



Geenitekniikka, luulot ja luomu

— tiede, turvallisuus ja luonto
luontaiskulttien kuristuksessa EU:ssa

Osa 2. Parempia lajikkeita geenimuuntelulla

<http://geenit.fi/Klubi51osa2.pdf>

Klubi 51 Haukilahti

2.12.2013 Jussi Tammissola

MMT, FL, kasvinjalostuksen dosentti (HY)

Biotekniikan erikoistutkija emeritus (VTT & MMM)

Jalostusluento (HY): <http://geenit.fi/JAL504jt2013.pdf>

Geenitekniikka, luulot ja luomu

Klubi 51 Haukilahti, 2.12.2013, [Jussi Tammisola](#), kasvinjalostuksen dosentti

Osa 2. Parempia lajikkeita geenimuuntelulla 1

■ GEENIMUUNTELU	5
■ Maaailma muuttuu yhä nopeammin...?	6
■ Ruokaa on tuotettava kaksin verroin vuoteen 2050 mennessä	7
■ Vehnän satoisuuden geneettinen nousu taittui 1980-luvun lopulla – perinnejalostus ei enää tehoa	8
■ Kasvinjalostuksen suuri linja	9
■ Terveellisempää ja maukkaampaa satoa	10
■ Esim. 1. Haittageenin sammutus: Erukahapoton rypsi	11–12
■ Esim. 2. Haittageenin sammutus: Syötävät puuvillansiemenet	13
■ Esim. 3. Haittageenin sammutus: Aromivehnä	14
■ Puutostaudit ovat suuri tappaja kehitysmaissa	15
■ Perinteinen kassava on kehnoa ruokaa	16
■ Annos biokassavaa turvaa päivän ravitsemuksen	17
■ Esim. 4. Ravitsevuusjalostus: Biocassava Plus	18–20
■ Esim. 5. Terveellisyysjalostus: Onko A-vitamiiniriisi täysin tarpeetonta vai uhka ihmiskunnalle?	21–23
■ Esim. 6. Terveellisyysjalostus: Soijalla pitkäketjuisia ω3-öljyjä soluihimme	24–26
■ Muuntogeeninen lohi parantaisi kansanterveyttä	27
■ Antosyaanitomaatti torjuu syöpää	28
■ Tomaattiin terveellisyttä	29
■ ...ja makua	30
■ Vitsauksille täsmätorjuntaa turvallisesti	31
■ Kasvit torjuvat vitsauksia – kuten meitä	32
■ Huonosti suojattu kesäkurpitsa	33
■ Viljelemmekö puuvillaa – vai tuholaisen toukkia?	34
■ Yökköskestävä Bt-puuvilla pelasti Intian puuvillaelinkeidon	35
■ Euroopan maissikoisa on paha tuholainen	36
■ Koisa vioittaa maissit ja tuo tähkiin homeita	37
■ Rna-häirintä – lääketieteen nobelilla kasvit suojaan turvallisesti	38
■ Varovaisuusperiaate	39
■ Maissin juurikuoriainen (Western Corn Rootworm) saapui ja valloittaa Eurooppaa	40
■ ...ja tuhoaa maissisadot	41
■ Juurikuoriaisia kestäväää maissia viljellään jo – muualla	42
■ Maissin juurikuoriainen jatkaa levittäytymistään...	43
■ ...ja vaatisi biologisesti kelpollisia hätätoimia	44
■ Vaihtoehto tieteelle... mitä siis sen tilalle?	45
■ Aktivistien insuliinivainon historiaa... Saksa murtautuu kehitysloukusta? Ihmisen insuliinin tuotanto alkaa 1998	46
■ Insuliinia nyt gm-kasveilla kaikille edullisesti	47
■ Jalostettuja kasveja, jotka ehkäisevät tai parantavat allergiaa/astmaa	48–49
■ ...ilman pistoksia	50
■ Muuntogeeninen rokote koivuallergiaan kehitteillä	51
■ Prioneille kyytiä? Hulluton lehmä ja kutkaton lammas on jo jalostettu	52

■ Puhtainta mahdollista kasvinjalostusta	53
■ Uudella täsmämuuntelulla...	54
■ Perinteinen mutaatiojalostus (70 vuotta)	55
■ Geenin nouto risteyttämällä villilajista ja puhdistaminen takaisinristeytyksillä	56
■ Esim. 8. Hyötygeenin nouto villilajista: Maissin typpitalouden tehostaminen puhveliheinän geenillä	57–59
■ Mustaruoste uhkaa romahduttaa maailman vehnäsadot – taas	60
■ Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehniä kromosominpaloilla	61–65
■ Kasveilla lajirajojen ylittyminen on arkipäivää	66
■ Kelta- ja paimenmatara risteytyvät helposti	67
■ Karukka on karviaisen ja mustaherukan risteytymä	68–69
■ Esim. 7. Hyötygeenin nouto villilajista: Mesimarja	70–73
■ Kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaasien avulla	74–76
■ Edesmennyt banaani kuntoutuu?	77
■ Banaani on kehitysmaiden neljänneksi tärkein ruokakasvi	78
■ Esim. 10. Hyötygeenin nouto riisistä: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon	79–83
■ Kasvi ehtii pelastaa pandemiassa	84
■ Tehokas rokote lintuinfluenssaan syntyy nopeasti kasveilla	85
■ Hoitoproteiineja geenitekniikalla – halvemmalla, nopeammin, turvallisemmin ja eettisemmin	86
■ Viljelykasvit kestäviksi	87
■ Halla saa pitkän nenän – viljat jalostetaan kylmänkestäviksi	88
■ Suolamaanviljelyn aika – murtovesi ja suolavesi käyttöön maataloudessa?	89
■ Suolankestävät lajikkeet puhdistavat maaperää	90
■ Kuivankestävyyden jalostaminen	91
■ Luonnonvarojen haaskaus rangaistavaksi	92
■ Yökkösenkestävät Bt-lajikkeet pelastivat Intian puuvilla-teollisuuden	93
■ Perunarutto – maailman tuhoisin perunatauti	94
■ Villiperunasta saadaan laajaspektristä kestävyyttä perunaruttoa vastaan	95
■ Perunalajikkeiden parantaminen kestäviksi perunarutolle	96
■ Suositut vanhat lajikkeet voidaan pelastaa parantamalla niitä	97
■ Rutonkestävyys parantaa laatua ja hyödyttää ympäristöä	98
■ Ekotehokkuusjalostus	99–100
■ Viljelykasvien typpitaloutta tehostetaan kasvinjalostuksella	101
■ Tuplasti sokeria autoille	102
■ Trooppinen sokeriruoko on ekotehokkuudeltaan ylivoimainen etanolikasvi	103
■ Tehottomat bioenergiakasvit vaaraksi ruokaturvalle?	104
■ Sokeriruokolajikkeita on vaikea jalostaa	105
■ Miksi ruokolajikkeiden sokeripitoisuus ei ole noussut?	106
■ Sokeriruoko on sokeripitoisuus kaksinkertaistui yhdellä jalostusaskella	107
■ Sokeriruoko ryhtyy pilkkomaan selluloosansa sokereiksi itse?	108
■ Brasilian sokeriruoko on ligniiniä jalostetaan helpommin pilkkottavaksi	109

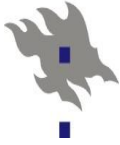
■ Taotaan aurat aseiksi?	110
■ Olemme jo täyttäneet	111
■ Maatalous – ihmiskunnan suurin suonenisku luonnolle	112
■ Ekotehokkuusjalostus: Kyntämättömän viljelyn kasvilajikkeet	113
■ Kyntämätön viljely (suorakylvö) lisää orgaanista ainesta Brasilian maaperässä	114
■ Gm-soija moninkertaisti kyntämättömän viljelyn eli suorakylvön Argentiinassa v. 1996–2004	115
■ Maan ”superliima” glomaliini säilöö hiilen ja murustaa	116
■ Kyntäminen huventaa glomaliinivarantoja	117
■ 'Ēmoja' ympäristön asialla?	118
■ Ympäristösika pelastaisi vesistöt ...jos ”aatteilijat” antaisivat	119
■ Ympäristösika saastuttaa vähemmän	120
■ Mihin uutta kasvinjalostusta ja 'emoja' tarvitaan – ja miksi?	121
■ Luonto itse testaa kasvin geenien vaientamista	122
■ Monet jalostusominaisuudet ovat ekologisesti ”kesyjä”	123
■ 1989 Statement of Eucarpia on Risk Assessment Regarding the Release of Transgenic Plants	124
■ (Ekologisen) genetiikan peruspäätelmiä	125
■ Tieto ja osaaminen – vaarallista?	126
■ Jälkipaloiksi perinteistä Frankenstein-ruokaa?	127

GEENIMUUNTELU

Maailma muuttuu yhä nopeammin...?



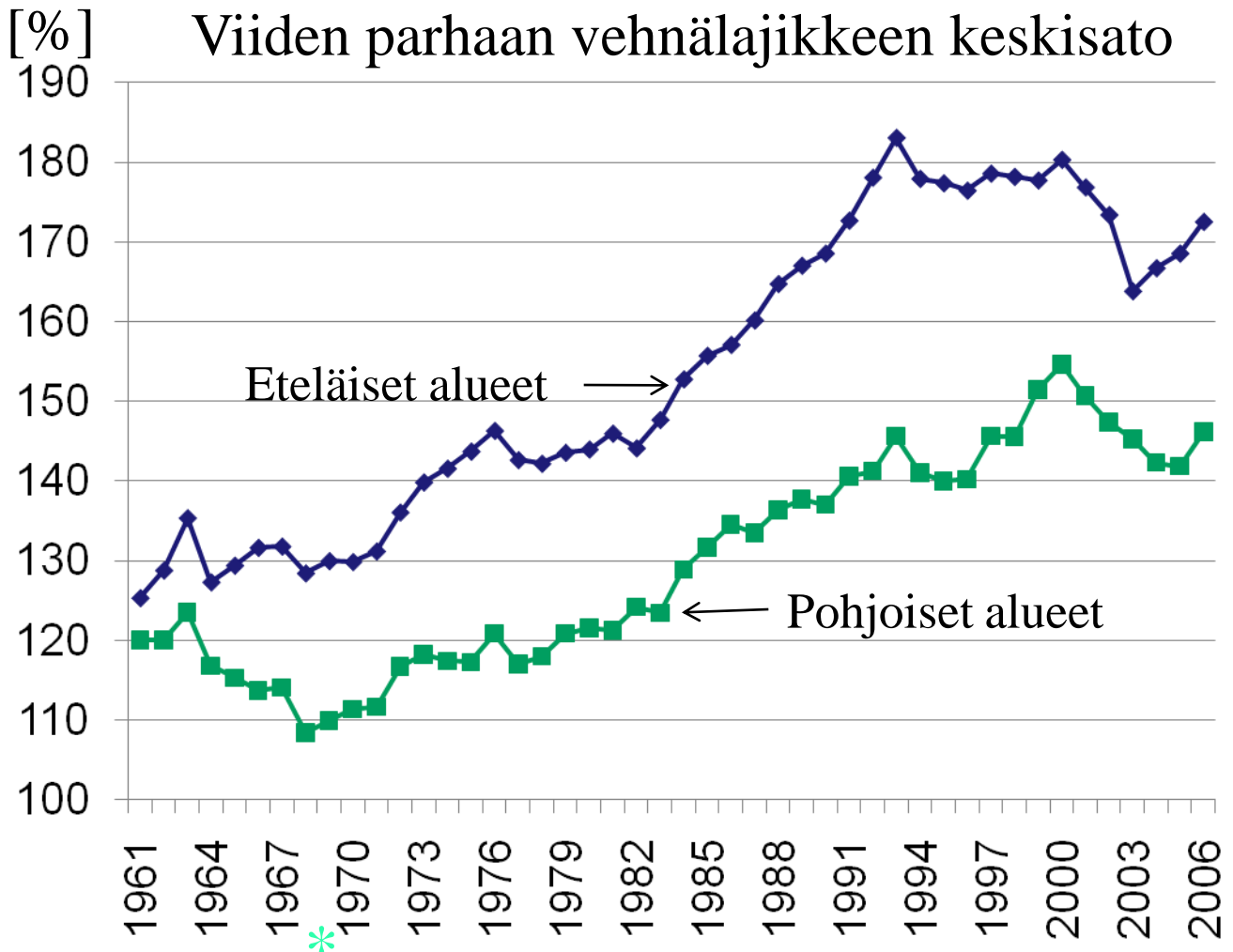
... joten pysykäämme paikallaan?



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: <http://geenit.fi/LabL12.pdf>
- Mutta onko kasvinjalostus vaaraksi terveydellemme?
- ...ja ihanko se olisi vaarallisempaa uusilla kuin vanhoilla menetelmillä, kuten vastustajat kertovat

Vehnän satoisuuden geneettinen nousu taittui 1980-luvun lopulla: perinnejalostus ei enää tehoa



- Viiden kulloinkin satoisimman vehnälajikkeen keskisato prosentteina verrannelajikkeen (Kharkof) sadosta vertailevissa lajikekokeissa USA:ssa. Kaavion pisteet ovat viiden vuoden liukuvia keskiarvoja ([Graybosch & Peterson](#), *Crop Sci.* 2010; 50:1882–1890)

- * Vihreän kumouksen lajikkeet nostivat vehnän satotason pitkään nousuun 1960-luvun lopulta lähtien



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
- 30 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

Terveellisempää ja
maukkaampaa satoa



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 syötäväiksi
- 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-vitamiini	Rauta	Sinkki
Itä-Aasia ja Tyynenmeren saaret	11 000	18 000	15 000
Itä-Eurooppa ja Keski-Aasia	0	3 000	4 000
Latin.-Amerikka ja Karibia	6 000	10 000	15 000
Lähi-itä ja Pohjois-Afrikka	70 000	10 000	94 000
Etelä-Aasia	157 000	66 000	252 000
Saharan eteläpuolinen Afrikka	383 000	21 000	400 000
Korkean tulotason maat	0	6 000	0
Yhteensä	627 000	134 000	780 000

Perinteinen kassava on kehnoa ruokaa



- Kassava on 800 miljoonan ihmisen perusruokaa kehitysmaissa
- Huonot ravinto-ominaisuudet
 - melkein pelkästään tärkkelystä
 - tappavan myrkyllistä (syaanivety)
 - vähän proteiinia, vitamiineja ja mineraaleja
- Prosessoitava 3–6 vrk ajan myrkyin vähentämiseksi
- Pilaantuu kahdessa päivässä korjuun jälkeen
- Virustauti vie 30–50 % sadosta

Annos biokassavaa turvaa päivän ravitsemuksen

- ❖ **Bio Cassava Plus:** laajassa jalostusprojektissa Afrikassa korjataan kassavan puutteita
 - vetää Ohion valtionyliopisto, rahoittaa Gatesin säätiö
- Tavoitteena on, että uusissa kassavalajikkeissa olisi niin paljon vitamiineja, mineraaleja ja proteiinia, että jo yksi ateria turvaa päivän ravitsemuksen
 - ruoka on jo niin kallista, että moni saa vain yhden aterian päivässä
- Geenimuuntelun avulla on edistytty joka osa-alueella
 - rautaa ja sinkkiä imeytyy maasta kassavan juurakkoon enemmän
 - Juurakoissa on nyt E-vitamiinia, ja ne sisältävät 30 kertaa enemmän A-vitamiinin esiastetta kuin ennen
 - proteiinia syntyy enemmän, kun typen siirtymistä syaanivedyn aineenvaihdunnasta proteiineihin vauhditetaan
 - viruskestävyyttä on parannettu jalostamalla kasviin viruksen lisääntymistä haittaava proteiini ja lyhyitä häirintä-rna-jaksoja
- Parannetut ominaisuudet yhdistetään samaan lajikkeeseen...
 - ensimmäisessä vaiheessa yhdistyvät todennäköisesti viruskestävyys sekä korkeammat proteiini-, beetakaroteeni- ja mineraalitasot
- ...jonka kenttäkokeet alkavat Nigeriassa ja Keniassa vuonna 2009
- 30 kertaa enemmän tulosta kuin perinnejalostuksella
 - ...jossa eteneminen usein pysähtyy geenivaihtelun niukkuuteen



<http://www.sciencedaily.com/releases/2008/06/080630102737.htm#>



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

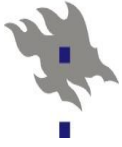
- Kassava eli maniokki (*Manihot esculenta*) on 800 miljoonan ihmisen perusruokaa kehitysmaissa
 - Saharan eteläpuolisen Afrikan kasvatetuin ravintokasvi
- Viljelyominaisuudet sopivat köyhille kasvattajille:
 - Halpa viljeltävä, viihtyy huonoillakin mailla, sietää erinomaisesti kuivuutta, tuottaa satoa läpi vuoden
- Perinteinen kassava on kuitenkin **kehnoa ruokaa**:
- Tappavan myrkyllistä (synnyttää syaanivetyä)
 - Prosessoitava 3–6 vrk ajan myrkyin 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.

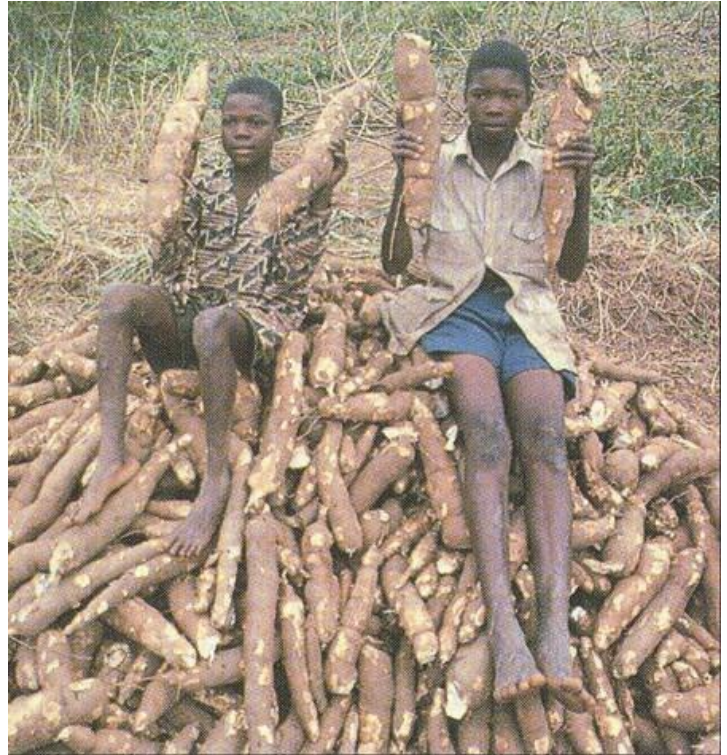


Esim. 4. Ravitsevuusjalostus: Biocassava Plus 3(3)

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

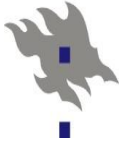
- jossa eteneminen usein pysähtyy geenivaihtelun niukkuuteen.

Sayre ym. (2011)



Vitamin A Fortified Cassava

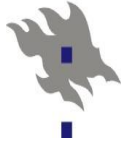
Traditional Cassava



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

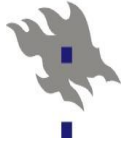
Kuinka jalostettiin ”kultainen riisi”?

- 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 kasvinlinjat 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 saadaan **käytännön viljelyyn** Aasiassa 'pian' – ensimmäiseksi ehkä Filippiineillä, v. 2013
 - ...eli heti, kun kussakin maassa säädöshyväksynnät valmistuvat (mihin Gates-säätiö antaa rahoitusta)
- Tutkimukset osoittavat, että kultainen riisi on A-vitamiinin lähteenä **erittäin tehokasta**; se ylittää vitamiininpuutoksen ehkäisyssä tutkijoiden toiveikkaimmatkin 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: Tang ym (AJCN [2012](#))
- Elimistössä kultaisen riisin β -karoteeni muuntuu A-vitamiiniksi paljon tehokkaammin kuin useimmista hedelmistä ja vihanneksista saatu: Tang ym (AJCN [2009](#))
- Golden Rice-2: Paine ym (Nature Biotechnology [2005](#))



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

Miljardien ravintoon riittävästi A-vitamiinia?



Wild Type

Tavallinen riisi



Np *Psy/crt1*

Varhainen

'Golden Rice'



Zm *Psy/crt1*

Nykyinen

- 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 uskonsuuntaukset (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
- Greenpeace on kierrättänyt mediassa vuosia väitettään, ettei kultaisesta riisistä ole mitään apua, "ellei sitä syö **14 kg päivässä**"...



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

- **Levät ja sammalet** 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 sydänterveyden* 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 **neljäsosan** 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')



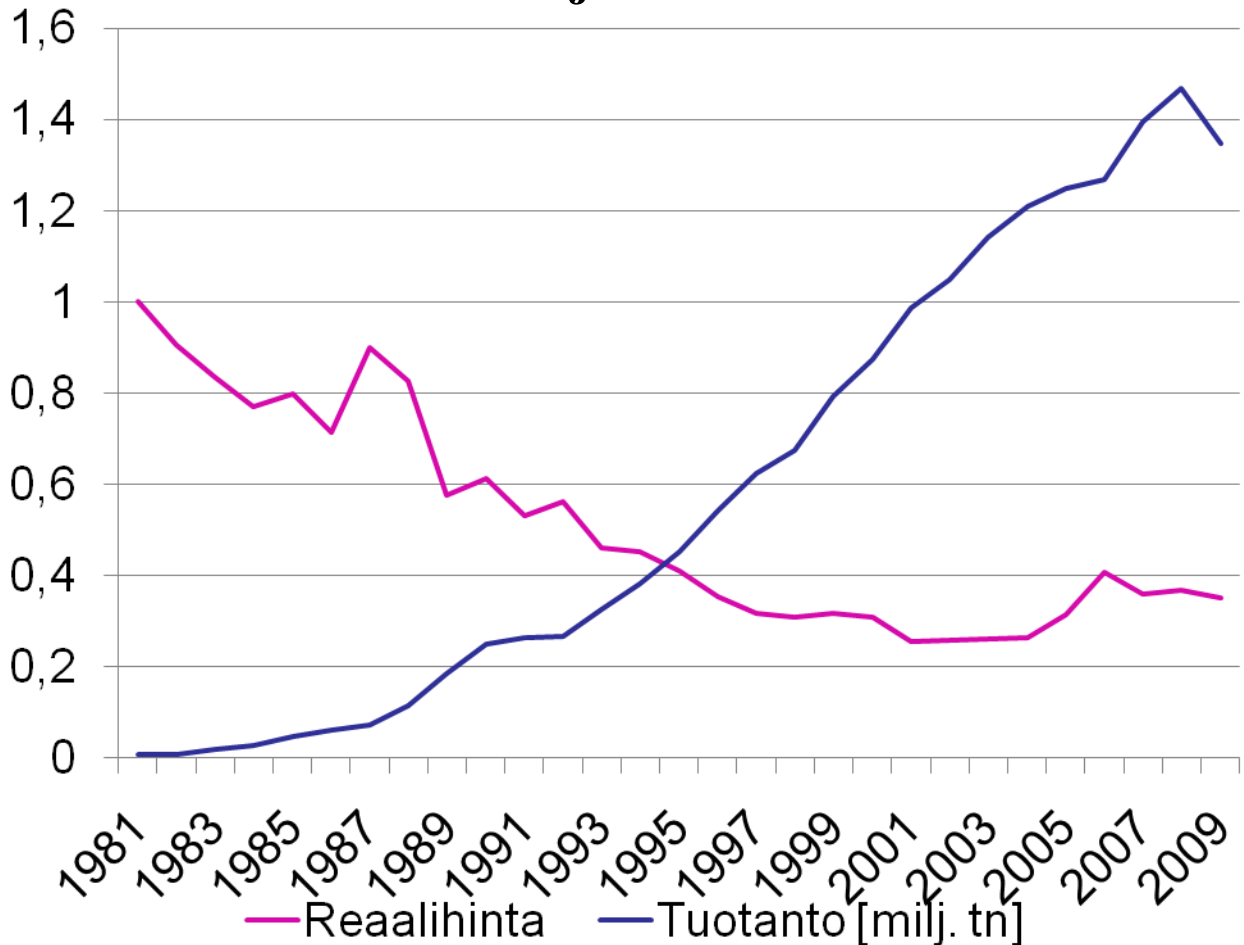


Esim. 6. Terveellisyysjalostus: Soijalla pitkäketjuisia ω 3-öljyjä soluihimme 3(3)

- 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 öljyinsä 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.

Muuntogeeninen lohi parantaisi kansanterveyttä

Lohen reaalihint* ja tuotanto USA:ssa 1981–2009

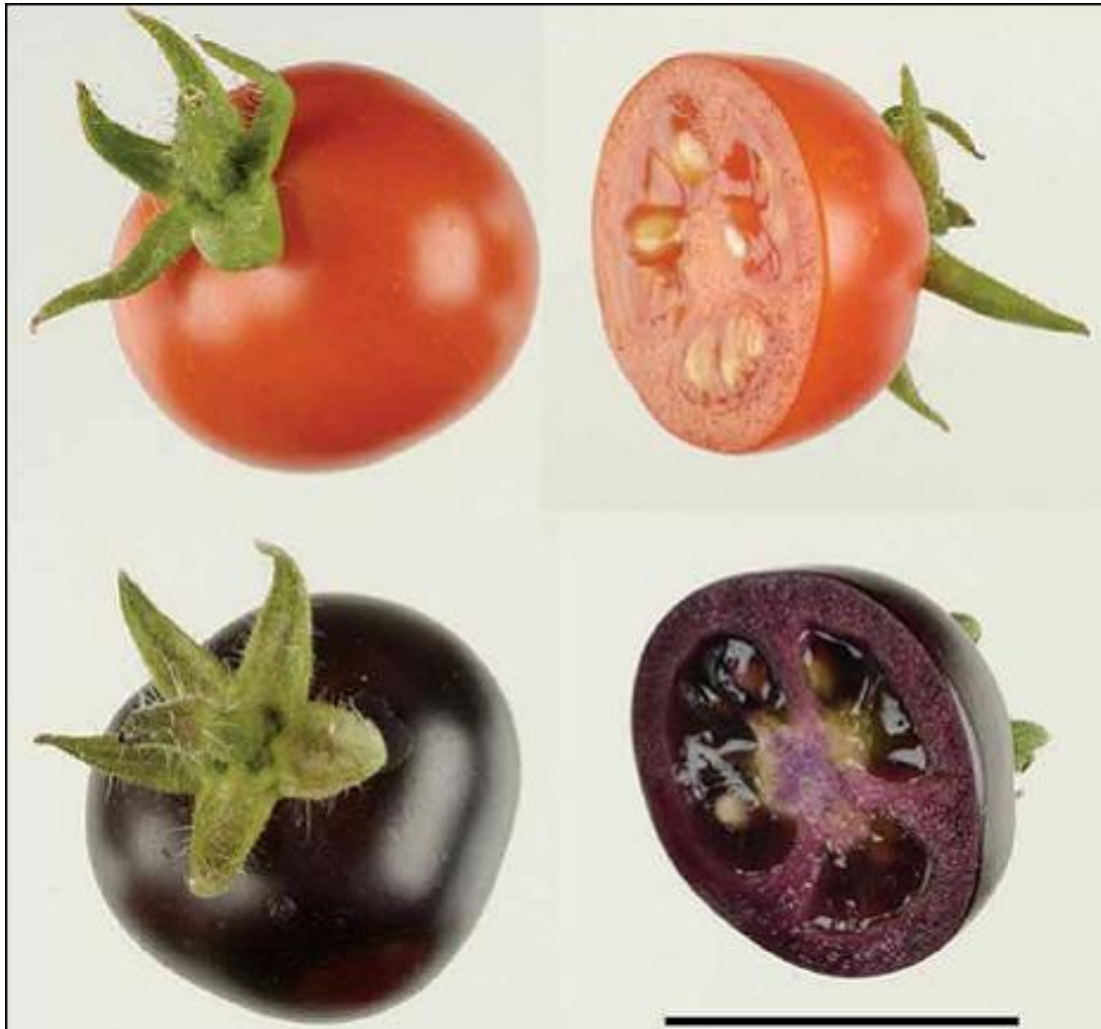


(Smith ym. Science 2010; 330: 1052–3)

- Myyntilupaa haetaan USA:ssa gm-lohelle, joka hyödyntää rehun (eko)tehokkaammin:
 - se käyttää vähemmän rehua ja kasvaa nopeammin
- Sen kasvatusta lisäisi lohien tuottavuutta ja alentaisi lohien hintaa kaupan tiskillä
 - mikä lisäisi lohien kulutusta ja parantaisi väestön terveyttä (Smith ym., Science 19.11.2010)
- Annos lohta viikossa vähentää sydäntautiriskiä 36 %

* Inflaation vaikutus poistettu

Antosyaanitomaatti torjuu syöpää



2 cm

– sinitomaattia nauttineet syöpähiiret elivät neljäsosan pidempään

(*Nature Biotechnology* 2008)

Tomaattiin terveellisyyttä

- ◆ Tomaattiin jalostettiin kaksi leijonankidan geeniä
 - transkriptiofaktoreita (säätelevät geenitoimintaa)
- Hedelmiin kertyi antosyaaneja yhtä paljon kuin mustikoihin*
- ◆ Sinitomaattia saaneet syöpähiiret elivät neljänneksen kauemmin kuin punatomaatilla ruokitut
- ◆ ...vaikka myös punatomaatti ehkäisee syöpää
 - punaisella väriaineellaan (lykopeeni)

👉 www.nature.com/nbt/journal/v26/n11/abs/nbt.1506.html

* ”Miksei sitten vain syötäisi mustikoita”? Terveellisiä nekin, mutta: ei tätä syöpätehoa; kalliimpia; kasvavat vain eräissä metsissä

...ja makua

- ◆ Toiseen tomaattilajikkeeseen jalostettiin yksi basilikan geeni
 - geraniolsyntaasi
 - geeni ohjattiin toimimaan hedelmän kypsyessä
- Hedelmiin kertyi tavallista enemmän monoterpeenejä
- ◆ ...ja makutesteissä ihmiset pitivät näitä tomaatteja maukkaampina kuin perinteisiä tomaatteja (*Nature Biotechnology* 2007)

➤ www.nature.com/nbt/journal/v25/n8/abs/nbt1312.html

Vitsauksille täsmätorjuntaa
turvallisesti

Kasvit torjuvat vitsauksia – kuten meitä

- Kasvit torjuvat tuholaisiaan tuhansin myrkyin
- ...ja siksi monet ”villivihanneksista” ovat meille vaarallisia
- Kasvinjalostuksella ja ovelilla manipulaatioilla
 - ”käsittelyt” ja ruuan ”valmistus”
- ... myrkkukasveja on vallattu ruoaksemme
 - peruna, paprika, kesäkurpitsa ja moni muu
- Meille haitallisia myrkkyjä olisi vähennettävä
- ... mutta se on kaksipiippuinen juttu, sillä
- ...ilman suojaa kasvit syödään pellolla ”parempiin suihin”
- Kasvinjalostuksen dilemma:
 - kuinka vähentää kasvista ihmiselle myrkyllisiä aineita
- ...heikentämättä kasvin puolustusta muita otuksia vastaan?
- Uusia kasvibiologian ratkaisuja:
 - kasvinosien täsmäsaneeraus (geenimuuntelulla)
 - suojan korvaaminen toisella, meille vaarattomalla

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)

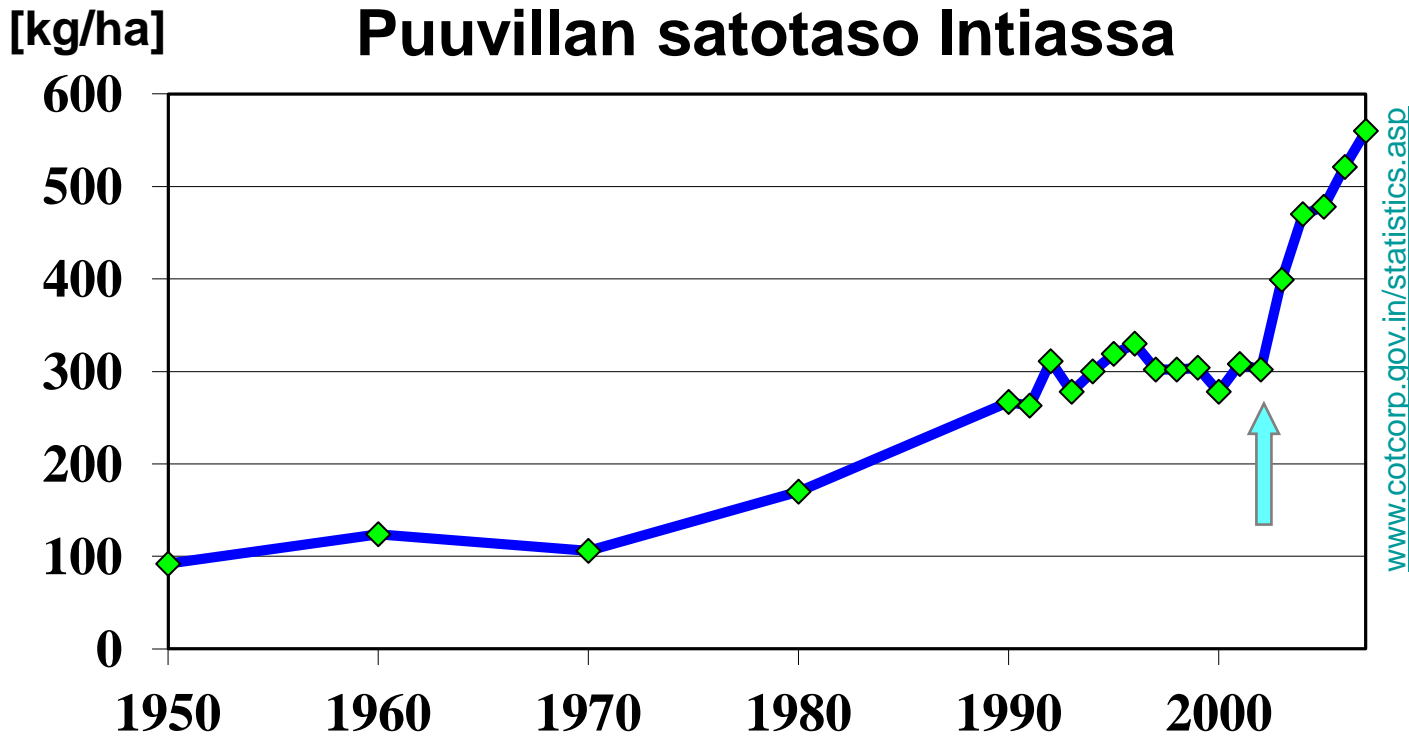
☞ *Life Sciences Network* 10.5.2002



**Viljelemmekö puuvillaa
vai tuholaisen toukkia?**



Yökköskestävä Bt-puuvilla pelasti Intian puuvillaelinkeinon



- Bt-puuvilla tuli Intian pelloille v. 2002
 - Jalostettu geenimuuntelulla
 - Nyt sitä kasvaa yli 90 prosentilla puuvilla-alasta
 - Puuvillan satotaso nousi 80 % kuudessa vuodessa
 - Intian puuvillan vienti kasvoi 13 600 % vuosista 2000–2
 - Myrkkynuuskutukset pelloilla putosivat murto-osaan, mikä alensi viljelijöiden kuluja ja paransi työterveyttä
 - Sateenvaraisille seuduille jalostettiin paikallislajikkeista kuivuutta sietävämpiä Bt-puuvillalajikkeita
- Gm-puuvilla vähentää itsemurhia Intiassa
 - ...osoittavat tutkimukset <http://geenit.fi/Vahltem.htm>
 - Alentaa katoriskiä
 - Parantaa satoa, nettotuloja ja työsuojelua
- Geenimuuntelulla jalostetaan myös kuivankestävyyttä ja syötäviä puuvillansiemeniä (kenttäkokeet menossa)

Euroopan maissikoisa on paha tuholainen

- ◆ Koisan toukka kaivautuu maissin varsiin ja syö ne poikki
 - ...ja vahingoittaa myös tähkiä, jolloin niihin iskee *Fusarium*-home
 - **homemyrkky** on vaarallista terveydelle
 - ...aiheuttaa syöpää sekä maksa-, hermosto- ja sikiövaurioita
 - ...varsinkin tortillavyöhykkeen luomumaissia syövässä kehitysmaissa
- ◆ Koisankestävässä maississa homemyrkkyä (fumonisiini) on jopa sata kertaa vähemmän kuin tavallisessa
- ◆ ...ja luomumaississa sitä taas voi olla jopa tuhat kertaa enemmän

www.geenit.fi/MaisHome.htm



Koisa vioittaa maissit ja tuo tähkiin homeita



tavallista maissia koisankestävää bt-maissia

Italia 2005: www.tekniikkatalous.fi/tk/article49372.ece

Results of field release in Italy, left conventional, right transgenic insect-resistant maize
<http://www.agbloworld.org> Data produced by the University of Milan, Italy

Rna-häirintä – lääketieteen nobelilla kasvit suojaan turvallisesti

- Lääketieteen nobel 2006 myönnettiin rna-häirinnän kehittämistä www.geenit.fi/NobelGm.htm
- Menetelmä on tuomassa ihmiskunnalle ennen näkemättömiä mahdollisuuksia
- ...kasvien täsmäsuojeluun niiden vaarallisimmilta tuholaisilta ja taudeilta
 - meille haitattomasti, ja
 - muita eliölajeja vahingoittamatta
- Haittaeliön menestyminen kasvissa estetään sammuttamalla kohdennetusti jokin sen hyökkäykselle tärkeä geeni
- ...jalostamalla kasvisoluun valikoivasti juuri tuohon geeniin kohdistuvia häirintä-rna-jaksoja
- Mao ym. (2007). *Nature Biotechnol.* 25: 1307–1313 <http://dx.doi.org/10.1038/nbt1352>
- Eri tuhoojalajien välillä on aina geneettisiä eroavuuksia,
- ...joten kasvinsuojelussa voidaan vihdoin päästä lajitason tarkkuuteen
- ...mikä säästää elävää luontoa ja ihmistä
- Ensimmäinen sovellus on jo jalostettu:
 - uusin juurikuoriaiselle vastustuskykyinen maissi

Varovaisuusperiaate

- ”Jos on olemassa vakavien tai palautumattomien vahinkojen uhka, täyden tieteellisen varmuuden puuttumista ei tule käyttää syynä lykätä kustannustehokkaita toimenpiteitä ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi”



1992 Rio Declaration on Environment and Development

Maissin juurikuoriainen (Western Corn Rootworm) saapui ja valloittaa Eurooppaa

Veni, vidi – vici ?



Photo: Whitney Cranshaw

Diabrotica virgifera on kaunis kovakuoriainen
– ja tuhoisa vieraslaji

...ja tuhoaa maissisadot



- Juurikuoriaisen toukat järsivät maissin juuret, ja varret kaatuvat
- Aikuisia kuoriaisia ei voi pysäyttää ruiskutuksin

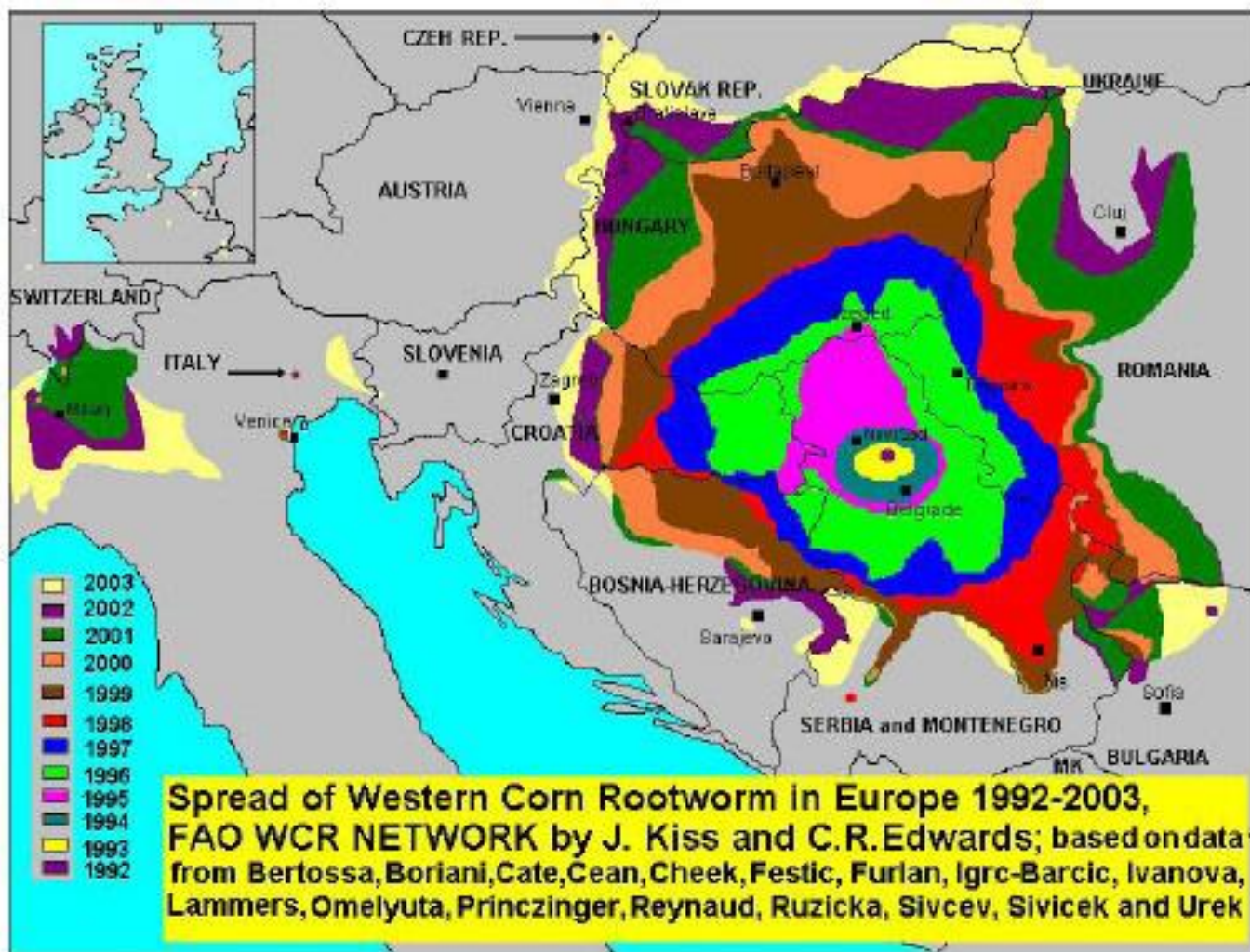


- Maan kastelu vahvoilla hyönteismyrkyillä tehoaa näihin toukkiin vain puoliksi
 - valikoimaton torjuntatapa vahingoittaa myös muita maaperän asukkeja

Juurikuoriaisia kestävää maissia viljellään jo – muualla

- Kestävyys perustuu kuoriaisspesifiseen Bt-proteiiniin, jota on jalostettu muodostumaan maissin juurissa
- Torjuntaproteiinin korkea valikoivuus (se tehoaa vain eräisiin kovakuoriaislajeihin) mahdollistaa torjunnan kohdistumisen juuri maissin juuria järsiviin kuoriaistoukkiin
- Kestävät kasvit edustavat pistemäistä torjuntaa, joka on yleisesti edullisempaa ympäristölle kuin ”löysemmät” tekniikat, kuten torjuntaruiskutukset
- EU:hun saa kyllä tuoda juurikuoriaisen-kestävää maissia ruoaksi ja rehuksi
- Kestävän maissin viljelyn arvioidaan vähentävän myrkkynuiskutukset murtoosaan USA:n maissipelloilla lähivuosina

Maissin juurikuoriainen jatkaa levittäytymistään...



...80 km vuodessa

...ja vaatisi biologisesti kelvollisia hätätoimia

- Juurikuoriainen on hyökkäävä ja maanviljelylle tuhoisa vieraslaji
- Varovaisuusperiaatteen mukaan edes täyden tieteellisen varmuuden puute ei oikeuttaisi lykkäämään kunnollisia ehkäisykeinoja
- Läskiksi lyöminen ei ole ratkaisu edes jo vakiintuneilla epidemia-alueilla
- Juurikuoriaisenkestävä maissi voisi rajoittaa kuoriaiset epidemian mittasuhteista siedettävälle tasolle, ja siten
 - auttaa kaikkia maissin kasvattajia Euroopassa, myös luomuviljelijöitä
 - vähentää tuhoijan leviämispainetta
- Bt-maissin ja Bt-puuvillan viljelyllä on voitu pitkäaikaisesti rajoittaa maissikoisan ja puuvillayökkösen populaatiokokoa USA:n viljelmillä
 - 👉 Carpenter & Gianessi (2001), Carrière (2003)

Vaihtoehto tieteelle...

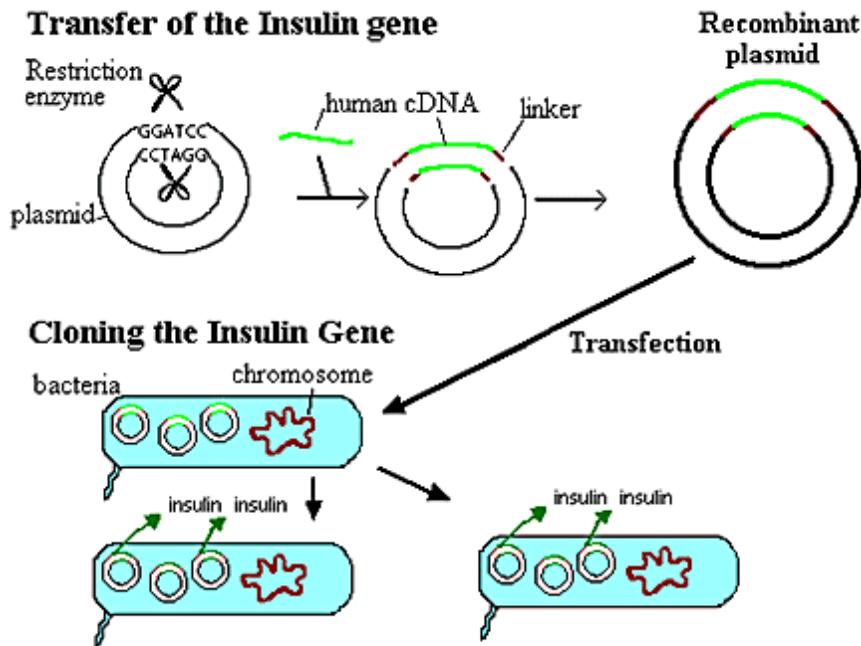
mitä siis sen tilalle? 1.

Ehdotuksia:

- Bioturvayhdistyksen konkari, sen krooninen videokuvaaja Ossi Kakko:
 - Tunkeutui kutsutta STM:n kutsuseminaariin ("Geenit ja Arvot", [2002](#)), filmasi tilaisuuden (ilman kuvattavien lupaa), ja neuvoi professoreita lääketieteestä:
 - ❖ "Insuliini on täysin tarpeetonta – terveet elämäntavat riittävät"
 - ...millä onnistui suututtamaan jopa arkkiatri Risto Pelkosen (sinänsä hämmästyttävä suoritus): "Eipä sentään ryhdytä tappamaan sairaita ihmisiä!"
- Bioturvayhdistys moittii biologien ja toksikologien luonnontieteellisiä turvallisuusselvityksiä. Sillä:
 - ❖ "Kasvit puhuvat minulle, ja sanovat, onko niistä syötäväksi. Nyt tutkittavana on terttuselja." Kakko uskoo sen olevan syötävä, koska kukat ovat kuin pieniä parsakaaleja. (HS Nyt 7/2010)
 - ❖ Kasvien kuulopuheet maestro opettaa meille heikkokuuloisille: hän on jo kuusi vuotta toiminut asiassa kouluttajana.
 - ❖ EU:ssa saa tosin (Uuselintarvikeasetus [258/97](#)) tuoda markkinoille vain turvallisiksi osoitettuja uusia ruokaeliöitä
 - ❖ ...mutta sehän ei koske itsetuhoon kouluttamista

Aktivistien insuliinivainon historiaa... Saksa murtautuu kehitysloukusta? Ihmisen insuliinin tuotanto alkaa 1998*

- 1982 Eli Lilly (USA): ihmisen insuliinia gm-mikrobin avulla



Transfer and cloning of the Insulin gene

- **1984** Hoechst jätti Saksassa hakemuksen
- **1987** Novo ja -89 Nordisk Tanskassa aloittivat ihmisen insuliinin valmistuksen geenitekniikalla
 - ❖ ja valaat pelastuivat...
- ❖ **1998** Hoechst sai aloittaa tuotannon ”maailman kalleimmassa biotekniikkamuseossa” (*Nature Biotechnology* 16:409)

* Geenitekniikan vastaiset ääriryhmät pystyivät hallinto- ja lakiprosesseilla **estämään lääkkeen valmistuksen Saksassa** 14 vuoden ajan
– Amerikan ja Tanskan lääkejäät kiittivät avusta ja valtasivat maailman insuliinimarkkinat

Insuliinia nyt gm-kasveilla kaikille edullisesti



- ◆ Esiaste tuotetaan safflor-kasvissa
 - se ohjataan siementen öljyyn, mistä se on helppo puhdistaa
 - toimimaton muoto: vaaratonta
 - toimiva insuliini valmistetaan siitä laboratoriossa
 - ◆ **10 kertaa halvempaa**
 - myös kehitysmailla on siihen varaa
 - ◆ Turvallista: ei eläintautien vaaraa
 - ◆ Lääkehyväksyntä loppusuoralla
- ☞ www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f_id=1219168

Jalostettuja kasveja, jotka ehkäisevät tai parantavat allergiaa/astmaa 1.

- ◆ Joka viides ihminen teollisuusmaissa kärsii siitepölyallergiasta ([Tammisola 2003](#), [2004](#))
- ◆ Koivun siitepöly kiusaa yleisimmin Pohjolassa, kun taas japaninsetri (*Cryptomeria japonica*) aiheuttaa vahvoja allergiaoireita Japanissa

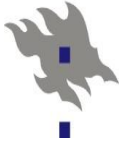


Jalostettuja kasveja, jotka ehkäisevät tai parantavat allergiaa/astmaa 2.

- ◆ Proteiinin allergeenisuus (kyky aiheuttaa allergiaa) johtuu usein sen joistakin erityisistä aminohappojaksoista (epitoopeista)
 - ...jotka saattavat olla lyhyitä, jopa vain 8 ah pituisia
- ◆ Suojaava eli allergisoitumista estävä tai parantava immunisaatio syntyy hieman eri tavalla
 - ...eikä allergisoivia epitoopeja siihen tarvita
- ◆ Geenitekniikan avulla rakennettiin siksi peptidi (pieni fuusioproteiini)
 - josta allergisoivat aminohappojaksot puuttuivat, mutta
 - johon oli koottu suojaavan immunisaation kehittymisen kannalta tärkeimmät kohdat kahdesta japaninsetrin pahimmasta allergiaproteiinista
- ◆ Tämä peptidi ei siksi voi synnyttää hengenvaarallisia allergiareaktioita (anafylaksia), jollaisia helposti aiheutuu siitepölyuutteista tai kokonaisista allergiaproteiineista
 - ...joita käytetään perinteisissä siedätushoidoissa

...ilman pistoksia 3.

- ◆ Tämän setriallergialta suojaavan ”immunopeptidin” geeni jalostettiin sitten riisikasviin (Yang ym. 2007)
 - joka tuottaa tätä hoitopeptidiä jyviinsä
- ◆ Hiirien allergisoituminen japaninsetrin siitepölylle estyi, kun näitä riisin ”immuunijyviä” syötettiin niille ennakoon (Takagi ym. 2005)
- ◆ Tästä muuntogeenisestä riisistä kehitetään setriallergian ehkäisyyn ja parantamiseen syötävää rokotetta
 - Kädellisillä (makakiapinat) tehdyissä kliinisissä kokeissa rokote on jo varmistunut turvalliseksi (Domon ym. 2009)
 - Seuraavaksi ovat vuorossa riittävän mittakaavan kliiniset kokeet rokotteen tehon osoittamiseksi ihmisillä



Muuntogeeninen rokote koivuallergiaan kehitteillä

- Pohjoismaissa allergioista yleisin on koivuallergia
- Täällä koivuallergikoista 98 % on herkistynyt vain yhdelle koivun siitepölyn proteiinille (Bet v 1)
 - Keski-Euroopassa esiintyy yleisesti allergiaa myös proteiinille Bet v 2
- Rokotteen kehittämisen kannalta tilanne on siis periaatteessa helpompi kuin japaninsetrin tapauksessa
 - ...siitähän on löydetty jo ainakin 4 eri allergeenistä proteiinia
- Syötävää rokitetta ei koivuallergiaan ole vielä tiedossa, mutta
 - tehokasta ja turvallista pistettävää rokitetta Bet v 1 –proteiinista aiheutuvaan koivuallergiaan jo kehitetään
 - ... muuntogeenisen rokoteproteiinin (fuusiopeptidin) pohjalta (Mahler ym. 2004, Pauli ym. 2008, Valenta ym. 2010)

Prioneille kyytiä?

On jo jalostettu:

– hulluton lehmä



www.geenit.fi/HullutonKarja.htm

– kutkaton lammas:



LightMix[®]

Scrapie Susceptibility Testing

Puhtainta mahdollista kasvinjalostusta

Uudella täsmämuuntelulla...

(Nature 2009)

- ❖ ...voidaan villistä kasvilajista löydetty hyötygeeni, esim. taudinkestävyysgeeni, noutaa puhtaana viljelykasvin perimään
 - ❖ ilman yhtään ei-toivottua kyytiläistä, joita perinteisissä risteilyksissä saapuu kasviin tuhatmäärin
- ❖ Geeni voidaan lisätä täsmälleen haluttuun kohtaan kasvin miljardien dna-emästen ketjussa
 - ❖ ...yhden dna-emäksen tarkkuudella (Townsend ym 2009*, Tammisola 2009#)
- ❖ Olemassa oleva tärkeä kasvilajike voidaan parantaa taudinkestäväksi yhdellä jalostusaskelilla ja lajikkeen suotuisaa genotyyppiä sotkematta
- ❖ Tämä on:

- ❖ tuhansia kertoja puhtaampaa
- ❖ satoja kertoja turvallisempaa
- ❖ kymmeniä kertoja tuloksekkaampaa

kuin kasvinjalostus ”perinteisillä” menetelmillä

* Townsend JA et al (2009). High frequency modification of plant genes using engineered zinc-finger nucleases. Nature adv. online publ. 2009, 5.

<http://dx.doi.org/10.1038/nature07845>

Tammisola J (2009). Kasvigeenitekniikan Top Ten Futures. Futura 28 (4): 28–44. http://www.geenit.fi/Futura2_09.pdf

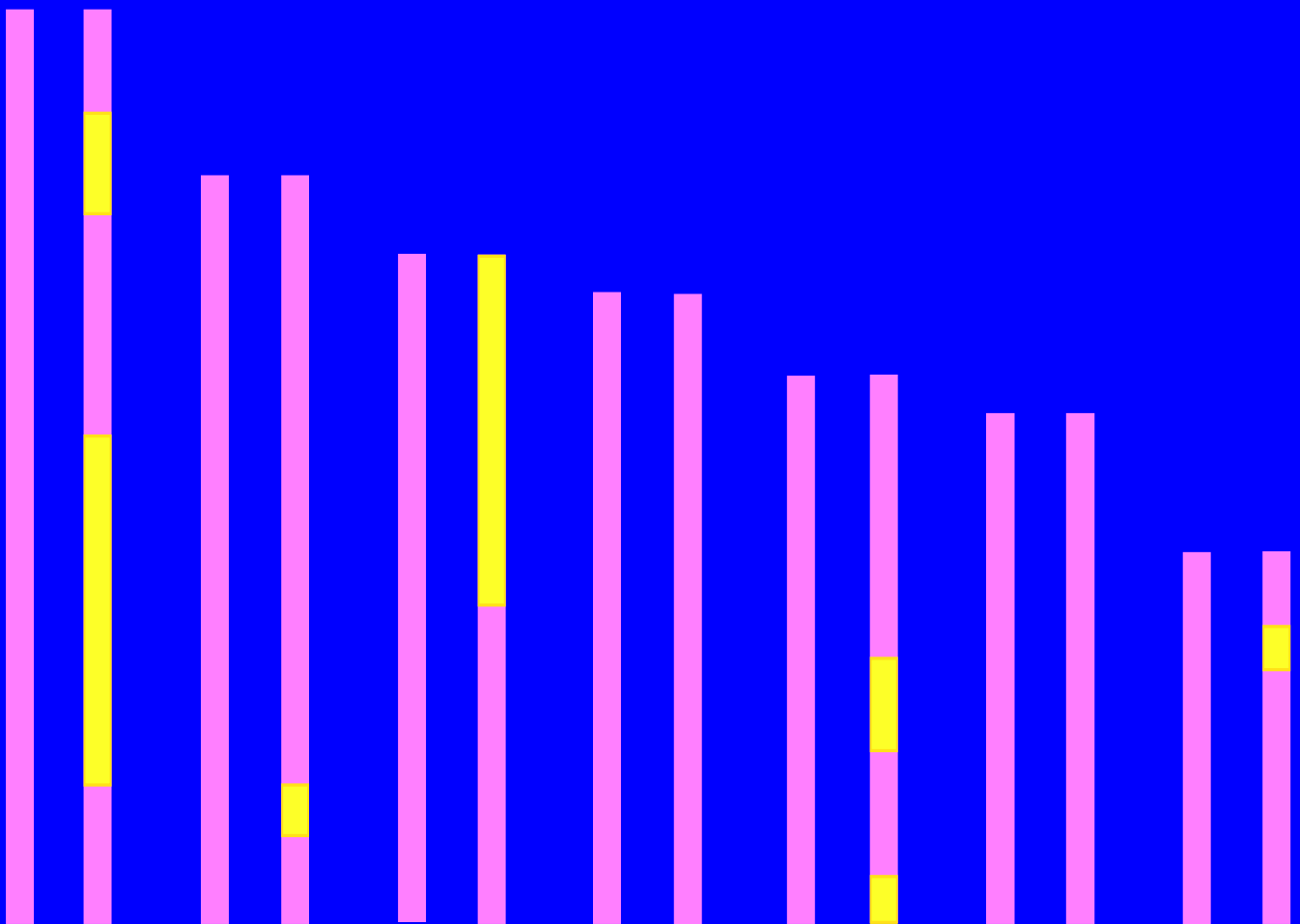
Perinteinen mutaatiojalostus

(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 rypsinsiemen puolikkaasta

Geenin nouto risteyttämällä villilajista ja puhdistaminen takaisinristeytyksillä

Risteytysjälkeläisen kromosomit ovat mosaiikki risteytysvanhempien kromosomien osista



 Viljelykasvi

 Villilaji

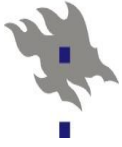


Esim. 8. Hyötygeenin nouto villilajista: Maissin typpitalouden tehostaminen puhveliheinän geenillä 1(3)

”Geenimuuntelun väistämiseksi” yritetään
typpenkäyttöä tehostaa maissilla myös
lajiristeytysten avulla

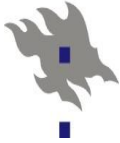
- Puhveliheinillä (kasvisuku *Tripsacum*) juuristo käyttää typpeä tehokkaammin hyväkseen kuin maissin juuristo
- ...mutta puhveliheinien tähkät ovat vain pieniä, muutaman sentin ”luiruja”
- Erilaisten perinteisten manipulaatioiden avulla, käyttäen ”siltana” risteytyksiä villien teosinttien kanssa, voidaan **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 arpapeliä (<http://geenit.fi/HSTKas110804.pdf>)
 - ...johon menneen ajan kaiho meitä viekoittaa?



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



Puhveli, Korkeasaari 15.7.2009. © J.Tammissola

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.

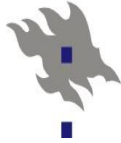


Mustaruoste uhkaa romahduttaa maailman vehnäsadot – jälleen

Ruosteenkestävät ja lyhytkortiset vehnälajikkeet

- ...toivat "vihreän kumouksen" vehnän viljelyyn 60-luvulla:
- Peltonen-Sainio P. [Vihreä vallankumous](#), Tiede 22.8.2005
- Tautisien evoluutio iskee vihdoinkin 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.

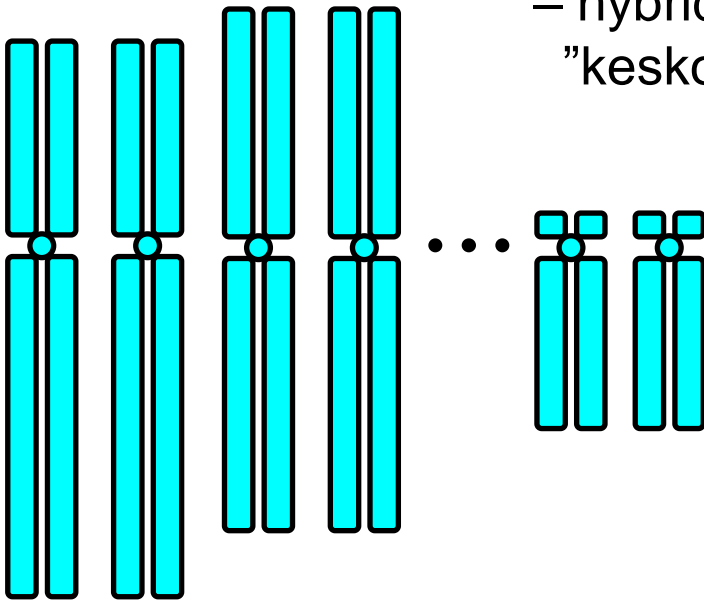




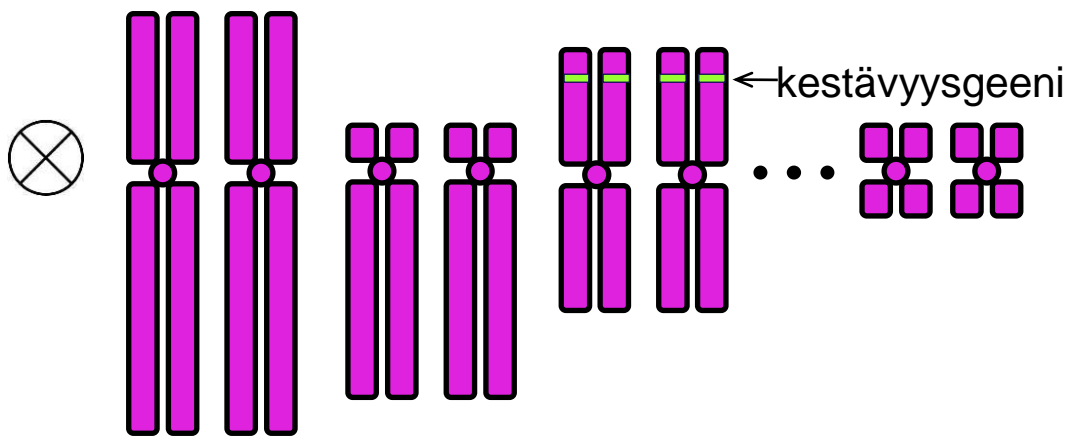
Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehniä kromosominpaloilla 1(5)

Leipävehnä ja juolavehnan sukulainen
pakkoristeytetään keskenään*

– hybridisiemen pidetään hengissä
”keskoshoidolla” (alkionpelastus)

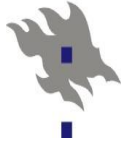


Leipävehnä (*Triticum aestivum*)



”Juolavehänä” (*Thinopyrum* sp.)

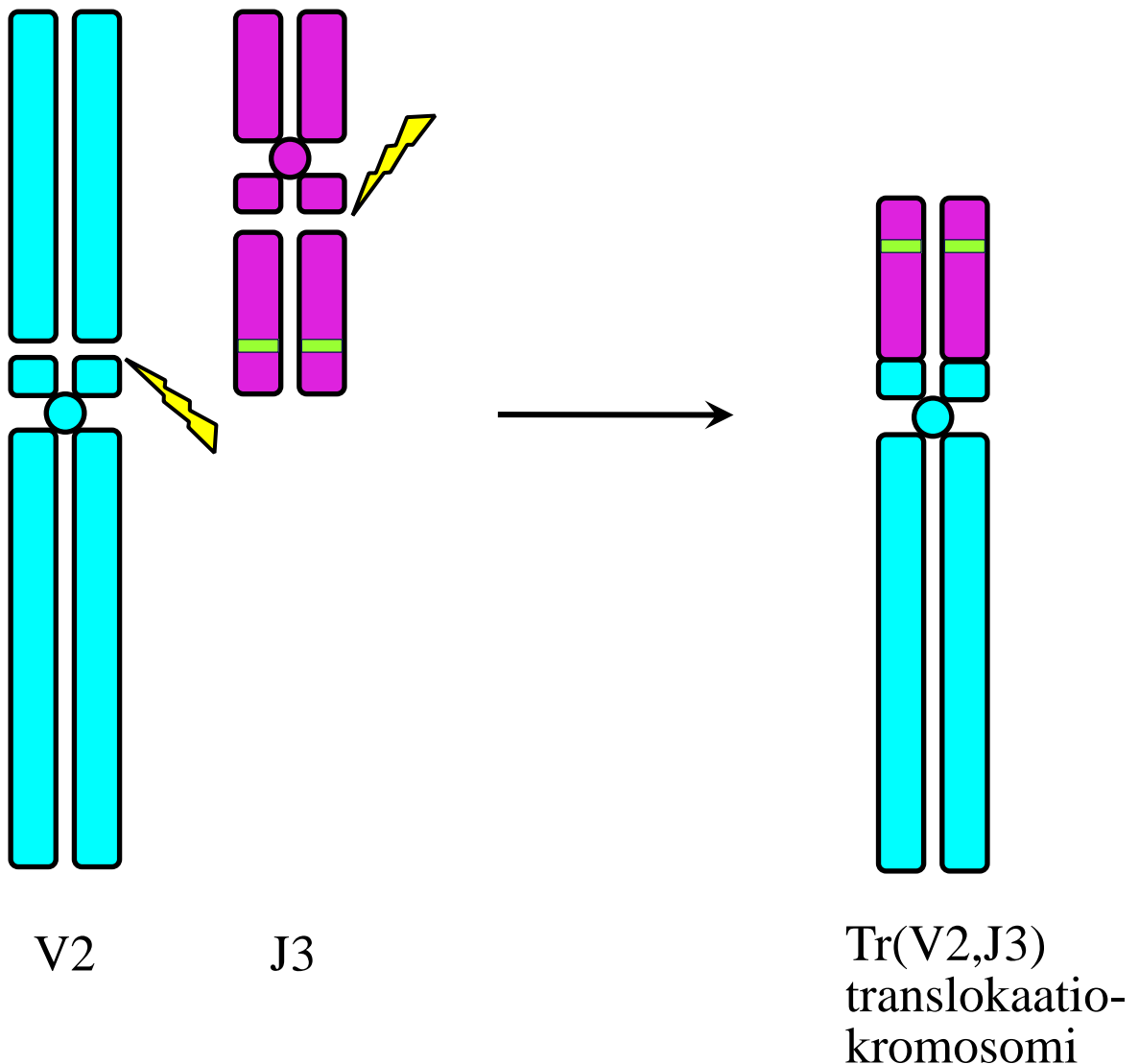
* Sama prosessi toistetaan kenties viiden eri villilajin kanssa,
jotta vehnään kertyisi riittävästi eri kestävyysgeenejä
Ug99-rotua vastaan

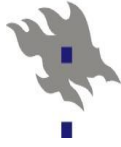


Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehniä kromosominpaloilla 2(5)

Lajiristeytymää pommitetaan säteilyllä
kromosomien katkomiseksi

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

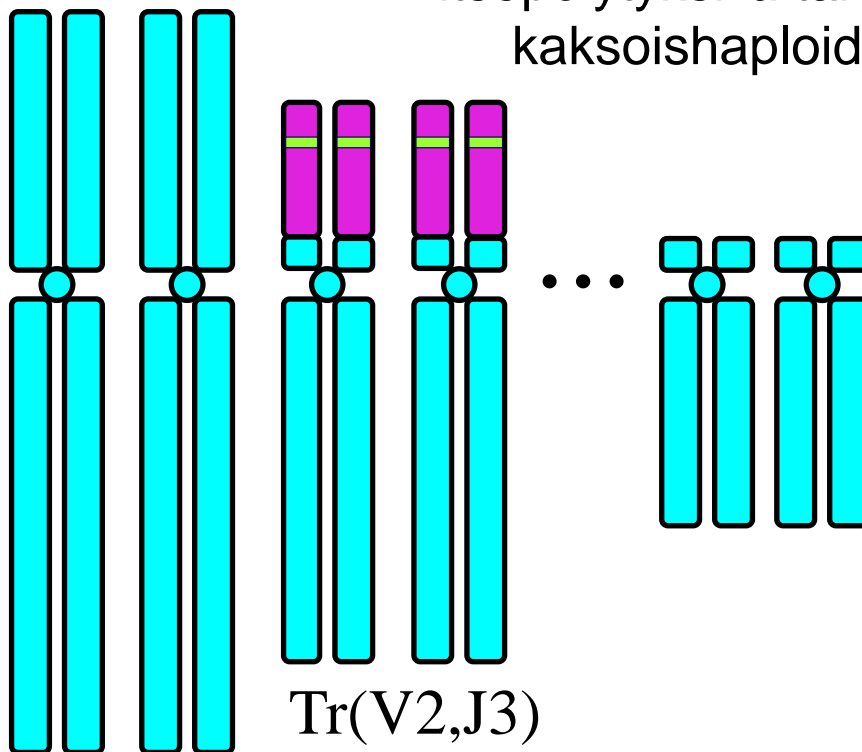




Esim. 9. Hyötygeenin nouto villilajista: Vehnän pelastaminen mustaruosteelta juolavehniä kromosominpaloilla 3(5)

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

– ja lopuksi tuotetaan
homotsygotinen kasvinlajia
itsepölytyksillä tai
kaksoishaploiditeknikalla





Tuloksena vehnälinja, johon on ympätty
”juolavehniän” kromosomin osa

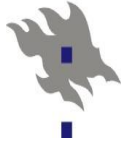
*Dna-määritysten tukemana, sillä 5 polven päästä vielä yli puolet jälkeläisistä sisältää ”juolavehniän” kromosomeja



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

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

- Irtonneessa 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 juolavehniä 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 kasvinlinja 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 (täsmämuuntelu) on joka suhteessa monin verroin **hallitumpaa** .

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



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. Tammissola, Itä-Pakila 2010

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| • <u>Keltamatara:</u> | <u>Paimenmatara:</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/EP101006LiitelK.pdf>



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



Maaninka 1968 © J. Tammissola

- 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
- Tammissola (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

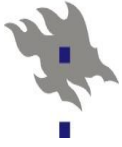


Esim. 7. Hyötygeenin nouto villilajista: Mesimarja 4(4)

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>

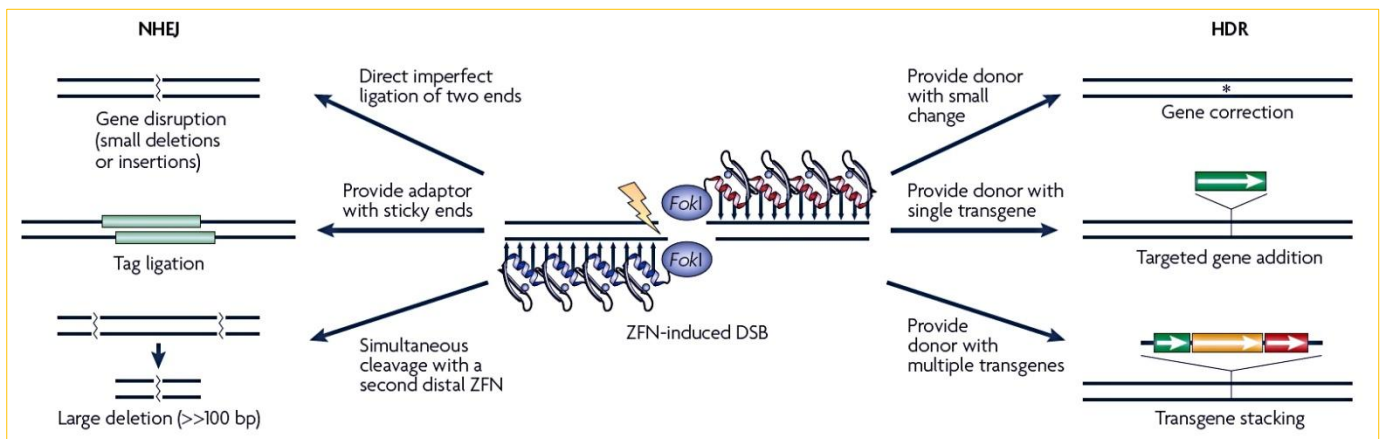
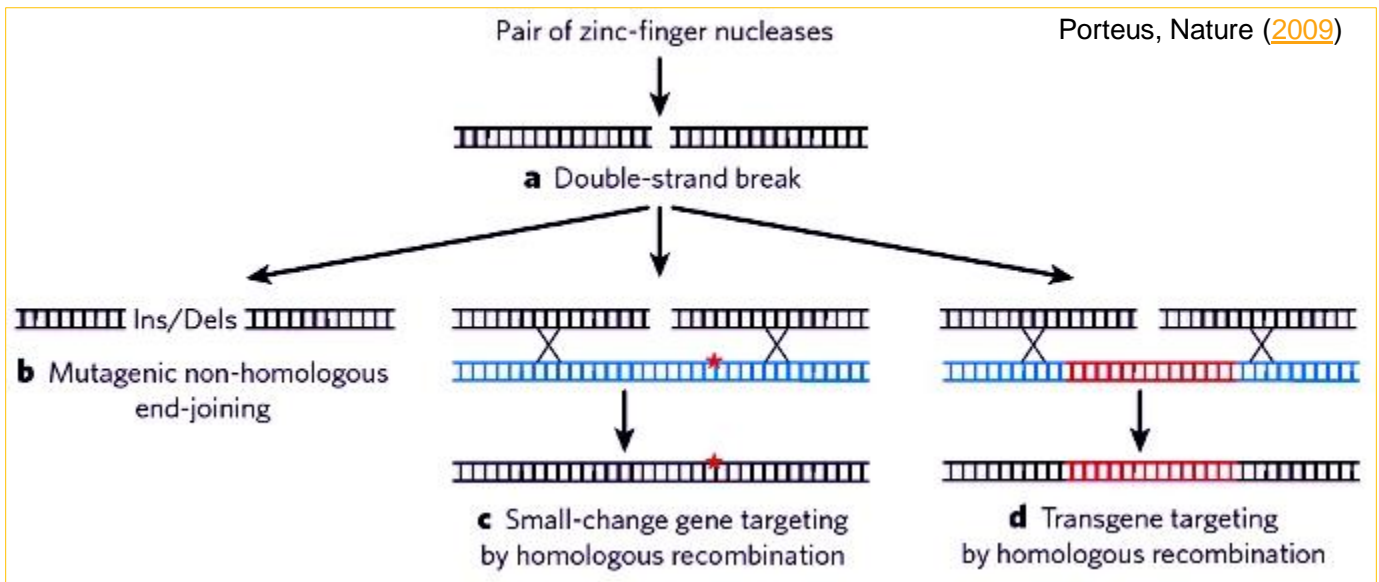


Kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaasien avulla 1(3)

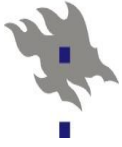
- Sinkkisorminukleaasit (ZFN) ovat muunnettuja dna:n katkaisuentyymejä, joissa valittuun katkaisuosaan on **fuusioitu** valittuja dna-jaksojen tunnistuselementtejä solun luontaisesta dna-korjausjärjestelmästä
 - Kunkin ZFN:n tunnistuselementit **kohdistavat** sen halutulle paikalle eliön dna-juosteessa, 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 kromosominosassa 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.)



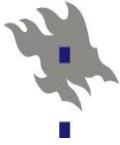
Urnov ym, Nature Rev. Genet. (2010)



Kohdennettu mutageneesi sinkkisorminukleaasien avulla 3(3)

- Jos mallipalaa ei anneta, on korjaantuminen epätarkkaa ja johtaa satunnaismutaatioihin (Porteus b)
 - Suuren deleetion 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...

Edesmennyt banaani
kuntoutuu?



Banaani on kehitysmaiden neljänneksi tärkein ruokakasvi



Rodos 2009 © J. Tammisola

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



Esim. 10. Hyötygeenin nouto riisistä: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon 1(5)

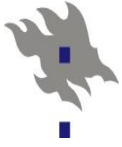


Lehtilaikkutauti (Black Sigatoka)

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 kehitysmailla ei ole varaa
- ◆ Sieni kehittää sietokykyä torjunta-aineille nopeasti
- ◆ Lakastumistauti tappaa kasvit, eikä hoitokeinoa ole
 - itiöt säilyvät maassa 30 v. tartuntakykyisinä.

➤ <http://geenit.fi/ALba9203.pdf>



Esim. 10. Hyötygeenin nouto riisistä: 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).

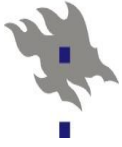


Esim. 10. Hyötygeenin nouto riisistä: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon 3(5)

'Cavendish'-banaanien lähtölaskenta on alkanut?

- Tuhoisien sienitautien uudet rodut uhkaavat autioittaa nykyisten kauppabanaanien viljelmät
- ...kuten kävi puoli vuosisataa sitten:
 - Iso ja makea 'Gros Michel' -lajike katosi myymälöistä
 - ...ja tilalle tulivat maultaan heikommät mutta silloisia tautirotuja kestäneet 'Cavendish' -lajikkeet
- Taudinkestävyyden geenejä tiedetään esiintyvän villeillä banaanilajeilla
- ...mutta niitä voidaan tuoda viljelylajikkeisiimme käytännössä vain geenimuuntelulla
- 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

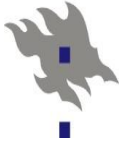
➤ <http://geenit.fi/Alba9203.pdf>



Esim. 10. Hyötygeenin nouto riisistä: 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 vuosituhansien jalostustyöllä parannettuun viljelykasviin suuri määrä täysin tarpeettomia ”primitiivigeenejä” villilajeista.
- http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf



Esim. 10. Hyötygeenin nouto riisistä: Maukkaamman banaanin pelastaminen takaisin tuotantoon 5(5)

Suosikkibanaanin ylösnousemus

– kehitysmaasta?

- ”Hymyilevä banaani” (’Gros Michel’) on jalostettu taudinkestäväksi geenimuuntelulla Ugandassa
- Kasviin tuotiin kaksi sienitaudeilta suojaavaa **kitinaasigeeniä riisistä**
- Laboratoriokokeissa kasvit olivat erittäin kestäviä uutta tuhoisaa lehtilaikkutaudin (Black Sigatoka) rotua vastaan
- **Kenttäkokeet** ovat jo käynnissä, ja tulokset ovat lupaavia: kasvit ovat osoittautuneet hyvin taudinkestäviksi myös kenttäoloissa
- Viljellyn **banaanin (*Musa acuminata*) perimä** on juuri luettu läpi: [Nature 2012; 488: 213–7](#)
- Villibanaanien geenikartoituksen edetessä kestävyysgeenejä viljeltyihin banaanilajikkeisiin voidaan noutaa puhtaina, geenimuuntelun avulla, myös villeistä banaanilajeista
 - joita banaanin kasvisuvusta tunnetaan 35.

➤ http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf

Kasvi ehdii pelastaa
pandemiassa

Tehokas rokote lintuinfluenssaan syntyy nopeasti kasveilla

- ◆ Rokote-ehdokas H5N1-lintuinfluenssa-viruksen uuteen kantaan voidaan kehittää jopa kuukauden kuluessa virusnäytteen saapumisesta tutkittavaksi
 - ratkaisevasti nopeammin kuin perinnekeinoin (kasvattamalla munissa tai soluviljelmissä)
- ◆ Muuntogeenistä rokoteproteiinia tuotetaan suuria määriä kasveissa ns. tilapäisen ilmentämisen avulla (Medicago Inc.)
- ◆ Proteiinipartikkelit ovat samanlaisia kuin itse virus, joten ne
 - ...aiheuttavat immunitetin mahdollisimman tehokkaasti
- ◆ ...mutta niistä puuttuu kokonaan viruksen perimäaines, joten ne ovat turvallisia
 - eivät voi aiheuttaa itse tautia kenellekään (kuten perinteiset heikennetyt rokotevirukset)
- ◆ Prekliinisissä kokeissa mallirokote on jo osoittautunut hyvin tehokkaaksi
- ◆ Kasveissa rokotetta voidaan tuottaa nopeasti, paljon ja tarpeeksi halvalla
 - kehitysmailllakin olisi varaa suojata väestönsä

Hoitoproteiineja geenitekniikalla – halvemmalla, nopeammin, turvallisemmin ja eettisemmin

Ihmisen hoitoproteiineja on järkevää tuottaa **kasvien avulla**:

- ◆ Insuliinia saflor-kasvin öljyssä
 - hyväksytään käyttöön v. 2010 ?
 - ☞ www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f_id=1219168
- ◆ Äidinmaidon suoja proteiinia riisinjyvissä
 - vähentää lasten ripulikuolemia kehitysmaissa
 - parantaa suolaseoksen antamaa hoitotulosta kymmenillä prosenteilla
 - ☞ www.geenit.fi/AidMaiProtRii.htm
- ◆ Tehokkaampaa H5N1-pandemiarokotetta sinimailasessa
 - nopeammin, riittävästi ja halvemmalla
- ◆ Hiv-tartunnan ehkäisevää proteiinia tupakan lehdissä
 - sykloviriini-N säästää naiset tartunnalta
 - ☞ www.tekniikkatalous.fi/doc.ot?f_id=1219177
- ◆ ”Rokotetta voidaan geenitekniikan avulla valmistaa halvemmalla, nopeammin, turvallisemmin ja eettisemmin”
(Akseli Hemminki, HS 1.2.2007)
 - ☞ www.geenit.fi/HS010207Hemm.pdf

Viljelykasvit kestäviksi

Halla saa pitkän nenän – viljat jalostetaan kylmänkestäviksi

- Halla haaskaa 15 % maailman kasvintuotannosta
- Hallankestävyyden geeni eristettiin Etelämanteren lauhasta (*Deschampsia antarctica*)
 - heinälaji kestää hyvin kylmää (– 30°C)
 - geeni on tehokkaampi kuin viljojen oma geenimuoto



- Geenin tuottama proteiini estää jääkiteiden kasvua soluissa
 - eivätkä jääkiteet pääse rikkomaan soluja
- Tärkeitä ominaisuuksia luonnonkasvien monimuotoisuudesta
 - ...eli 10 000 heinäkasvilajin geenivarannosta
 - voidaan siirtää puhtaina viljoihin geenitekniikalla
 - ”kalamansikka” ui vain legendoissa (aktivistisivuilla)
- Lajirajojen ylittäminen on kasvimaailman arkipäivää niin luonnon evoluutiossa kuin perinteisessä kasvinjalostuksessa
 - esim. leipävehnä on kolmen kasvilajin (kahden eri kasvisuvun) välinen risteytymä
 - ...ja sen perimässä on lisäksi kromosominpaloja sekä ohrasta että rukiista



Suolamaanviljelyn aika – murtovesi ja suolavesi käyttöön maataloudessa?

- ❖ **Makeaa vettä on 1 prosentti**
 - ...samoin murtoveettä, mutta suolavettä on 98 prosenttia
- ❖ **Puolet makean veden helpoista varannoista on jo käytössä**
- ❖ **Kasvit olivat alun perin halofyyttejä eli sopeutuneita korkeaan suolapitoisuuteen**
- ❖ **Nyt vain prosentti maakasvilajeista pystyy kasvamaan ja lisääntymään suolaisilla mailla**
 - eivätkä niistäkään kuin muutamat kestä meriveden suolapitoisuutta
- ❖ **Moni suolansietäjä voisi periaatteessa soveltua viljeltäväksi suolamaanviljelyssä**
 - ...jossa maan suolapitoisuus olisi puolet vähäisempää kuin nykyinen meriveden suolapitoisuus
- ❖ **Matka villikasvista viljelykasviin vain on yleensä pitkä ja veisi paljon aikaa**
 - hyvin monia viljely- ja sato-ominaisuuksia on parannettava (vrt. mesimarja)
 - perinteisillä viljelykasveilla siihen kului vuosisatoja tai –tuhansia
- ❖ **Tärkeistä viljelykasveista voidaan nopeammin jalostaa suolankestäviä lajikkeita geenimuuntelulla**
- ❖ **Meriveden käyttö kasvintuotantoon on vasta lapsenkengissä**
 - ...mutta merivedessä olisi runsaasti kasvien tarvitsemia mikro- ja makroravinteita
 - ...eikä siitä myöskään tulisi pulaa
 - myös murtoveettä on paljon (ja se olisi monille kasveille helpompaa)
- ❖ **Suolankestävien kasvien kasvatusta voitaisiin helposti kytkeä vesiviljelyyn**
 - ...eli vesieläinten kuten kalojen ja äyriäisten kasvatukseen

Suolankestävät lajikkeet puhdistavat maaperää



© J.Tammisola

- **Neljäsosa maapallon maa-alasta on suolapitoista**
 - yksin Kiinassa 33 milj. ha
- **Viljelykasvit eivät suolaa kestä**
- **Merikilokki (*Suaeda salsa*) kasvaa suolamailla, jopa Aral-järven kuivuneella pohjalla**
- **Shandongin yliopisto etsi ja puhdisti kilokin suolankestävyyden geenin**
 - ja jalosti sen riisiin, tomaattiin ja soijaan
- **Lajikkeet puhdistavat maaperää suolasta ja keräävät sen lehtiinsä**
 - suola ei kerry siemeniin eikä hedelmiin vaan lehtisolujen ”jätepusseihin” (vakuolit)
- **Myös Intiassa on jalostettu suolankestävä riisi**
 - kestävyysgeeni löytyi suistojen mangrovepuusta
 - ...ja siirrettiin Intian tärkeisiin riisilajikkeisiin
 - jalostettu riisi selviää vedessä, joka on 3 kertaa merivettä suolaisempaa

Kuivankestävyyden jalostaminen

❖ **Kuivankestävät kasvilajikkeet**

- tuottavat normaalisadon vähemmällä veden kulutuksella
- satunnaiset kuivuuskaudet eivät romahduta satoa
- maan suolaantuminen vähenee
- viljelykokeita käynnissä mm. maissilla ja riisillä

❖ **Vehnään siirrettiin kuivankestävyyden geeni ohrasta Egyptissä**

- puhtaana (geenitekniikalla), toisin kuin perinnejalostuksessa
- kastelutarve väheni kahdeksasta kerrasta yhteen
- vehnää voidaan alkaa viljellä myös sateenvaraisilla alueilla

❖ **Veden saatavuutta voidaan tehostaa parantamalla juuriston rakennetta**

- 10 000 villissä heinäkasvilajissa on tarjona monia tehokkaita ratkaisuja viljelykasvien avuksi

❖ **Kasvin ilmarakojen toimintaa ja muodostumista aletaan ymmärtää**

- ...ja voidaan alkaa säädellä uudella jalostuksella
- suomalaistutkijat mukana kasvitieteen läpimurrossa:
www.geenit.fi/HS290208Kivip.pdf (Kangasjärvi ym.2008)
www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080227102848.htm

❖ **Kuivankestäviä lajikkeita testataan jo monissa jalostusohjelmissa myös esimerkiksi vehnällä, puuvillalla ja rapsilla**

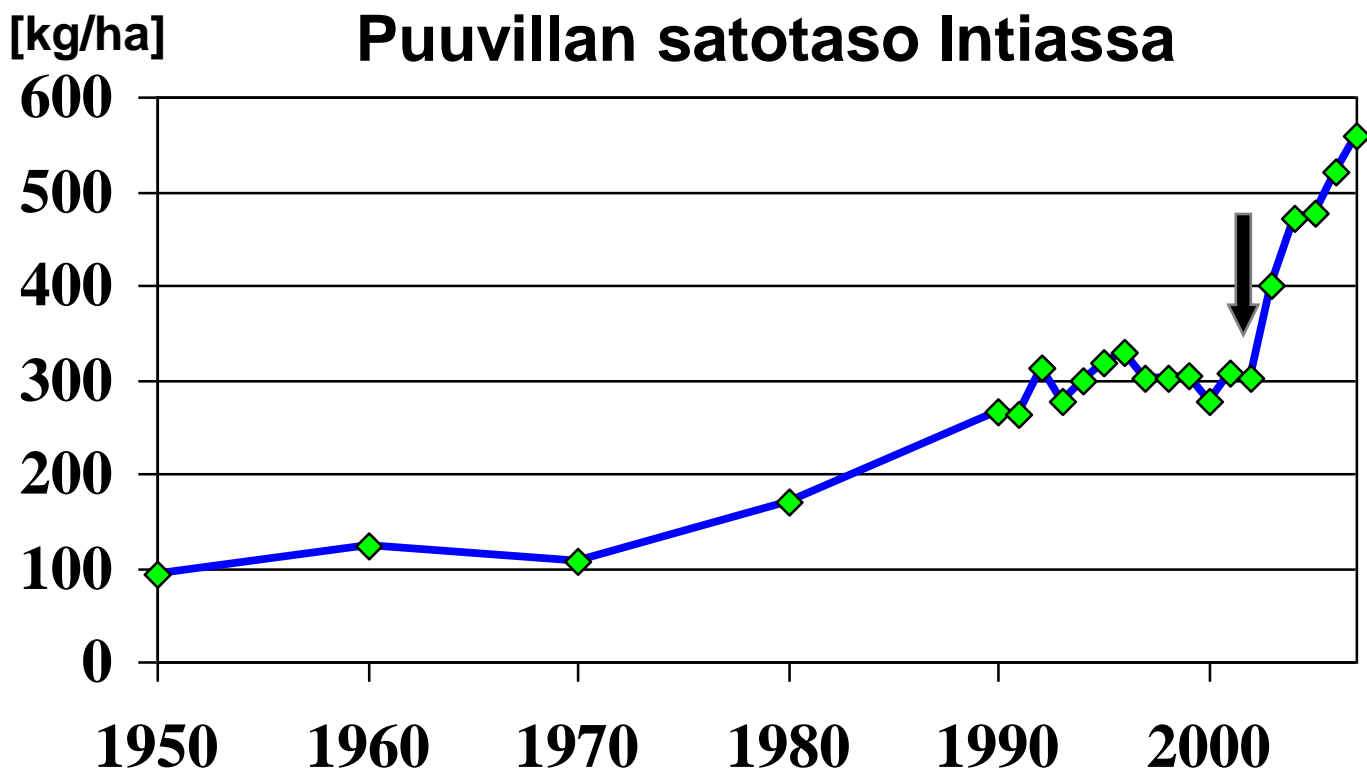
- toistaiseksi on saavutettu 10-40 prosentin satoparannuksia kuivuuden oloissa
- lajikkeita odotetaan viljelyyn 4-5 vuoden kuluessa

❖ **Riisistä yritetään siirtyä vesipihimpään perunaan**

- ...mutta tropiikissa tuholaiset, perunarutto ja virustaudit vaivaavat
- ...paljon pahemmin kuin Pohjolan perukoilla

Luonnonvarojen haaskaus rangaistavaksi

Yökkösenkestävät Bt-lajikkeet pelastivat Intian puuvilla-teollisuuden



- Bt-puuvillat tulivat Intiassa viljelyyn v.2002
 - hyväksyntäpäätös vuonna 2001
 - nyt niitä kasvatetaan noin 80 prosentilla Intian puuvilla-alasta
 - satotaso on noussut 80 % kuudessa vuodessa
- Gm-puuvilla vähentää itsemurhia Intiassa
 - osoittavat tutkimukset www.geenit.fi/Vahltsem.htm
- Kuivankestäviksi jalostetut gm-puuvillat ovat jo viljelykokeissa



www.cotcorp.gov.in/statistics.asp

Perunarutto – maailman tuhoisin perunatauti

- **Tappoi miljoona irlantilaista nälkään vuosina 1845–50**
- **Sienen toinen pariutumistyyppi saapui Amerikasta kaksi vuosikymmentä sitten**
 - ja käynnisti suvullisen lisääntymisen...
 - ...mikä lisää taudin geneettistä monimuotoisuutta ja nopeuttaa sen evoluutiota, joten
 - perunaruttoepidemiat vain pahenevat Euroopassa
- **Viljelyperunassa (*S. tuberosum*) ei löydy todellista vastustuskykyä**
 - ...vaan vain eriasteista taudinarkuutta
- **Rotuspesifinen vastustuskyky (tiettyä ruttorotua vastaan) ei voi kestää**
 - vaan romahtaa aina, kun evoluutio kehittää uusia ruttosienen rotuja

Villiperunasta saadaan laajaspektristä kestävyttä perunaruttoa vastaan

- **Villi perunalaji (*S. bulbocastanum*) on vastustuskykyinen perunarutolle**
- **Kestävyysgeeni jäljitettiin, puhdistettiin ja jalostettiin viljelyperunan lajikkeisiin geenitekniikalla**
- **Koelinjat ovat toistaiseksi osoittautuneet kestäviksi kaikille tunnetuille ruttoroduille**
 - myös ”superrutolle”, joka pystyy murtamaan kaikki rotuspesifiset kestävyudet
- **Ominaisuutta ei voida jalostaa viljelyperunaan perinnekein, sillä esteenä ovat**
 - risteytymisesteet (eri polyploidiatasot)
 - vuosikymmenien aikameneikki
 - myrkkyyvaara: peukalokyytiläiset voisivat tuoda myrkkijä viljelyperunaan

Perunalajikkeiden parantaminen kestäväksi perunarutolle



👉 *Song ym. (2003). PNAS 100: 9128–9133*

Suosittu vanhat lajikkeet voidaan pelastaa parantamalla niitä

- Russet Burbank on jo kohta vuosisadan ollut Amerikan suosikkiperuna
- Sitä kasvatetaan vieläkin lähes puolella USA:n peruna-alasta
- Suosittu kasvullisesti lisättävät (klooni-) lajikkeet voidaan päivittää kilpailukykyisiksi tulevaisuutta varten
 - ...parantamalla kohdistetusti niiden jälkeen jääneitä (pullonkaula-) ominaisuuksia, tai tuomalla lajikkeisiin tärkeitä uusia ominaisuuksia
 - ...geenitekniikan avulla
- Burbank-peruna voidaan jalostaa jälkikäteen rutonkestäväksi
 - ...siinä kuin Euroopan suosikkilajikkeet

Rutonkestävyys parantaa laatua ja hyödyttää ympäristöä

- Perunarutto pilaa mukuloiden laadun ja romahduttaa satomäärän
 - Lauhkeassa ilmastossa ruttoa on usein torjuttava 10 ruiskutuskeralla
 - ...kun taas kuumilla alueilla, kuten Meksikossa, voidaan tarvita jopa 25 ruiskutusta kasvukaudessa
 - Rutonkestävät perunat säästäisivät EU:n joka vuosi
 - 860 milj. kg perunamenetyksiltä
 - 7,5 milj. kg fungisidiruiskutuksilta (tehoaineeksi laskettuna)
- ☞ Phipps & Park (2002). *J Animal Feed Sci.*11: 1–18
- ☞ Gianessi ym. (2003). Potential impact for improving pest management in European agriculture. Potato case study. NCFAP

Ekotehokkuusjalostus

❖ Paremmat rehut

- säästävät luonnonvaroja ja vähentävät saasteita

◆ Proteiinimaississa on tarpeeksi meille ja sioille välttämättömiä aminohappoja (lysiini, thioniini)

- rehun tarve vähenee, kasvu paranee kaksinverroin

◆ Kasveissa fosfori on vaikealiukoisessa muodossa (fytaattina)

- päätyy paljolti saasteeksi vesistöihin
- kiinalaisessa fytaasimaississa fosfori on eläimille käyttökelpoista (entsyymi irrottaa sen fytaattista)
- kasvin fosfori päätyy näin eläimen käyttöön, ei ympäristöön

☞ [http://www.gmo-](http://www.gmo-compass.org/eng/news/messages/200709.docu.html)

[compass.org/eng/news/messages/200709.docu.html](http://www.gmo-compass.org/eng/news/messages/200709.docu.html)

- kanadalainen ympäristösika tuottaa fytaasientsyymin itse syljessään
- sonnan fosforipitoisuus vähenee 70 %
- tulos on paljon parempi kuin lisäämällä rehuun mikrobientsyymejä

☞ www.geenit.fi/Ympsika.htm

Ekotehokkuusjalostus

❖ Lannoitepihit kasvilajikkeet

- tuottavat normaalisadon vähemmällä lannoituksella

◆ Typpipihit lajikkeet

- viljelykokeissa on Monsanto-yhtymän:
- maissi, jolle riittää kolmasosa normaalitypestä
- rapsi, joka menestyy puolella typpilannoituksella

◆ Fosforipihit lajikkeet

- emäksisessä maassa fosfori sitoutuu liukenemattomiksi Ca-P-yhdisteiksi
- 80 % lannoitteen fosforista menee näin hukkaan
- yli neljäsosa maapallon maista on tuollaisia
- kasvit liuottavat fosforia maasta esimerkiksi sitruunahapolla
- geenimuuntelulla kasvin fosforinottokykyä voidaan jalostaa paremmaksi

☞ López-Bucio ym. (2000). *Nature Biotechnology* 12: 450-453

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

Aiheesta tarkemmin (yleistajuisessa) tiedekatsauksessa:
Tammisola J (2010). Review: Towards much more efficient biofuel crops – can sugarcane pave the way?
GM Crops 1(4): 181-198
<http://www.landesbioscience.com/journals/gmcrops/article/02TammisolaGMC1-4.pdf>

Tuplasti sokeria autoille

Trooppinen sokeriruoko on ekotehokkuudeltaan ylivoimainen etanolikasvi



Sokeriruokoa Luxorissa 15.10.2010. © J. Tammisola

Egyptissä sokeriruokot ovat yli parimetrisiä, Brasiliassa tuplasti kookkaampia.



Ruok'on sisus maistuu – yllätys, yllätys – sokerilta... puristeliemessä on sakkaroosia 17-22 %

Tehottomat bioenergiakasvit vaaraksi ruokaturvalle?

- ❖ Nyt lähinnä trooppisesta sokeriruo'osta tuotettu bioetanoli on hiilitaseen ja talouden kannalta järkevää (IEA 2007)
 - sokeriruokoa viljellään yli 20 milj. hehtaarin alalla, josta kolmasosa on Brasiliassa
- ❖ Maissista viinaa saa hyvin vähän neliöltä
- ❖ Heikko tuottavuus vaarantaa ruokaturvan
- ❖ Jos biopolttoneiden tuotanto aiotaan saada taloudellisesti ja ekologisesti kestäväksi, täytyy energiakasvien satoisuutta ja ekotehokkuutta parantaa (EPSO 2007)
 - paljon ja nopeasti
 - modernilla kasvinjalostuksella, varsinkin geenimuuntelulla

Aiheesta tarkemmin (yleistajuisessa) tiedekatsauksessa:

Tammisola J (2010). Review: Towards much more efficient biofuel crops – can sugarcane pave the way? *GM Crops* 1(4): 181-198

<http://www.landesbioscience.com/journals/gmcrops/article/02TammisolaGMC1-4.pdf>

Sokeriruokolajikkeita on vaikea jalostaa

- ❖ Viljeltyt sokeriruokolajikkeet ovat
 - lajiristeytymiä: *Saccharum officinarum* (2n=80) x *S. spontaneum* (2n=40–128)
 - korkeasti polyploideja (ploidiataso 5x–14x), jopa aneuploideja (kromosomeja eri määrät)
 - onnenkantamoisia, joiden parantaminen edelleen jatkojalostuksella on tilastollisesti melko toivotonta ”sisyfos-puuhaa”
 - useimmiten lähes steriilejä
 - hitaita kasvattaa siemenestä valintakokoon (viljelyssä lajiketta lisätään varren paloista)
- ❖ Perinnejalostuksella ei esim. sokeripitoisuus olekaan 40 vuoteen noussut kuin vähän
 - vaikka ominaisuudessa olisi periytyvyyttä
- 👉 Jackson (2005) *Field Crops Res.* 92: 277-290


<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.024>

Miksi ruokolajikkeiden sokeripitoisuus ei ole noussut?

- ❖ Sokeripitoisuuteen vaikuttaa suuri joukko eri genejä (kullakin vain pieni vaikutus)
- ❖ Korkean sokeripitoisuuden geenimuodot (alleelit) ovat peräisin sokeriruokolajilta *S. officinarum*
- ❖ Polyploidissa hybridissä niiden rikastaminen yhteen jälkeläisklooniiin on erittäin vaikeaa perinnejalostuksella
 - kun kutakin (vastin)kromosomia voi olla solussa jopa 14 kappaletta
 - ...ja kun hybridin suotuisia muita ominaisuuksia pitäisi yrittää varjella
- ❖ ...sillä suvullisessa lisääntymisessä
 - geeniyhdistelmät hajoavat, ja
 - huonoja alleleita saapuu taas takaisin kasvin perimään

Sokeriruo'on sokeripitoisuus kaksinkertaistui yhdellä jalostusaskelilla

- ❖ Geenimuuntelulla saatiin ruo'on sokeripitoisuus kaksinkertaistumaan
 - kasvi tuottaa normaalin määrän ruokosokeria, mutta lisäksi saman verran isomaltuloosia
 - ...joka on terveysvaikutteinen hiilihydraatti
 - ...mutta voidaan myös käyttää alkoholiksi
- ❖ Viljelykokeet käynnissä Australiassa
 - samalta alalta voidaan tuottaa merkittävästi enemmän bioraaka-ainetta
 - ...jolloin ei tarvitse vaarantaa koskemattonta luontoa eikä ravinnon tuotantoa

 www.blackwell-synergy.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-7652.2006.00224.x?

Plant Biotechnol. J. 5: 109-117

Sokeriruoko ryhtyy pilkkomaan selluloosansa sokereiksi itse?

- ❖ Sokeriruoko tuottaa yli 200 tonnia biomassaa hehtaarilta
- ❖ Kasvi jalostetaan pilkkomaan selluloosansa sokereiksi omin neuvoin
 - ilman kalliita esikäsitteilyjä ja ostoentsyymejä
 - jolloin ruo'on puristusjätteestä voidaan valmistaa selluloosaetanolia kohtuulliseen hintaan
- ❖ Sokeriruokoon tuodaan selluloosaa pilkkovan entsyymin geeni
 - kasvi valmistaa hintavan entsyymin ilmaiseksi
 - elävän solun sisältä annettuna entsyymi vaikuttaa solunseiniin paljon tehokkaammin, joten vältetään kalliilta esikäsitteilyiltä
 - geeni käynnistetään vasta neljä päivää ennen sadonkorjuuta, jolloin entsyymi ei haittaa kasvin kasvua
- ❖ Lajiketta kehittää Australian ja Brasilian yhteinen tutkimusliittoutuma

👉 <http://www.farmacule.com/news/news10/AusbioBioethanol.ppt>

👉 <http://www.landesbioscience.com/journals/gmcrops/article/02TamisolaGMC1-4.pdf>

Brasilian sokeriruo'on ligniiniä jalostetaan helpommin pilkottavaksi

- ❖ Solunseinien ligniini on hankalin este selluloosaa hajottaville entsyymeille
 - ...sillä ligniinin ja hemiselluloosan muodostama vaippa estää entsyymien pääsyn selluloosakuituihin
- ❖ Sokeriruo'on puristusjätteestä 20-25 prosenttia on ligniiniä, 23-30 prosenttia hemiselluloosaa ja 45-50 prosenttia selluloosaa
- ❖ Ligniini on vaikeasti hajotettava yhdiste
 - ...varsinkin sen toinen tyyppi (guaiasyyli)
 - toinen sokeriruo'on ligniinityyppi (syringyyli) taas hajoaa paljon helpommin
- ❖ Brasiliassa jalostetaan siksi sokeriruokoa, jonka ligniini olisi lähes kokonaan helpommin hajoavaa tyyppiä:

www.ethanolproducer.com/article.jsp?article_id=3868

- tämä alentaisi merkittävästi selluetanolin tuotantokustannuksia
- ...jotka ovat yhä paljon korkeammat kuin sokerietanolin
- työtä tekee Campinasin yliopiston biotekniikkayhtiö Allelyx

Taotaan auras aseiksi?

Olemme jo täyttäneet

- ❖ ...maan, ja tahtia sopisi hyvin hillitä
- ❖ ...mutta tämä on tabu varsinkin useille uskonnoille
- ❖ Kasvinjalostajat eivät jalosta ihmistä
 - sillä moisen toimivuudesta ei historiassa ole juuri rohkaisevaa näyttöä
 - ja liian hidastakin se olisi
- ❖ Ravinnon tuotannon ja biotalouden edellytyksiä he sitä vastoin yrittävät turvata
- ❖ Ei ole biologien vika, että heidän työnsä tulokset aina uudelleen mitätöidään
 - syömällä paremman elämän edellytykset
 - ...lajin populaatiokoon holtittomalla paisuttamisella

Maatalous – ihmiskunnan suurin suonenisku luonnolle

❖ ...historiallisena aseena tämä työkalu:



❖ Taotaan aurat aseiksi...

❖ ...jolloin ihmiset ehkä innostuvat harventamaan toisiaan tehokkaammin?

❖ Sota on eräiden ”syväekologien” toive

– mutta se olisi tuhoisaa myös luonnolle

– ...vaikka rauhan aikana armeija räjäytteleekin harvinaisille perhosille elintilaa harjuillamme

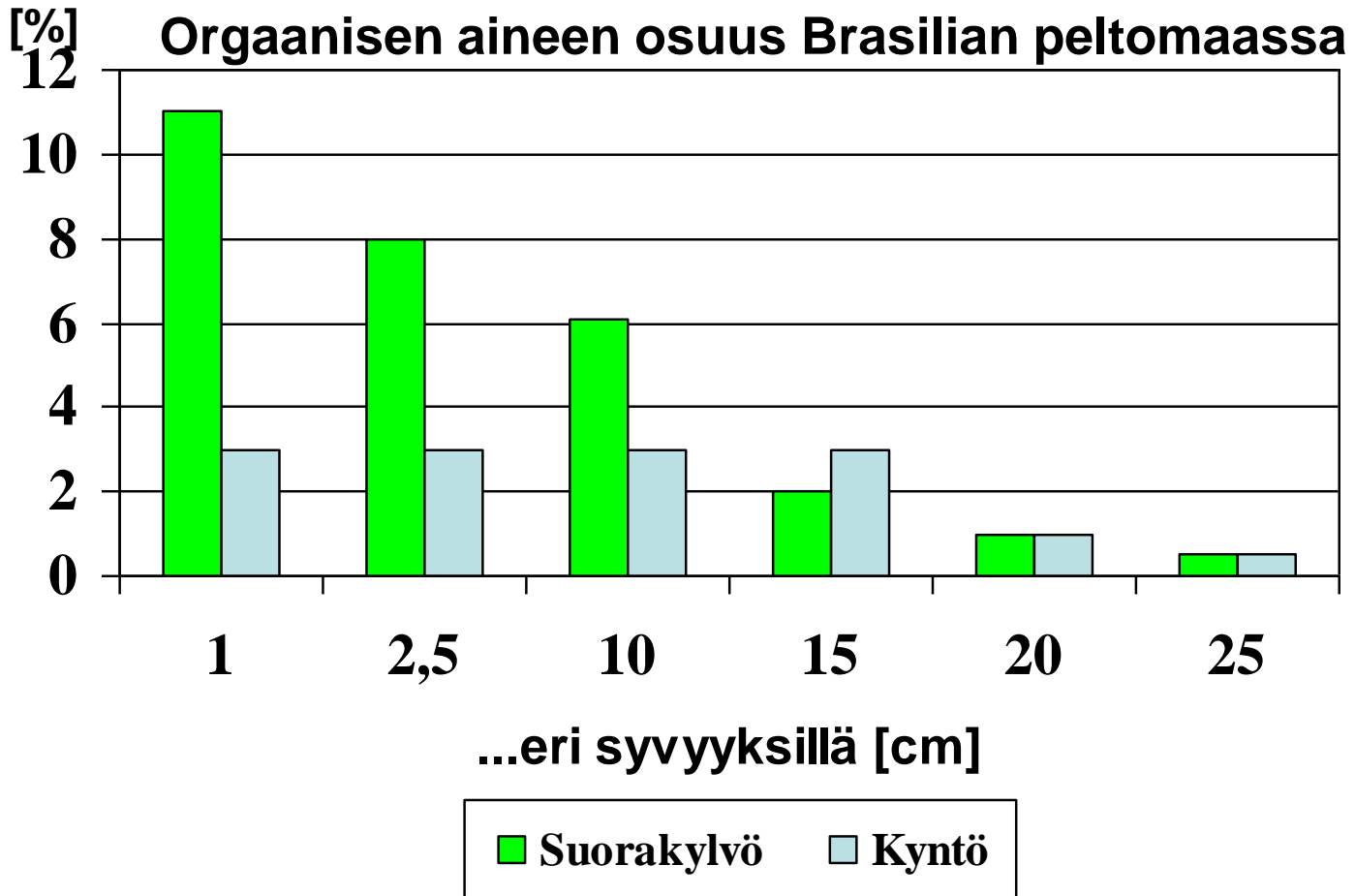
❖ Aatteellisia ”yli-ihmisiä” pommeineen saamme nähdä jatkossakin joukossamme

❖ Biologit sitä vastoin pyrkivät edes kyntämättömään viljelyyn

Ekotehokkuusjalostus: Kyntämättömän viljelyn kasvilajikkeet

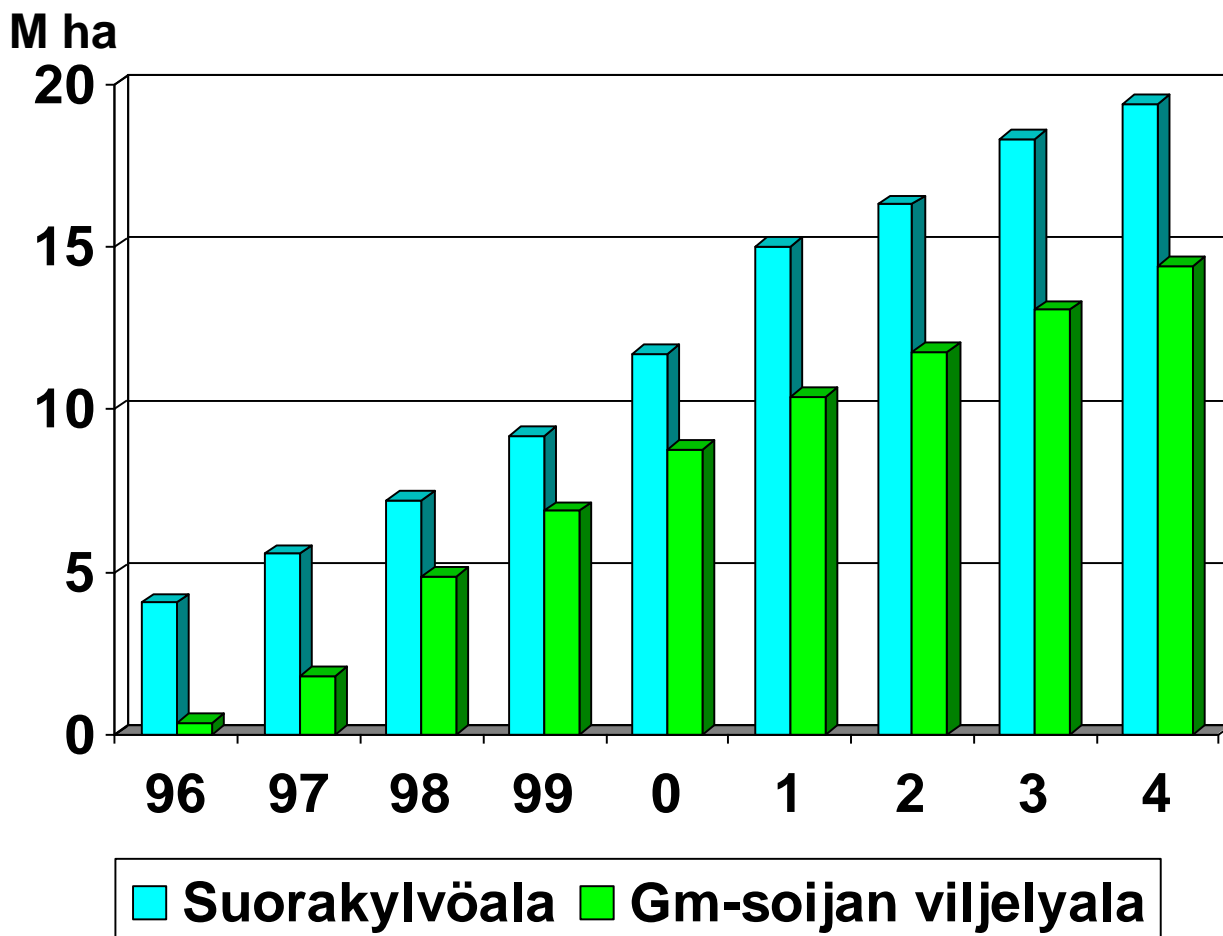
- ❖ **Kyntämätön viljely (suorakylvö)**
vähentää eroosiota keskimäärin
488-kertaisesti
 - ...ja parantaa maan hiilensitomiskykyä
 - ...mutta sen edistämiseksi tarvittaisiin taudin- ja tuholaiskestäviä kasvilajikkeita
 - sillä kyntö pitää osaltaan kurissa monia kasvintuhoojia
- 👉 Montgomery (2007), *PNAS* 104: 13268-13272
www.pnas.org/content/104/33/13268.abstract
- 👉 www.geenit.fi/GmSoijaArg.pdf

Kyntämätön viljely (suorakylvö) lisää orgaanista ainesta Brasilian maaperässä



- ❖ Suorakylvössä maata ei sekoiteta, joten orgaanisen aineen määrä vaihtelee pellon eri syvyyksissä
 - suurin se on pintakerroksessa, jossa on paljon kasvijätettä
- ❖ Suorakylvö vähentää eroosiota 96 % ja polttonesteiden kulutusta viljelyssä 60 % (Gassen 2004)
- ☞ Käytännön Maamies 2/2008
- ☞ Thinking Brazil Update N:o 9, Feb. 2004
www.wilsoncenter.org/topics/pubs/Thinking.Brazil.9.pdf

Gm-soija moninkertaisti kyntämättömän viljelyn eli suorakylvön Argentiinassa v. 1996–2004



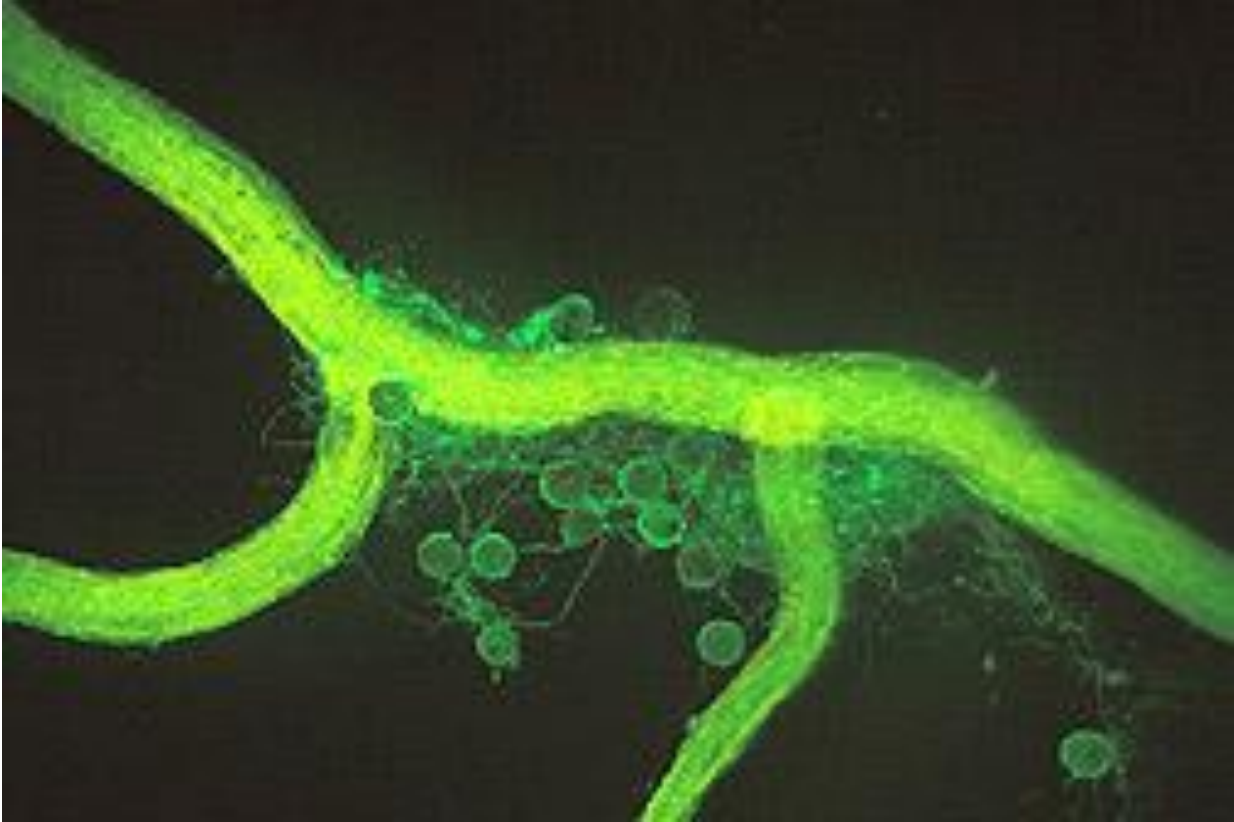
☞ EJ Trigo & EJ Cap (2006). Ten years of GM crops in Argentine agriculture

Maan ”superliima” glomaliini säilöö hiilen ja murustaa



👉 Wright & Nichols, *Agr. Res.* (Sep. 2002)

Kyntäminen huventaa glomaliinivarantoja

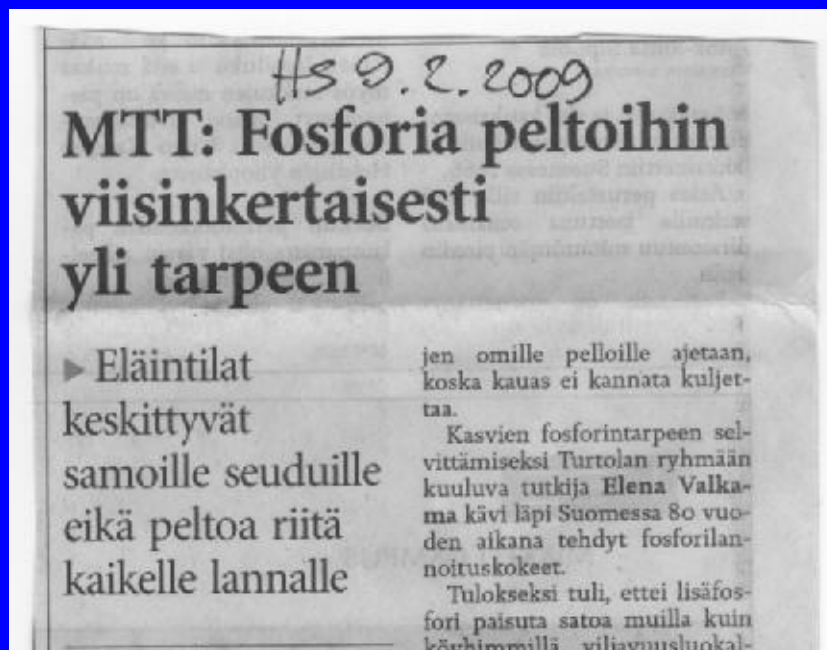


- Kolmasosa maaperän hiilivaroista on glykoproteiini glomaliinissa
 - syntyy mykoritsasienten pinnalla
 - säilyy maassa pitkään (jopa 42 vuotta)
 - liika fosfori haittaa (eläinten lanta)
 - kyntäminen vähentää
- Uusi hiilinielu
 - CO₂ tehostaa glomaliinin tuotantoa

Emoja* ympäristön asialla?

* Emo = 'elävä muuntogeeninen organismi'

Ympäristösika pelastaisi vesistöt ...jos ”aatteelijat” antaisivat



Ympäristösika saastuttaa vähemmän

- ◆ Viljan jyvien fosforista 2/3 on sitoutuneena fytiinihappoon
- ◆ Sika ei pysty sitä hyödyntämään
 - fosfori kulkeutuu jätöksiin
 - saastuttaa vesistöjä ja tuottaa metaania
- ◆ Ympäristösian syljessä on fytaasia
 - rehun käyttö tehostuu, järvet säästyvät

☞ *Nature Biotechnol.* 19 (2001): 741-745

www.geenit.fi/Ympsika.htm



Ympäristösika voi hyvin

www.uoguelph.ca/enviropig

Mihin uutta kasvinjalostusta ja 'emoja' tarvitaan – ja miksi?

- ❖ Jos ympäristö muuttuu, maataloustuotanto heikkenee tärkeimmillä tuotantoalueilla
- ❖ On nopeasti päivitettävä maailman (kymmenet) tuhannet tärkeimmät kasvilajikkeet
- ❖ Tärkeitä jalostusominaisuuksia ovat mm: satoisuus (uudet käytöt); resurssien käytön tehokkuus (vesi, ravinteet), ml. hiilitehokkuus; taudinkestävyys, tuholaiskestävyys; ekologinen sietokyky (kuumuus, kuivuus, kylmyys, suolaisuus, happamuus [alumiini], tulvat, vaihtelu); ravitsevuus (proteiinit, öljyt); terveellisyys (myrkyt, haitta-aineet, vitamiinit, mineraalit, WHO: saatava pääkasveista); sekä maku (koska vihdoin osataan...)
- ❖ Tarvittavaa geneettistä vaihtelua ei useimmiten ole riittävästi kasvilajin jalostusaineistoissa
- ❖ Perinnejalostus on normaalisti myös (aivan) liian hidasta, epätarkkaa, likaista ja tehotonta (www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf)
- ”Perinteiset” jalostuskeinot eivät yleensä riitä
 - vaan tarvitaan avuksi uutta geenitietoa ja -taitoa: geenimuuntelua ja **emoja** (eläviä muuntogeenisiä organismeja)

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

Monet jalostusominaisuudet ovat ekologisesti ”kesyjä”

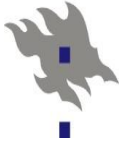
- ◆ Laatuominaisuudet, jotka parantavat kasvin käyttökelpoisuutta ihmisen tarpeisiin
 - eivät yleensä auta kasvia leviämään tai selviämään paremmin luonnon ekosysteemeissä...
 - ...jalostusmenetelmästä riippumatta (olipa käytössä uusi tai vanha kasvinjalostus)
 - vaan ne joutuvat säännön mukaan karsituiksi pois luonnon valinnassa
- ◆ Sopeutuneisuutta merkittävästi lisäävät uudet jalostusominaisuudet ansaitsevat sitä vastoin enemmän tarkkailua
 - sillä tuollaiset ominaisuudet voivat tiettyyn mittaan yleistyä myös luonnon populaatioissa
 - ...jalostusmenetelmästä riippumatta (olipa käytössä uusi tai vanha kasvinjalostus)



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**

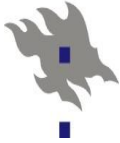
viljelykasveissa tulisi välittömästi vapauttaa geenisäädösten ympäristövaatimuksista ([JT 2006](#))

- ...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



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)



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)

- ...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