



HELSINGIN YLIOPISTO

HELSINGFORS UNIVERSITET

UNIVERSITY OF HELSINKI

Geeniteknologian vaikutus huomispäivään

Eiran aikuislukio 10.11.2010

III. Terveyttä, laatua, ekotehokkuutta ja ruokaturvaa kasvinjalostuksella

<http://www.geenit.fi/Eira10terv.pdf>

Jussi Tammisola,
kasvinjalostuksen dosentti
jussi.tammisola@helsinki.fi
www.geenit.fi





Myyteistä myntiksi kotimaisen ruoan lumokampanjalla

- Maatalousministeri(ö) 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 ja juuria; toki ”Jätä raa’aksi”-idealla. Poronkieli hautui luonnon läheisesti 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 Suomen luonnon syöjille ja muille ideologisille ”keräilypuutarhureille”)



Solanum dulcamara
Kuva: J.Tammisola,
Pirkkola 2010

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



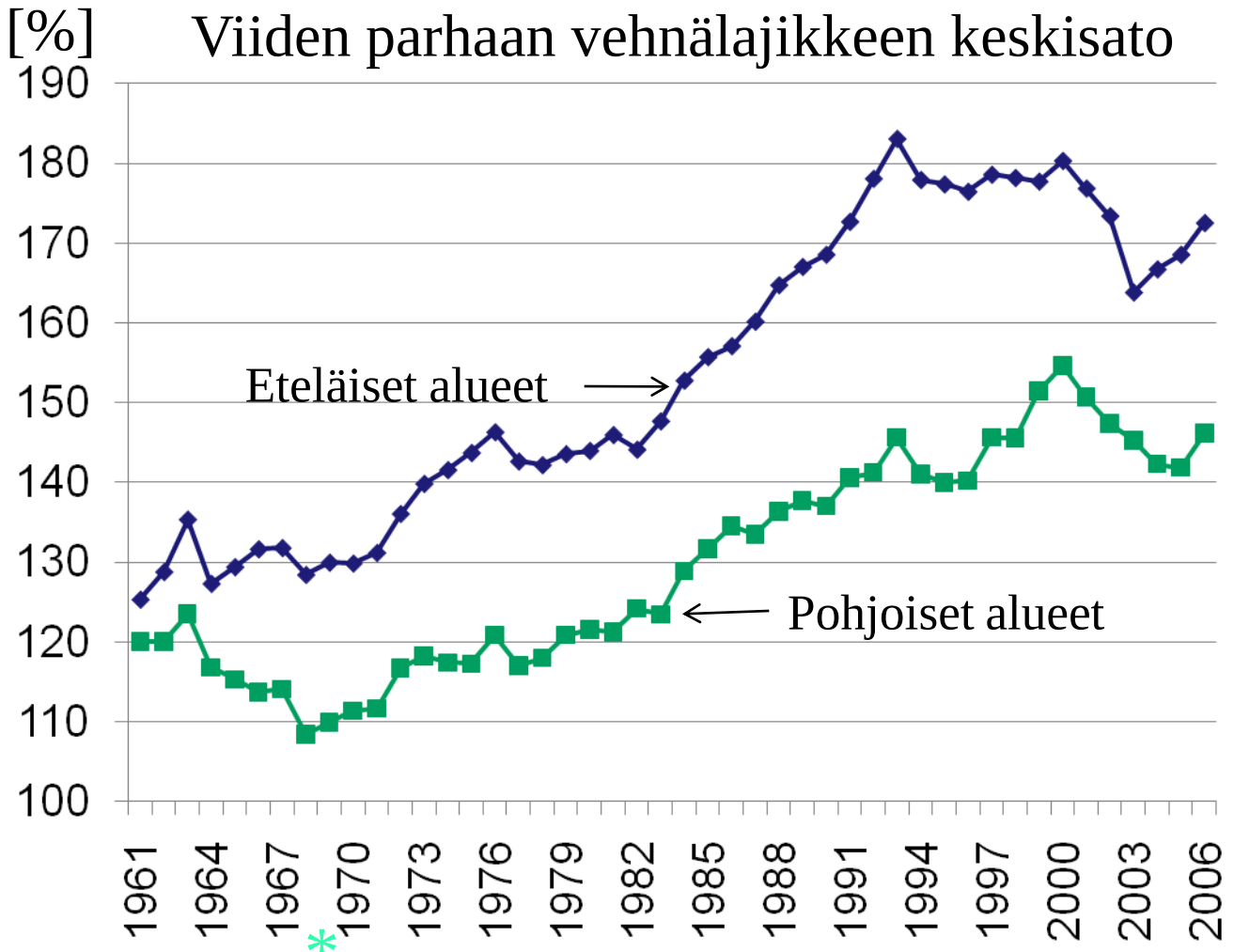
- ❖ Kuinka uutta geneettistä tietotaitoa voidaan käyttää viljelykasvien ominaisuuksien parantamiseksi?
- ❖ Mihin kasvibiologian ongelmiin geenitekniikka sopii paremmin kuin vanhat konstit, ja miksi?
- ❖ Maailma muuttuu joutuisammin kuin ennen
 - osaammeko pysyä vauhdissa mukana?
 - ...tai jopa edistyä hieman, jotta
 - ravinnon tuotanto maailmassa voidaan turvata, sekä
 - siirtyä biotalouteen eli uusiutuvien biologisten voimavarojen hyödyntämiseen elinkeinoelämässä

Mihin uutta kasvinjalostusta 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 vihdoinkin 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)



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

Banaani on kehitysmaiden neljänneksi tärkein ruokakasvi



Kuva: J.Tammissola, Rodos 2009

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

Sienitautien evoluutio vie Chiquitan pian historian tunkiolle?



Lehtilaikkutauti (Black Sigatoka)

...kuten se hävitti "hymyilevän banaanin"
puoli vuosisataa sitten

- ◆ Kaupan banaanit ovat siemenettömiä triploideja, joten niiden
 - ◆ perinnejalostus on hyvin tehotonta
- ◆ 40 vuodessa ei 'Cavendish'-banaaneille ole saatu aikaan taudinkestävää seuraajaa:

<http://www.geenit.fi/ALba9203.pdf>

...vai pelastaako
kaupan banaanit
"eläimen kikkare"



- ◆ ...eli villi luonnon banaani?
- ◆ Ei sitä syö erkkikään, mutta
- ◆ ...taudinkestävyyden geenejä siitä saisi
 - toki vain geenitekniikalla...

Suosikkibanaanin ylösnousemus – kehitysmaasta?

- ◆ ”Hymyilevä banaani”
(’Gros Michel’) on jalostettu taudinkestäväksi geenimuuntelulla Ugandassa
 - kasviin tuotiin kaksi sienitaudeilta suojaavaa kitinaasigeeniä riisistä
 - laboratorionkokeissa kasvit olivat erittäin kestäviä uutta tuhoisaa lehtilaikkutaudin (Black Sigatoka) rotua vastaan
 - kenttäkokeet ovat jo käynnissä
- ◆ Banaanien geenikartoituksen edetessä kestävyysgeenejä noudetaan puhtaina myös villibanaaneista

http://www.geenit.fi/Natura4_2010.pdf

Kuinka jalostettiin ”kultainen riisi”?

- ◆ EU ja Rockefeller-säätiö rahoittivat "kultaisen riisin" jalostamista
 - avainasemassa sveitsiläiset yliopistotutkijat (prof. Ingo Potrykus)
- ◆ Jyvät sisältävät β -karoteenia
 - tuottaa elimistössä A-vitamiinia
 - 2 geeniä narsissista
- ◆ Jalostetut kasvinlinjat lahjoitettiin Maailman riisintutkimuskeskukselle (IRRI, Filippiineillä)
 - lajikkeiden jalostamiseksi kehitysmaille
- ◆ Lajikkeita aletaan viljellä Aasiassa v. 2012
- ◆ Geenivastustajat kampittavat yhä näidenkin humanitääristen lajikkeiden kehittämistä...

Miljardien ravintoon tarpeeksi A-vitamiinia?



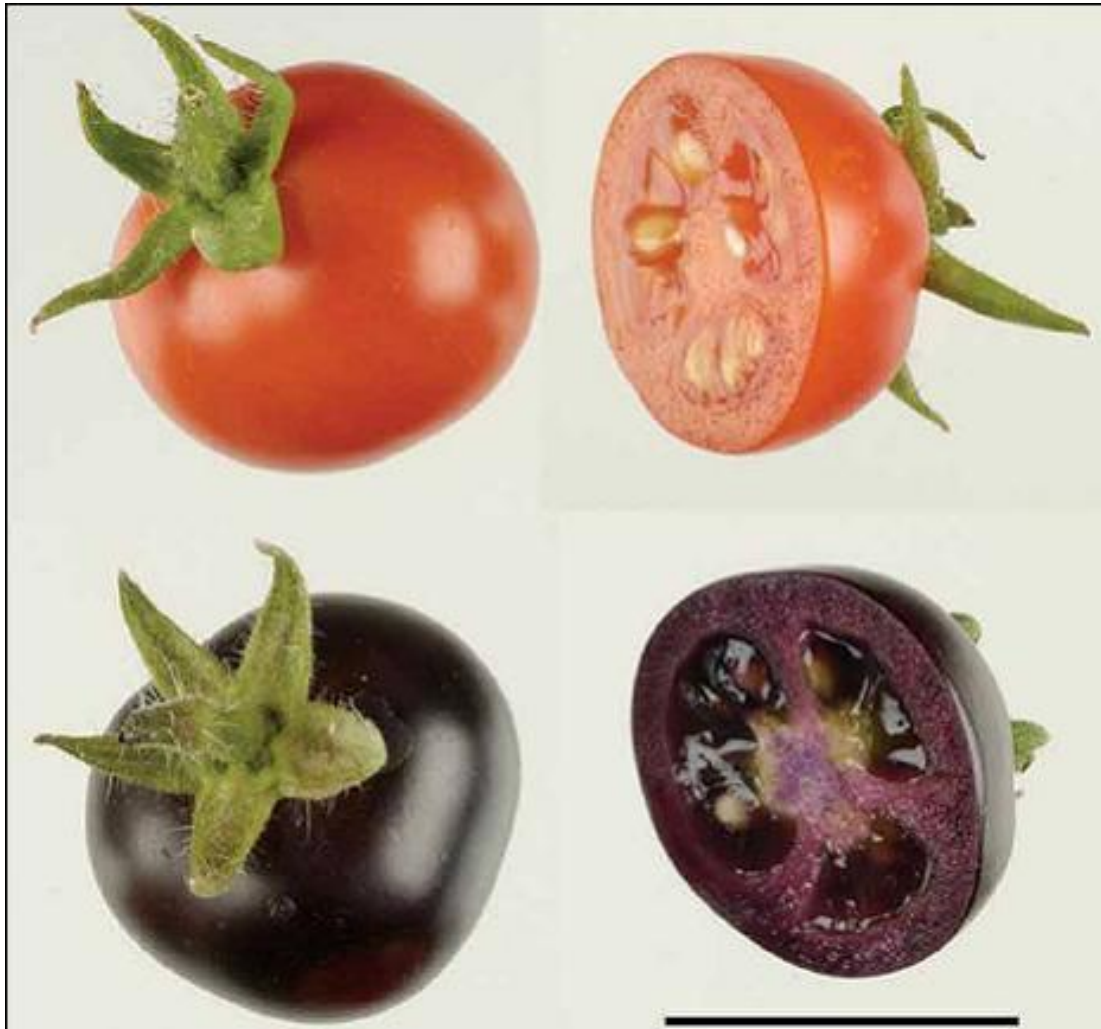
**Tavallinen
riisi**

**Aiempi ja uusin
kultainen riisi**

- ◆ Greenpeace väittää, että kultaista riisiä ”täytyisi syödä 9 tai 14 kg joka päivä” , jotta saisi mitään apua A-vitamiinin puutteeseen
 - tämä on tavanomaista ”geenipötyä”
- ◆ Uudet tutkimukset vahvistavat, että kultainen riisi on tehokkaampaa kuin tutkijat uskalsivat edes toivoa
 - 200–300 g kultaista riisiä päivässä riittää ehkäisemään A-vitamiinin puutteesta aiheutuvat vauriot
 - ...joihin kuolee miljoonia ihmisiä ja sokeutuu 500 000 lasta kehitysmaissa joka vuosi

☞ www.goldenrice.org
- ◆ Uusimmissa kultaisen riisin linjoissa on 20 kertaa enemmän beetakaroteenia kuin varhaisemmissa
 - ☞ Paine ym. (2005), *Nature Biotechnology* 23: 482-487
 - ☞ www.goldenrice.org/PDFs/fs_GR_IRRI_2005.pdf

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

...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

Pitkäketjuisia omega3-öljyjä viljelykasveihin – terveyttä riskiryhmille

- Pitkäketjuiset omega3-rasvahapot (EPA ja DHA) ehkäisevät sydäntauteja
 - saattavat alentaa kuolleisuutta jopa yhtä paljon kuin statiinit
(Stanley 2006, *Lipid Tech.* 18: 158)
- Näitä sydänystävällisiä rasvahappoja saadaan toistaiseksi vain kalasta
- Kalaa ei kuitenkaan riitä maailmassa kaikille
 - vaan sen saanti on vähenemässä ylikalastuksen ja kalastusrajoitusten vuoksi
- Kasvinjalostajat ovat siksi kehittämässä viljelykasveja, jotka turvaisivat pitkäketjuisten omega3-rasvahappojen suositellun saannin kaikille, varsinkin
 - maailman köyhille (joiden ruokavalio usein perustuu kasveihin)
 - vegaaneille, ja
 - kala-allergikoille

Sydänystävällisten öljykasvien jalostaminen

- Itse asiassa kalat saavat pitkäketjuiset omega3-rasvahapponsa levistä
- Kasvikunnassa niitä osaavat valmistaa sammalet ja levät, mutta eivät kukkakasvit
 - viljelykasveissa omega3-happoja syntyy vain lyhytketjuisina (vähemmän hiiliatomeja), jollaisista on niukasti hyötyä terveydelle
- Tarvittava geeni puhdistettiin levälajista ja jalostettiin öljykasveihin geenitekniikalla
- Kenttäkokeet osoittavat, että jalostetuissa koekasveissa syntyy runsaasti näitä toivottuja rasvahappoja (EPA ja DHA)
 - soijajehtaarilta niitä saadaan yhtä paljon kuin 30 000 lohesta
- Sydänystävällisten omega3-kasviöljyjen odotetaan tulevan markkinoille vuonna 2011 Amerikassa

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 johtuu usein sen joistakin erityisistä aminohappojaksoista (epitoopeista)
 - ...jotka saattavat olla lyhyitä, jopa vain 8 aa pituisia
- ◆ Suojaava eli allergisoitumista estävä tai parantava immunisaatio syntyy hieman eri tavalla
 - ...eikä allergeenisia epitoopeja siihen tarvita
- ◆ Geenitekniikan avulla rakennettiin siksi peptidi (pieni fuusioproteiini)
 - josta allergeeniset 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 allergisia 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 japaninseetrin tapauksessa
 - ...sillä siitä on löydetty jo ainakin 4 eri allergeenistä proteiinia
- Syötävää rokotetta koivuallergiaan ei ole vielä tiedossa, mutta
 - tehokasta ja turvallista pistettävää rokotetta Bet v 1 –proteiinista aiheutuvaan koivuallergiaan jo kehitetään
 - ... muuntogeenisen rokoteproteiinin (fuusiopeptidin) pohjalta
 - ...samalla idealla kuin syötävää rokotetta japaninseetriallergiaan (Mahler ym. 2004,)

Syödäänkö ehkäisevää rokotetta astmaan?

- ◆ Samoin on syötävällä rokotteella onnistuttu estämään astman kehittyminen hiirillä
- ◆ Normaalisti koehiirille kehittyy astma, kun ne altistetaan toistuvasti auringonkukan siemenalbumiinille (siemenen varastoproteiini)
- ◆ Astman synty kuitenkin estyi, kun hiirille oli syötetty ennakoon lupiinin siemeniä, jotka oli jalostettu tuottamaan kyseistä proteiinia
 - Astmaa ei syntynyt, vaikka hiiriä pölytettiin hyvin voimakkaasti tuolla astmaa laukaisevalla proteiinilla (Smart ym. 2003)

Soija-allergia on vakava ja yleinen vaiva maailmalla

- ◆ Soija on yksi kahdeksasta yleisimmästä ruoka-allergian aiheuttajasta
- ◆ Soijaa esiintyy tuhansissa prosessoiduissa elintarvikkeissa, joten sen saantia on vaikea välttää
- ◆ Soija voi aiheuttaa myös vakavia reaktioita, jopa anafylaktisen shokin
- ◆ Soijapavun siemenissä on 1 400 eri proteiinia
- ◆ Näistä siemenproteiineista noin 7 aiheuttaa yleisesti allergiareaktioita USA:n aikuisväestössä
 - ...joiden lisäksi eräät muutkin niistä voivat aiheuttaa vasta-aineiden muodostumista lapsissa (mutta eivät yleensä aiheuta allergiaoireita aikuisilla)

Vähemmän allergisoivia soijalajikkeita jalostetaan...

- ◆ Tutkijat yrittävät poistaa tärkeimmät allergiaproteiinit soijapavuista
 - ...mikä voisi vähentää tai ehkäistä uusien allergioiden kehittymistä väestössä
 - ...ja lieventää tahattomista soija-altistumisista aiheutuvia oireita jo herkistyneillä henkilöillä
- ◆ Soijan immunologisesti merkittävin allergiaproteiini (P34) saatiin poistetuksi vaientamalla sen geeni geenitekniikalla
 - P34-proteiini aiheuttaa yli 65 prosenttia soija-allergiareaktioista USA:ssa
 - geenin vaientaminen ei heikentänyt soijakasvin viljelyominaisuuksia

☞ Herman ym. (2003). *Plant Physiol.* 132: 36–43

...geeni geeniltä

- ◆ Toiseksi tärkein soijan allergisoiva proteiini puuttui valmiiksi eräästä geenipankkien kokoelmista löydetyistä soijalinjasta
 - luontaisen mutaation tuloksena
- ◆ Tämä toinen allergiaa vähentävä ominaisuus voidaan yhdistää edellä kuvatun P34-vaiennuksen kanssa
 - perinteisillä risteytyksillä
 - ...sillä soijalajikkeet ovat itsesiittoisia, puhtaita linjoja
- ◆ Soijan kolmanneksi tärkeintä allergisoivaa proteiinia ollaan myös jo vaientamassa (geenitekniikalla)

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-, hermo- ja sikiövaurioita)
- ◆ Koisankestävässä maississa homemyrkkyä on jopa sata kertaa vähemmän:
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.agbioworld.org> Data produced by the University of Milan, Italy

Luonnonvarojen kestävä käyttö?

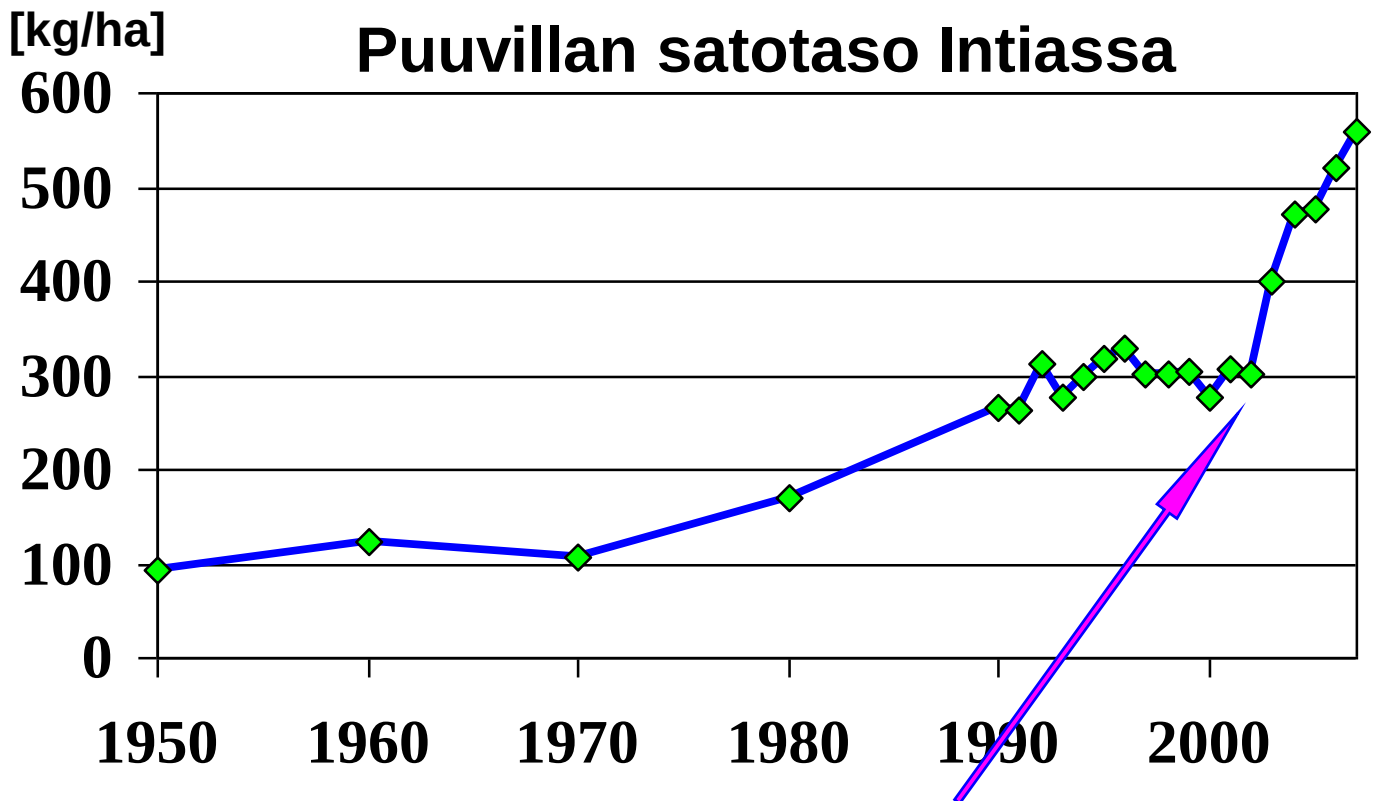
- ◆ Kuinka luonnolta valtaamaamme elintilaa tulisi käyttää
 - ...jotta ihmiskunta saisi riittävästi tarvitsemiaan hyödykkeitä (food, feed, fuel & fiber)
 - ...ilman, että viimeisetkin luonnon ekosysteemit on raivattava ihmisen käyttöön?
- ◆ Avainsana on (eko)tehokkuus:
 - tuotammeko siis jo vallatuilta alueilta tehokkaasti vaikkapa...



**...puuvillaa
vai tuholaisen toukkia?**



Yökkösenkestävä puuvilla pelasti Intian puuvillateollisuuden



- ❖ Bt-puuvillan viljely alkoi v. 2002
 - nyt yökköskestäviä lajikkeita kasvatetaan noin 80 prosentilla Intian puuvilla-alasta
 - satotaso on noussut 80 % kuudessa vuodessa, osoittavat viralliset satotilastot Intiassa
- ❖ Gm-puuvilla vähentää itsemurhia Intiassa
 - osoittavat tutkimukset www.geenit.fi/Vahltsem.htm
 - vähentää katoriskiä
 - parantaa satoa, tuloja ja työsuojelua
- ❖ Kuivankestäviksi jalostetut gm-puuvillat ovat jo viljelykokeissa

Taudinkestävät viljelykasvit

- ◆ Taudinkestävät kasvilajikkeet voisivat suuresti vähentää kasvien pahoinvointia (stressiä) ja viljelyn ympäristörasituksia
- ◆ Kasvitaudit aiheuttavat usein, turhan päiten,
 - suuria satomenetyksiä
 - viljelyalan ja tuotantopanosten haaskausta (ml. kemikaalit, energia ja työ)
 - huonoa tuotelaatua, ja
 - vahingollisten aineiden syntymistä kasvissa (kasvin luontaiset torjunta-aineet, syöpävaaralliset myrkyt)

Viruskestävyyden jalostaminen

- ◆ Kestävyyttä virustaudeille ei useinkaan esiinny viljelykasvien jalostusaineistoissa
- ◆ Kasvit voidaan kuitenkin jalostaa viruskestäviksi eräänlaisella geneettisellä rokotuksella*, geenitekniikan avulla
- ◆ Kaikkein laajimmat edut voitaisiin saavuttaa tropiikissa ja kehitysmaissa
- ◆ Virustuhot voivat olla massiivisia
 - virus vie usein pääosan pellon sadosta
- ◆ Viruskestävillä lajikkeilla voidaan luopua osasta hyönteismyrkkyruiskutuksia
 - ...koska viruksia kuljettavia hyönteisiä (vektoreita) ei enää tarvitse pitää täysin kurissa
- ☞ Jalostustapauksia: viruskestävä kurpitsa, papaija, kassava jne.

* Viruksen toiminta kasvissa estetään hyödyntämällä rna-interferenssiä (josta lääketieteen tutkijat saivat Nobel-palkinnon vuonna 2006)

Kasvien jalostaminen kestäviksi sienitaudeille

- ◆ Sienitauteja täytyy monesti pitää kurissa kalliilla torjunta-aineilla
- ◆ Eräät kasvien homeet tuottavat vahvoja syöpämyrkkyjä (kuten aflatoksiinia)
- ◆ Altistumista piileville homeille voi olla vaikea välttää eräitä maa- ja puutarhatalouden tuotteita käytettäessä
- ◆ Esim. homeelle vastustuskykyisiä mansikoita on jo kehitetty tutkimuslaitoksissa, mutta niitä ei ole kaupallisesti saatavissa, koska...
- ◆ ...jalosteiden kaupallistamisen karikot ovat liian arvaamattomia ja kestäättömän kalliita (raskaan säädöstaakan vuoksi), varsinkin
 - julkisen sektorin tutkijoille
 - vähemmän viljellyille tai paikallisille ("orpo")kasveille
 - kasvullisesti lisättäville lajikkeille (kuten mansikoille), joilla (sen ainoan) jalostetun lajikkeen viljelyala jää rajoitetuksi



**home nauttii
myös
gerberasta...**

Kuvat: Teemu Teeri ©



Tuotteissa piilevät infektiot voivat altistaa ihmisiä vahingollisille aineille



J. Tammisola©

- home on valloittanut omenan sydämen
omenakääriäisen käytävien kautta
- ...ja nautimme omenasta patuliini-
homemyrkkyä

Viljelläkö ruttoa vai perunoita?



– rutonkestävyyttä villiperunasta
geenitekniikalla

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

Perunalajikkeiden parantaminen kestäviksi perunarutolle



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

Villiperunasta saadaan laajaspektristä kestävyyttä 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 aikamenekki
 - myrkkyyvaara: peukalokyytiläiset voisivat tuoda myrkkijä viljelyperunaan

Rutonkestävyys parantaa laatua ja hyödyttää ympäristöä

- Perunarutto pilaa mukuloiden laadun ja romahduttaa satomäärän
 - Lauhkeassa ilmastossa ruttoa on usein torjuttava 10 ruiskutuskerralla
 - ...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

Suosittu vanhat lajikkeet voidaan pelastaa parantamalla niitä kohdistetusti

- 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 niihin tärkeitä uusia ominaisuuksia
 - ...geenitekniikan avulla
- Burbank-peruna voidaan jalostaa jälkikäteen rutonkestäväksi
 - ...kuten myös Euroopan suosikkilajikkeet

Prioneille kyytiä?

On jo jalostettu:

– hulluton lehmä



www.geenit.fi/HullutonKarja.htm

– kutkaton lammas:



Insuliinia kasveilla kaikille edullisesti



- ◆ Esiaste tuotetaan safflor-kasvissa
- ◆ Lääkehyväksyntä 2010
- ☞ www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f_id=1219168
- ☞ <www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f_id=1219168>

Evoluutionsa alussa kaikki kasvit
sietivät suolaa... nykyisin vain
muutamat



Kultahietikko, Bulgaria. ©J.Tammisola 2006

Merikilokki ja suolayrtti kasvavat merien rannoilla
ja jopa suolankeruualtaiden pohjalla

Suolamaanviljelyn aika – murtovesi ja suolavesi käyttöön maataloudessa?

- ❖ **Makeaa vettä on 1 prosentti**
 - ...samoin murtovettä, 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: www.geenit.fi/MesimSTTKasik080405.pdf)
 - 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 murtovettä on paljon (ja se olisi monille kasveille helpompaa)
 - ❖ **Suolankestävien kasvien kasvatusta voitaisiin helposti kytkeä vesiviljelyyn**
 - ...eli vesieläinten kuten kalojen ja äyriäisten kasvatukseen
- ☞ Rozema J, Flowers T (2008). Crops for a salinized World. *Science* 322: 478-480

Suolankestävät lajikkeet puhdistavat maaperää

- 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

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

Kuivankestävä vehnä



...jaksaa odottaa sadetta
ohran geenin ansiosta

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

...varmistaa ruokaturvaa huonoissa oloissa

❖ 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

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 myrkyt 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 sekä 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



Ekotehokkuusjalostus: Kyntämättömän viljelyn kasvilajikkeet

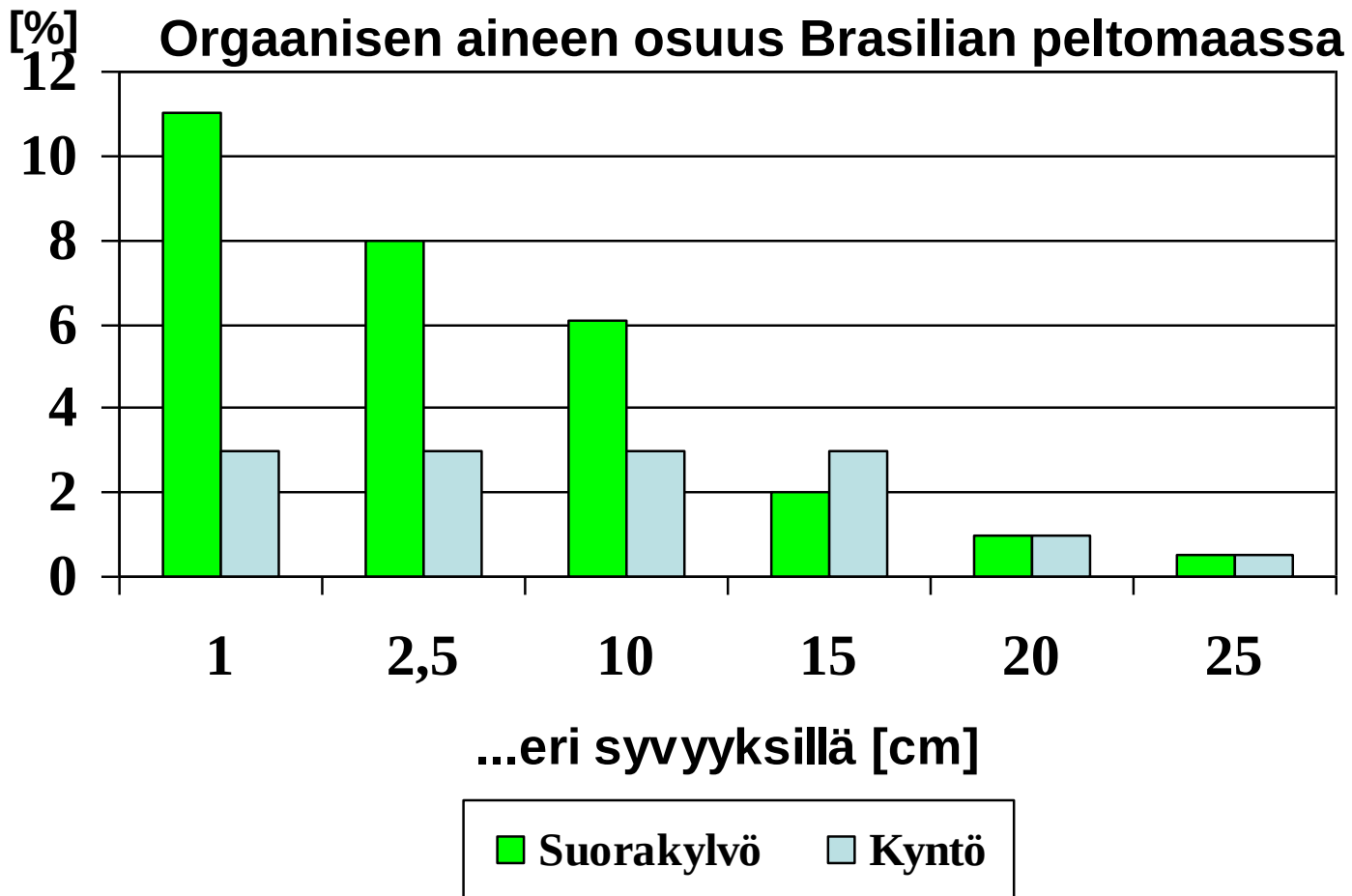
❖ Kyntämätön viljely (suorakylvö) vähentää eroosiota keskimäärin 488-kertaisesti

- ...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

👉 <http://www.geenit.fi/GmSoijaArg.pdf>

Kyntämätön viljely (suorakylvö) lisää orgaanista ainesta Brazilian maaperässä



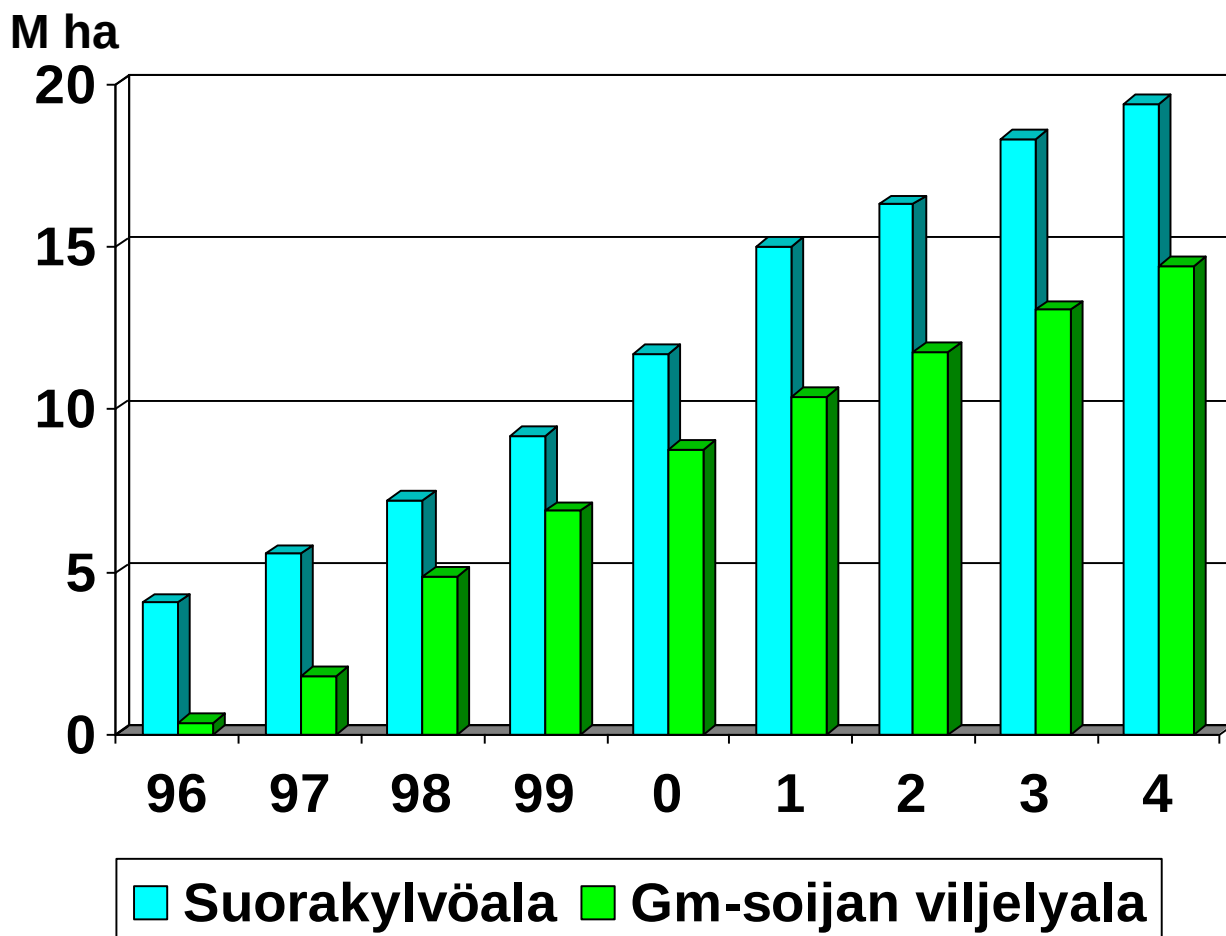
- ❖ Suorakylvössä maata ei sekoiteta, joten orgaanisen aineen määrä vaihtelee pellon eri syvyyksissä
 - suurin se on pintakerroksessa, jossa on paljon kasvijätettä
- ❖ Suorakylvö vähentää eroosiota 96 % ja polttonesteiden kulutusta viljelyssä 60 % (Gassen 2004)

☞ 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

Kuinka sopeutua nopeasti muuttuvaan ympäristöön?

- ◆ Jo pelkkä ilmaston muuttuminen toisi kasvinjalostajille valtavan urakan:
 - ✓ olemassa olevat tuhannet kasvilajikkeet pitäisi päivittää menestymään muuttuneissa oloissa
 - ✓ tärkeillä viljelykasveilla pitäisi jalostaa kokonainen sukupolvi uudenlaisia, kestäviä lajikkeita
 - kuivuuden-, kuumen-, suolan- ja tulvankestäviä
 - paljon nykyistä kestävämpiä taudeille ja tuholaisille, jotka saattavat äityä paheneviksi epidemioiksi
- ◆ Nopeita ponnisteluja tarvittaisiin jo siihen, että nykyiset satotasot ja ravinnon tuotannon tehokkuus voitaisiin säilyttää
 - ruokaturvan parantaminen edellyttäisi jo enemmän luovuutta – ja hieman myönteisempää asennetta biotieteisiin

Siirtyminen biotalouteen vaatisi uusia saavutuksia biologisessa tehokkuudessa

- Korkean tuottavuuden saavuttaminen on kestävän biotalouden perusedellytys
 - koskee myös biopolttoaineita
- Bioteknisiä ratkaisuja, jotka pystyvät menestyksellisesti kilpailemaan vanhojen teknologioiden kanssa
 - satoisuudessa, energiatehokkuudessa ja kustannuksissa
- ...täytyy kehittää käyttöön muutamassa vuodessa tai vuosikymmenessä
- ...mutta tämä on kova haaste (jopa) EU:lle
- ❖ Esim. möhöjuurenkestävää rapsia/rypsiä (jalostettaisiin geenitekniikalla) voitaisiin kasvattaa lyhyellä kierrolla (nyt viljelyväli on 5 vuotta)
 - ❖ ...jolloin rapsiöljyn tuotantoa voitaisiin suuresti lisätä

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

Sokeriruokolajikkeita on vaikea jalostaa

- ❖ Viljelty 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 geenejä (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 jalostusaskella

- ❖ 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 koskematonta luontoa eikä ravinnon tuotantoa:

Plant Biotechnol. J. 5: 109-117

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

Sokeriruoko ryhtyy pilkkomaan selluloosansa sokereiksi itse?

- ❖ Sokeriruoko tuottaa yli 200 tonnia biomassaa hehtaarilta
- ❖ Kasvi jalostetaan pilkkomaan selluloosansa sokereiksi omin neuvoin
 - ilman kalliita esikäsittelyjä 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 esikäsittelyiltä
 - geeni käynnistetään vasta 2–3 päivää ennen sadonkorjuuta, jolloin entsyymi ei haittaa kasvin kasvua
- ❖ Lajiketta kehittää Australian ja Brasilian yhteinen tutkimusliittoutuma

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

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 Campinas yliopiston biotekniikkayhtiö Allelyx

Tuoksuvan riisin salaisuus selvisi Thaimaan biologeille

- ◆ Thaitutkijat selvittivät aromin genetiikan viljoilla
- ◆ Tavallisilla viljakasvien lajikkeilla tuoksuttomuuden geeni on toiminnassa
 - ...kun taas aromiriiseissä (basmati ja jasmiini) tämä geeni on sammunut mutaation tuloksena
- ◆ Löydetty geeni puhdistettiin ja patentoitiin, jotta oikeudet sovellusten markkinointiin pysyisivät kehitysmaassa
- ◆ Vehnällä tuoksuttomuuden geenejä on kaikkiaan 6, joten kaikkia niitä ei voida saada sammutetuksi vanhoilla konsteilla
 - ...eli rikkomalla geenejä sattumanvaraisesti säteilyllä ja mutageenisilla kemikaaleilla
 - jo yhden geenin sammuttaminen perinteisellä ”yrityksen ja erehdyksen” menetelmällä vaatii valtavasti työtä ja aikaa

...mutta saako kehitysmaa vaurastua läpimurrolla?

- ◆ Geenimuuntelun avulla (nobel-palkitulla rna-häirinnällä) aromivehnä voidaan sitä vastoin jalostaa yhdellä askelella
 - kaikki 6 tuoksuttomuuden geeniä voidaan sammuttaa kohdistetusti yhdellä kertaa
- ◆ Todelliseksi haasteeksi muodostuu saada aromivehnälle EU-lupa!
- ◆ Se on käytännössä pakko hankkia
 - vaikka tuotetta ei aiottaisi EU-markkinoille
 - ...sillä ilman EU-lupaa kalliita tuontikieltoja on tiedossa, jos mitätönkin määrä aromivehnää löytyisi EU:hun tuotavista viljaeristä
- ☞ Bradbury ym. (2005). *Plant Biotech. J.* 3:363-370
- ☞ www.geenit.fi/PohSa130306.pdf

Tehostetut tärkkelysperunat ja ekologinen tärkkelyspaperi

- ◆ Tavallisissa perunoissa on kahdenlaista tärkkelystä: amyloosia ja amylopektiiniä
- ◆ Jälkimmäinen sopii moniin teknisiin sovelluksiin (esim. liimat, paperi) paljon paremmin
- ◆ Amylopektiiniperuna jalostettiin vaientamalla yksi perunan oma geeni geenitekniikalla
- ◆ Tuotehakemus sen kasvatuksen ja käytön sallimiseksi on kiitänyt EU:n jonossa vuodesta 1996 lähtien
 - ja päätös saattaa hyvinkin olla odotettavissa jo ennen vuoden 2007 (tai 2008... tai 2009...tai 2010?) kevätkylvöjä...

Tehokkaampien tärkkelysperunoiden jalostaminen...

- ◆ Suuri sato laatutärkkelystä toisi ympäristöetuja
 - energiaa ja kemikaaleja säästyy, koska parempi tärkkelys tarvitsee vähemmän kemiallista modifiointia
- ◆ Boreal Kasvinjalostus jalostaa geenitekniikalla tärkkelysperunaa, jonka tärkkelyspitoisuus on neljänneksen korkeampi kuin tavallisen
- ◆ Peruna on ollut kenttäkokeissa Suomessa
 - koetta saatiin sabotoiduksi vain syksyllä 2005
- ◆ Biotalouden kannalta paras tulos saavutettaisiin yhdistämällä tärkkelyksen korkea pitoisuus ihanteelliseen laatuun
 - esim. risteytyksillä näiden kahden tärkkelysperunan kesken (tai geenitekniikalla)

Borealin muuntogeeninen tärkkelysperuna kenttäkokeessa



J. Tammisola©

**...jonka geenivastustajat sitten tarvelivät
elokuun yönä 2005 ”repimällä perunat
maasta varsineen” (TS 12.8.2005)**

**...toki heikolla bio-osaamisella
(joten tärkein osa kokeesta pelastui)**

...voi auttaa siirtymään ympäristölle ystävälliseen tärkkelyspaperiin

- ◆ Puolet korkealaatuisesta painopaperista on täyteaineita, erityisesti kiveä
- ◆ VTT kehittää ekologista tärkkelyspaperia, jossa mineraaliaineet on korvattu tärkkelyksellä
- ◆ Tärkkelyspaperi on täydellisesti kierrätettävissä, ja se voidaan lopuksi polttaa energiaksi ilman haitallisten jäännösaineiden syntymistä
 - kierrätysprosessista tulee puhtaampi
 - hiilihydraatit palavat kiveä tehokkaammin
- ◆ Kaiken lisäksi tärkkelyspaperin paino-ominaisuudet ovat paremmat
- ◆ Kaupallisen hyödyntämisen kannalta tärkkelyspaperin kustannuksia täytyy vielä pystyä alentamaan

Pitääkö sian haista ja saastuttaa?



- ❖ Fytaaasia sylkeensä erittävä ympäristösika pystyy hyödyntämään kasvin fosforin
- ...joten sonta ei saastuta vesistöjä, ja metaanisaastekin vähenee

👉 www.geenit.fi/Ympsika.htm



Yleistajuisia tiedekirjoituksia kasvinjalostuksesta

- **2008:** Biologia avuksi kehitysmaille? Köyhätkin tarvitsevat kasvinjalostusta. Teemanumero: Más que gallo pinto, Nicaraguan köyhät tuottajat ja rikas ruokaperinne. Katsaus Nicaraguaan 9, 8–15, 18–19. <http://www.geenit.fi/Nic08Laht.pdf>
- **2009:** Kasvigeenitekniikan Top Ten Futures. Futura 28 (4): 28–44. http://www.geenit.fi/Futura2_09.pdf
- **2010:** Terveyttä, laatua ja ruokaturvaa kasvinjalostuksella. Natura 4/2010. http://www.geenit.fi/Natura4_2010.pdf
- Fossiilitaloudesta uusiutuviin raaka-aineisiin kasvibiologian eväillä. Natura 3/2010. http://www.geenit.fi/Natura3_2010.pdf
- Review: Towards much more efficient biofuel crops – can sugarcane pave the way? GM Crops 1 (4), 19 p. <http://www.landesbioscience.com/journals/gmcrops/TammisolaGMC1-4.pdf>