satoisuudelle ja viljeltävyydelle
- Tilalle tarttuvassa käsivarren pätkässä  vehnän perimään **saapuu pysyvästi** – ja tarpeettomasti – jopa tuhansia, tuntemattomia villiheinin geenejä
- Monet näistä ”primitiivisistä” geeneistä voivat olla vahingoksi vehnän vuosituhansia parannetuille ominaisuuksille
- Kromosomimuutosten tuloksena vehnän jalostuspopulaatio **jakautuu erilaisiin ”kromosomirotuihin”**, joiden välisiä risteytyksiä kiusaa heikompi jyväsato (sillä translokaatioheterotsygootin sukusolujen muodostuksessa on häiriöitä)
- ...mikä vaikeuttaa lajikkeiden jalostamista perinteisillä risteytyksillä.



Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehnien kromosominpaloilla 5(5)

- Saadun kromosominpalan (tulokas)geeneissä ei ole lainkaan **geneettistä vaihtelua** – sitä syntyy vasta mutaatioiden tuloksena, evoluution aikaskaalassa
- Kromosominpalan tarttumakohtaan saattaa muodostua **fuusiogeeni***: tässä esimerkissä sulautuma vehnän ja villilajin kahdesta eri geenistä
- Fuusioituneet geenit saattavat inaktivoitua, tai fuusiogeeni ei ehkä aina toimi kasvin tai sadon kannalta tarkoituksenmukaisesti*
 - jolloin huono kasvilinja karsitaan pois valinnalla
- Toimivien ja **vaiennettujen geenien kirjo** voi lajiristeytyksen eri jälkeläislinjoissa muuttua oleellisesti
- ...mikä heikentää jalostuksen ennakoitavuutta:
 - Tuloksena kirjavia muutoksia (jotka eivät ole ihmisen ohjauksessa); esimerkkinä pukinpartalajien risteytymän (*Tragopogon dubius* x *T. pratensis*) **nopea evoluutio** Amerikassa
- Lajikkeiston **ominaisuudet voivat muuttua** siis tästäkin syystä arvaamattomasti viljelykasvissa perinteisen lajiristeytyksen jälkeen
- Uusi jalostus täsmämuuntelulla on joka suhteessa monin verroin **hallitumpaa** (kuten oli jo **'klassillinen'** geenimuuntelu).

* Moni leukemialle altistava geenivirhe ihmisen perimässä (esim. *BCR-ABL1*) on peräisin ihmisen luontaisissa translokaatioissa tapahtuneista geenifuusioista



Banaani on kehitysmaiden neljänneksi tärkein ruokakasvi



Rodos 2009 © J. Tammisola

- ◆ Ugandassa, Burundissa ja Ruandassa syödään 250–400 kg banaaneja vuodessa/hlö



Esim. 10. Hyötygeenien nouto muista kasveista: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon? 1(5)



Lehtilaikkutauti (Black Sigatoka)

Kahden sienitaudin **uudet rodut** uhkaavat nykyisien kauppabanaanien viljelmää

- ◆ Lehtilaikkutauti on tuhoisa ja vaatii huolellista torjuntaa
- ◆ Kasvit on ruiskutettava torjunta-aineilla jopa 70 kertaa/v.
 - mihin kehityksmailla ei ole varaa
- ◆ Sieni kehittää sietokykyä torjunta-aineille nopeasti
- ◆ Lakastumistauti tappaa kasvit, eikä hoitokeinoja ole
 - itiöt säilyvät maassa 30 v. tartuntakykyisinä.

- <http://geenit.fi/ALba9203.pdf>
- <http://www.hs.fi/ulkomaat/a1305915368063>

[lisätty 23.3.2015]



Esim. 10. Hyötygeenien nouto muista kasveista: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon? 2(5)

...vai pelastaako
kaupan banaanit
"eläimen kikkare"



- ...eli villi luonnon banaani?
- Ei sitä syö erkkikään (se on täynnä kovia siemeniä)
- ...mutta taudinkestävyyden geenejä siitä voisi noutaa (kunhan niitä ensin sen perimästä löydetään).



Esim. 10. Hyötygeenien nouto muista kasveista: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon? 3(5)

'Cavendish'-banaanien lähtölaskenta on alkanut?

- Tuhoisien sienitautien uudet rodut uhkaavat autioittaa nykyisten kauppabanaanien viljelmät
- ...kuten kävi puoli vuosisataa sitten:
 - Iso ja makea "hymyilevä banaani" ('Gros Michel ') katosi myymälöistä
 - ...ja tilalle tulivat maultaan heikommät mutta silloisia tautirotuja kestäneet 'Cavendish'-lajikkeet
- Taudinkestävyyden geenejä tiedetään esiintyvän villeillä banaanilajeilla
- ...mutta niitä voidaan tuoda kauppalajikkeisiimme käytännössä vain geenimuuntelulla
- <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.09.010>
- Kauppabanaanit ovat näet **siemenettömiä**
 - steriilejä triploideja
- ...joten lajikkeen parantaminen jatkojalostuksella perinteisin keinoin on **äärimmäisen tehotonta**
 - 40 vuoden työllä perinteisin keinoin ei 'Cavendish'-banaaneille ole saatu aikaan taudinkestävää seuraajaa

➤ <http://geenit.fi/Alba9203.pdf>



Esim. 10. Hyötygeenien nouto muista kasveista: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon? 4(5)

”Hapanbanaani” – 40 vuotta perinteisen risteytysjalostuksen menestystarinaa?

- Kymmenen hehtaaria kauppabanaanin viljelmää pölytettiin kestävien aasialaisten villibanaanien siitepölyllä – käsipelillä
- Saatiin 400 000 kiloa banaaneja, jotka survottiin ja suodatettiin
- Siemeniä löytyi 15, joista 4 iti
- Saadut kasvit risteytettiin sitten takaisin villibanaaneihin
- Näin syntyi lopulta siemenetön lajike, joka oli vastustuskykyinen kummallekin uudelle tautirodulle
- Se vain on hapan: maku muistuttaa pikemminkin omenaa
 - ei ehkä aivan kuluttajan toiveuni?
- Biologeja tulos ei hämmästyttä: tuotiinhan vuosituhatien jalostustyöllä parannettuun viljelykasviin suuri määrä täysin tarpeettomia ”primitiivigeenejä” villilajeista.
- http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf



Esim. 10. Hyötygeenien nouto muista kasveista: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon? 5(5)

Palaako hävinnyt suosikkibanaani kauppoihin?

- ”Hymyilevää banaania” (‘Gros Michel’) jalostettiin taudinkestäväksi geenimuuntelulla Ugandassa
- Kasviin tuotiin kaksi **kitinaasigeeniä riisistä** – ne saattaisivat suojella kasvia sienitaudilta, sillä sienten solunseinässä on kitiiniä (kuten hyönteisten kuoreissa)
- Laboratoriokokeissa kasvit olivat hyvin kestäviä lehtilaikkutaudin (Black Sigatoka, *Mycosphaerella fijiensis*) uutta tuhoisaa rotua vastaan
- <http://dx.doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00672.x>
- Myös **kenttäkokeissa** ko. geenit hidastivat taudin leviämistä, mutta toistaiseksi vain jonkin verran. Lisätutkimukset uusilla geenimuodoilla jatkuvat.
- Banaaneille jalostetaan Ugandassa geenimuuntelulla muitakin hyötyominaisuuksia: kestävyyttä nematodeja, kärsäkkäitä, bakteeripoltetta ja **lakastumistautia** vastaan, korkeampaa A-vitamiini- ja rautapitoisuutta sekä hitaampaa kypsymistä
- Tavoitteena on nyt jo löytää ja tuoda kestävyys- ja laatu-geenejä viljelybanaanien avuksi myös banaanisuvun geenivarannoista.
- http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf



Villibanaanien geenivaroja etsitään, selvitetään ja (toivottavasti) säilytetään

– suomalaistutkija mukana kärkijoukossa

■ Viljellyn banaanin (*Musa acuminata*) **perimä** luettiin läpi v.2012: [Nature 2012; 488: 213–7](#)

■ Siitä on paljon apua banaanin jalostuksessa ja villien banaanilajien geenikartoituksessa

■ Banaanin suvusta tunnetaan nyt noin 70 **lajia**

■ Monet niistä on löytänyt tutkija [Markku Häkkinen](#)

■ Villibanaanien geenikartoituksen edetessä niistä voidaan eristää puhtaina **hyötygeenejä**

■ esimerkiksi kestävyys- ja makugeenejä

■ ...ja siirtää niitä viljelybanaanien avuksi uudella **täsmämuuntelulla**

■ jolla geeni voidaan sijoittaa tarkalleen haluttuun kohtaan viljelybanaanin kromosomistossa

■ ...ja toivottujen säätelytekijöiden ohjattavaksi

■ ...jolloin geeni saadaan vaikkapa ilmentymään vain niissä kasvinosissa (juurissa, lehdissä tai hedelmissä), joissa siitä on kasville tai meille hyötyä.

➤ http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf



Banaanin geenivaroja ei ole helppo säilyttää

- Kasveja tallennetaan geenipankkeihin useimmiten **siemeninä**
 - Ne kuivataan ja säilytetään sitten syväjäässä, jolloin ne pysyvät usein vuosikymmeniä itämiskykyisinä
 - Elinkykyisyyden turvaamiseksi osa siemenistä kasvatetaan määräajoin kasveiksi, jolloin saadaan taas tuoreempia siemeniä geenipankin varastoihin
- Jotkin trooppisten lajien siemenet sietävät kuitenkin huonosti kylmää, ja viljelyssä on myös paljon vain **kasvullisesti lisättäviä tai siemenettömiä** lajikkeita. Niistä joudutaan geenipankeissa säilyttämään **vegetatiivisia kasvinosia**
 - esimerkiksi taimia tai solukkoviljelmiä
- ...joko **syväjäässä** tai erityisen **hidaskasvuisina** ”koeputkiviljelminä” laboratorioissa
- ...tai **kenttäviljelminä** tai -kokoelmina eristyneillä ja ekologisesti mahdollisimman riskittömillä seuduilla
 - Säilytys kenttäaineistoina on kuitenkin työlästä, kallista ja epävarmaa, sillä niissä voivat tuholaiset, kasvitaudit, ihmistoiminta, risteytyminen ja tahaton valinta aina uhata geenivarojen säilymistä
- Banaanin villilajit tekevät yleensä siemeniä, mutta kauppalajikkeet ovat siemenettömiä ja niitä lisätään kasvullisesti, esim. mikrolisäyksellä.



Kasvinjalostuksen suuri linja

- 11 000 vuotta keräilytaloutta
 - Etsittiin valmiita luonnon oikkuja
- 300 vuotta sekoituksen aikaa
 - Sotkettiin keskenään eri kasvien tuhansia tuntemattomia perintötekijöitä
 - ...ja lotottiin parempaa jälkeläistä
- 75 vuotta perimän särkemistä
 - Rikottiin perimää summassa, onnellista muutosta uumoillen
- 29 vuotta hyötygeenin lisäämistä kasviin puhtaana
 - Tunnettu geeni viedään kasviin ”siivottuna”, ilman haitallisia kylkiäisgeenejä
- 2010-luku: Perimän hienosäätöä yhden dna-emäksen tarkkuudella
 - Haittageenejä täsmäsammutetaan
 - Hyötygeenejä tuodaan haluttuihin kohtiin kromosomeissa
 - Geenejä jalostetaan ilmentymään halutuissa solukoissa tai kehitysvaiheissa
 - Ruokakasvien terveellisyyttä ja makua parannetaan
 - Kaikki muutokset ovat palautettavissa, jos halutaan.

http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf



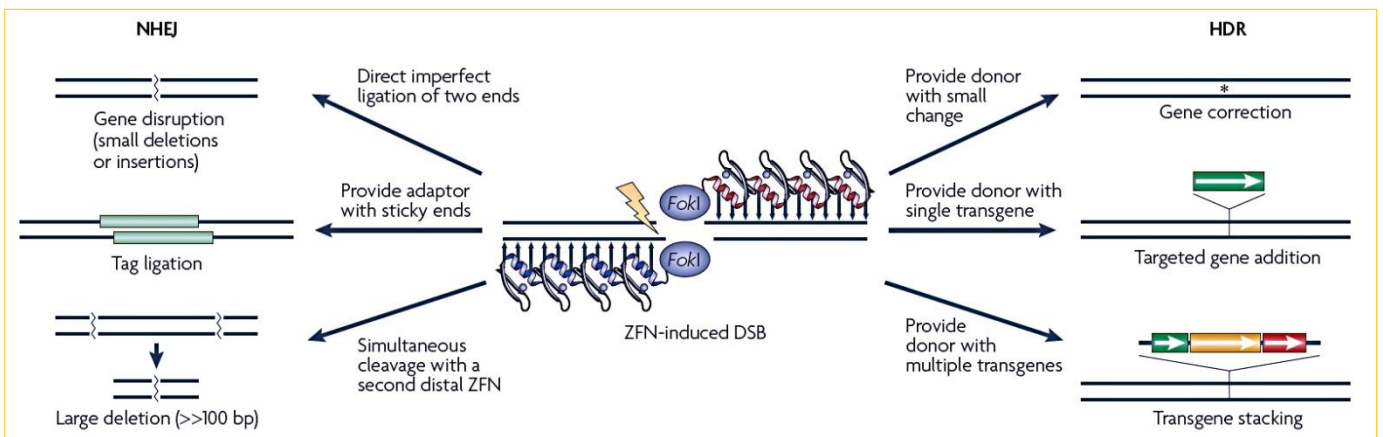
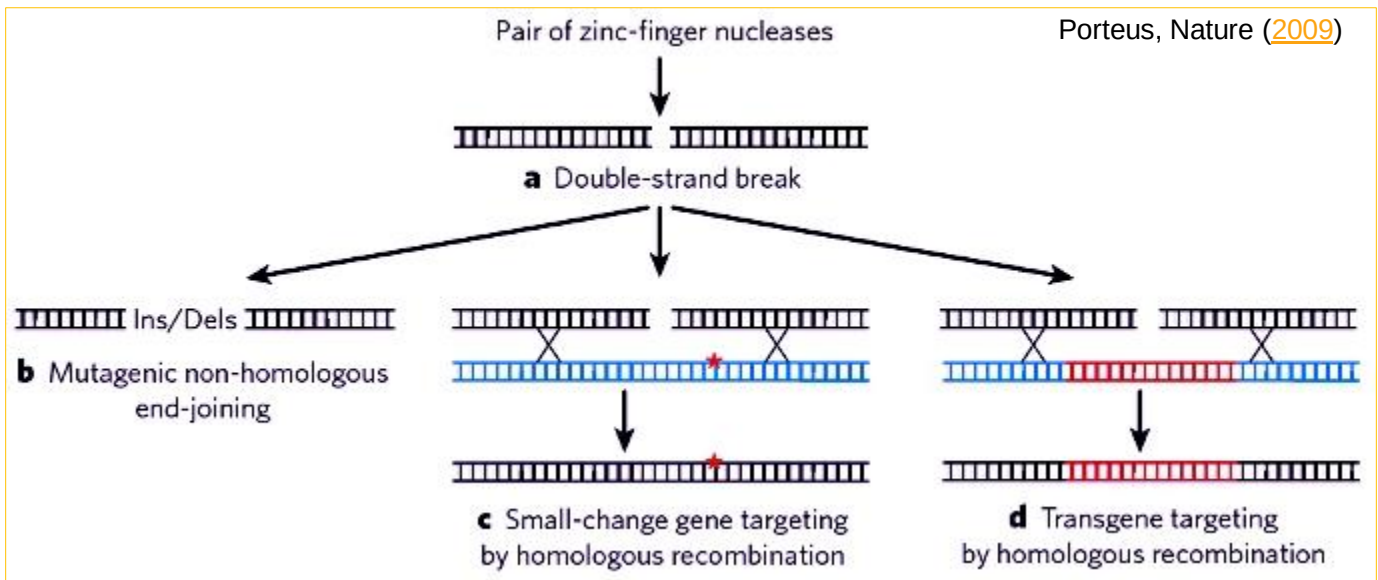
Kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaasien avulla 1(3)

- Sinkkisorminukleaasit (ZFN) ovat muunnettuja dna:n katkaisuelementtejä, joissa valittuun katkaisuosaan on **fuusioitu** valittuja dna-jaksojen tunnistuselementtejä solun luontaisesta dna-korjausjärjestelmästä
 - Kunkin ZFN:n tunnistuselementit **kohdistavat** sen halutulle paikalle eliön dna-juosteessa, missä katkaisuelementti sitten **katkaisee** juosteen juuri itselleen ominaisen dna-emäsjakson kohdalta
 - Sopivasti valittu ZFN-entsyymipari katkaisee kaksisäikeisen dna:n molemmat juosteet samalta kohdalta
 - Solun omat **dna-korjausjärjestelmät** aktivoituvat ja korjaavat syntyneen katkoksen
 - ...jolloin katkosta ympäröivässä kromosomin osassa dna:n emäsjärjestys korjautuu solulle **malliksi tarjoamamme ”dna-korjauspalan”** mukaiseksi (kuvat)
 - Korjauspalan kummassakin päässä on oltava kromosomin ao. paikan kanssa homologiset dna-jaksot, joiden kohdalta korjauspala kiinnittyy kromosomiin ns. homologisella rekombinaatiolla
- Nature (2009): [Shukla ym](#) ja [Townsend ym](#)



Kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaasien avulla 2(3)

- Haluttu jalostustulos saadaan siis aikaan antamalla kasville kulloinkin toivottu ”korjauspala”:
- Palaan voidaan sijoittaa **pieni dna-muutos**
 - yksi tai useampia dna-emäksiä vaihdetaan, poistetaan tai lisätään (Porteus c, merkitty punaisella)
- ...tai yksi tai useampia **lisägeenejä** (ja palan päissä tarpeelliset homologiset kiinnittymisjaksot) (Porteus d, Urnov oik.)



Urnov ym, Nature Rev. Genet. (2010)



Kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaasien avulla 3(3)

- Jos mallipalaa ei anneta, on korjaantuminen epätarkkaa ja johtaa satunnaismutaatioihin (Porteus b)
 - Suuren deletion teko (yli 100 emäsparin tai kokonaisen geenin poisto) vaatii katkaisemaan kromosomin kahdesta eri kohdasta, eli on räätälöitävä toinenkin ZFN-entsyymipari (Urnov vas.)
- Solun luontaiset dna-jaksojen tunnistuselementit ovat epätarkkoja: tunnistus perustuu vain muutamaaan emäspariin
- Biotekniikassa tunnistustarkkuutta on **parannettu** ”eksponentiaalisesti” pidentämällä tunnistusaluetta:
 - Sinkkisorminukleaaseissa tunnistuselementtejä on liitetty peräkkäin useita, 2–4 kpl (Urnov, kesk.)
 - Porteus (Cold Spring Harb. Protoc. [2010](#))
- Tunnistus on siksi jopa ”tähtitieteellisen” tarkkaa: miljardien emäsparienkin genomissa katkoskohta määräytyy käytännössä **yksikäsitteisesti**
 - Tämä on varmaan tarpeen turvallisille geenihoidoille, jotta vääriä katkoksia ei hoidon sivutuotteina synny
 - ...mutta jalostusta ajatellen **moinen tarkkuus** alkaa ehkä jo mennä ”turhuuden” puolelle
 - onhan kasvinjalostus aina ollut myös yrityksen, erehdyksen ja valinnan taidetta...

Kasvinjalostus on vain ensimmäinen suuri laatujärjestelmä

- ◆ 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
- ◆ Syrjintäjärjestelmän tehokkuus testautuu käytännössä vuosi vuodelta uudelleen
- ➔ mm. yli 2700 mutaatiolajiketta lähes ongelmitta

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”?)



Jälkipaloiksi 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)

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



Tieto ja osaaminen – vaarallista?

- ”Geenitekniikan paradoksi... **täsmällisyyden ja tarkkuuden** nähdään tuovan mukanaan myös **hallitsemattomuuden**”

(Mari Niva & Johanna Mäkelä, HS 20.10.2007)

- 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)

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



(Ekologisen) genetiikan peruspäätelmiä

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