

II. Kestävän kehityksen
tekniikat
Kasvigeenitekniikka

Top Ten Futures VIII
13.2.2009

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

www.geenit.fi/TTF130209.pdf

Kymmenen teesiä biotaloudesta

1. Syötävä puuvilla hävittää pullovatsat
2. Vitsauksille täsmätorjuntaa turvallisesti
3. Mennyt banaani kuntoutuu?
4. Kasvi ehtii pelastaa pandemiassa
5. Viljelykasvit kestäviksi
6. Tuplasti sokeria autoille
7. Taotaan aurat aseiksi?
8. Ympäristösika pelastaa vesistöt
9. Kysytään kasvilta?
10. Luonnonvarojen haaskaus rangaistavaksi

Syötävä puuvilla
hävittää pullovatsat



Syötävät puuvillansiemenet – proteiinia miljoonille kehitysmaissa

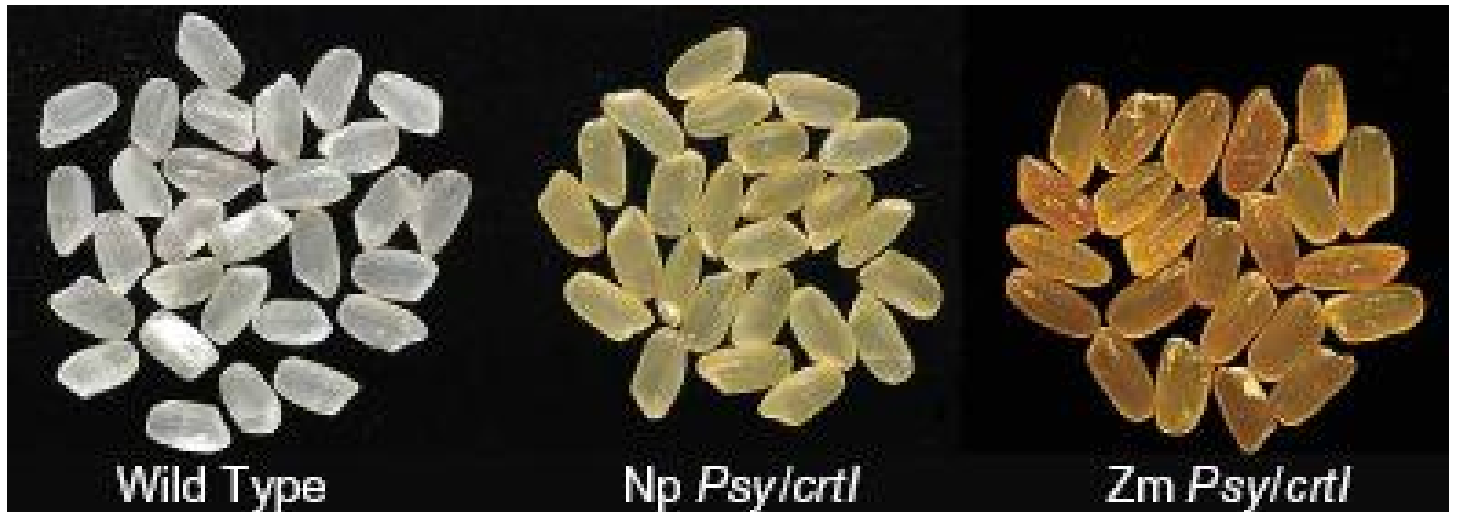
- Proteiinin puute vahingoittaa kehitysmaissa
 - haittaa muun muassa aivojen kehitystä
 - monesti 'nälkä' on siellä juuri proteiinin puutetta
- Puuvillakasvi on myrkyllinen
 - puuvillan siemenissä olisi runsaasti (22 %) hyvin korkealaatuista proteiinia...
 - ...joka gossypol-myrkyn takia kuitenkin menee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

F <http://agnewsarchive.tamu.edu/dailynews/stories/SOIL/Nov2006a.htm> , Sunilkumar ym. (2006). *PNAS* 103: 18044-18059

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
- Geenivastustajat kampittavat näidenkin humanitääristen lajikkeiden kehittämistä...

Miljardien ravintoon tarpeeksi A-vitamiinia?



Tavallinen
riisi

Aiempi ja uusin
kultainen riisi

- Greenpeace kertoo, että tätä 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 ja sokeutuu 500 000 lasta kehitysmaissa joka vuosi
- F www.goldenrice.org/Content3-Why/why1_vad.html
- F www.gmo-compass.org/eng/news/stories/289.docu.html
- Uusimmissa kultaisen riisin linjoissa on 20 kertaa enemmän beetakaroteenia kuin varhaisemmissa
- F Paine ym. (2005), *Nature Biotechnology* 23: 482-487
- F www.goldenrice.org/PDFs/fs_GR_IRRI_2005.pdf

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)**
- **Sydänystävällisten omega3-kasviöljyjen odotetaan tulevan markkinoille vuonna 2011 Amerikassa**

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 myrkyn vähentämiseksi
- Pilaantuu kahdessa päivässä korjuun jälkeen
- Virustauti vie 30–50 % sadosta

Annos biokassavaa turvaa päivän ravitsemuksen

- v **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

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

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 kirvavuosi ⇒ kesäkurpitsat kärsivät ja tuottivat ”liikaa” torjunta-ainetta
 - cucurbitasiinia on enemmän vanhoissa, vapaapölytteisissä lajikkeissa
 - joita luomussa vielä käytetään (ja jopa lisätään omasta siemenestä)

Rna-häirintä – lääketieteen nobelilla kasvit suojaan turvallisesti

- Lääketieteen nobel 2006 myönnettiin rna-häirinnän kehittämisestä
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 vihdoinkin 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”

F 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

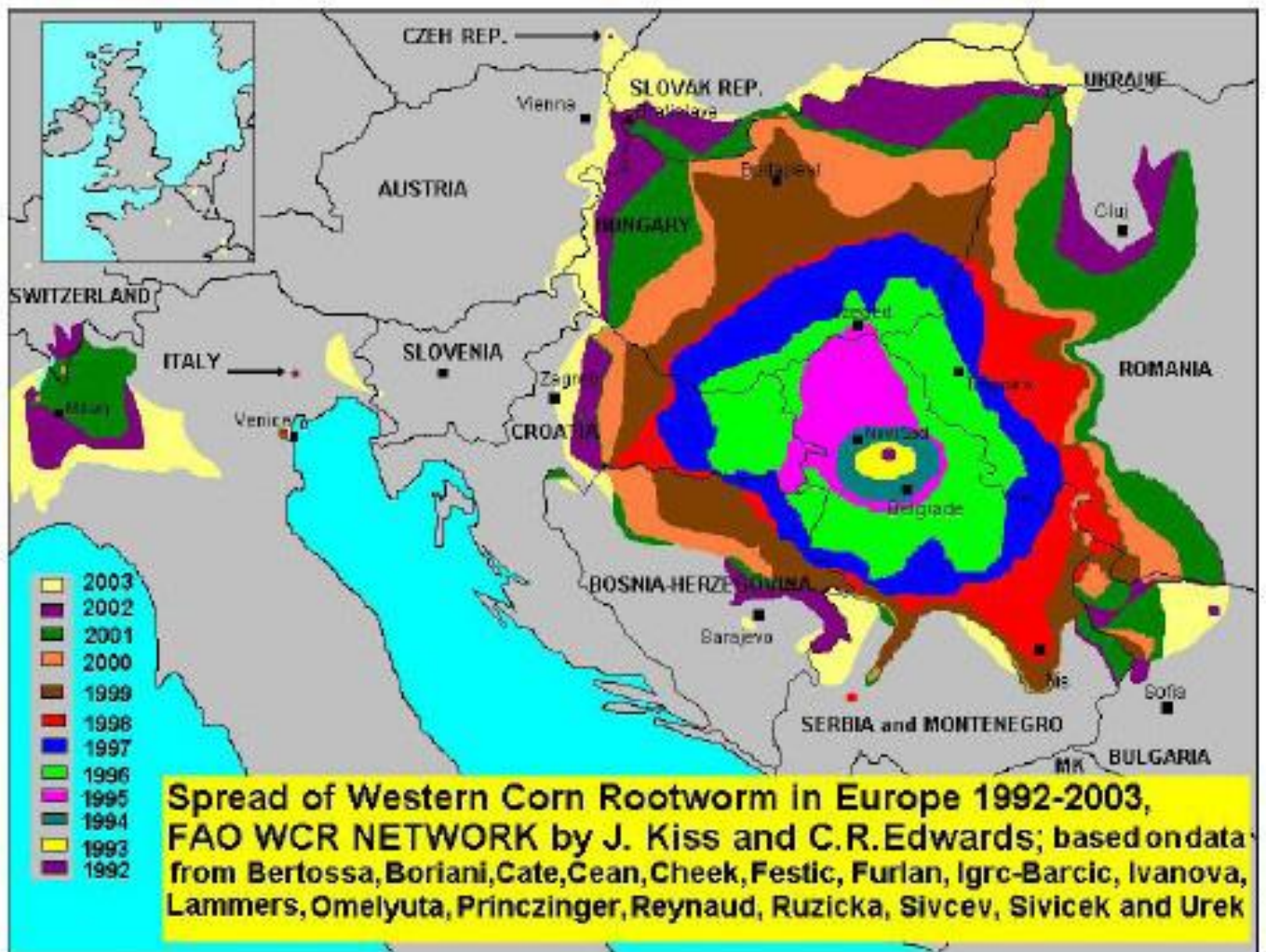


- Maan kastelu vahvoilla hyönteismyrkyillä tehoaa näihin toukkiin vain puoliksi
 - valikoimaton torjuntatapa vahingoittaa myös muita maaperän asukkeja

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 murto-osaan 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 tuhoojan leviämispainetta
- Bt-maissin ja Bt-puuvillan viljelyllä on voitu pitkäaikaisesti rajoittaa maissikoisan ja puuvillayökkösen populaatiokokoja USA:n viljelmillä
F Carpenter & Gianessi (2001), Carrière (2003)

Mennyt banaani
kuntoutuu?

Kuka pelastaisi 'hymyilevän banaanin'?



Black sigatoka - banaanin lakastumistauti



Cavendish-banaanien lähtölaskenta on alkanut?

- ✓ **Uudet tuhoisien sienitautien rodut uhkaavat hävittää nykyiset viljelybanaanit**
- ✓ **Samoin kävi ”hymyilevälle banaanille” jo puoli vuosisataa sitten**
 - iso ja makea Gros Michel –lajike katosi kokonaan kaupoistamme
- ✓ **Kestävyyส์geenejä on saatavissa villeistä banaanilajeista**
 - ...mutta ainoastaan geenimuuntelulla
- ✓ **Cavendish-lajikkeet voidaan jalostaa taudinkestäviksi**
- ✓ **...ja myös vanha suosikki, Gros Michel, voidaan ”herättää henkiin” muuntamalla se taudinkestäväksi täsmäjalostuksella**

www.geenit.fi/Alba9203.pdf

Kasvi ehtii pelastaa
pandemiassa

Tehokas rokote lintuinfluenssaan syntyy nopeasti kasveilla

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

Hoitoproteiineja geenitekniikalla – halvemmalla, nopeammin, turvallisemmin ja eettisemmin

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

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

Viljelykasvit kestäviksi

Suolamaanviljelyn aika – murtovesi ja suolavesi käyttöön maataloudessa?

- v **Makeaa vettä on 1 prosentti**
 - ...samoin murtovettä, mutta suolavettä on 98 prosenttia
- v **Puolet makean veden helpoista varannoista on jo käytössä**
- v **Kasvit olivat alun perin halofyyttejä eli sopeutuneita korkeaan suolapitoisuuteen**
- v **Nyt vain prosentti maakasvilajeista pystyy kasvamaan ja lisääntymään suolaisilla mailla**
 - eivätkä niistäkään kuin muutamat kestä meriveden suolapitoisuutta
- v **Moni suolansietäjä voisi periaatteessa soveltua viljeltäväksi suolamaanviljelyssä**
 - ...jossa maan suolapitoisuus olisi puolet vähäisempää kuin nykyinen meriveden suolapitoisuus
- v **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
- v **Tärkeistä viljelykasveista voidaan nopeammin jalostaa suolankestäviä lajikkeita geenimuuntelulla**
- v **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)
- v **Suolankestävien kasvien kasvatus voitaisiin helposti kytkeä vesiviljelyyn**
 - ...eli vesieläinten kuten kalojen ja äyriäisten kasvatukseen

F Rozema J, Flowers T (2008). Crops for a salinized World. *Science* 322: 478-480

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

F Science 16.1.2004, Terra Green 31.1.2004

Kuivankestävyyden jalostaminen

v **Kuivankestävät kasvilajikkeet**

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

v **Vehnään siirrettiin kuivankestävyyden geeni ohrasta Egyptissä**

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

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

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

v **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

v **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

v **Riisistä yritetään siirtyä vesipihimpään perunaan**

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

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 ohraista että rukiista

Tuplasti sokeria autoille

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

- v 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)
- v Perinnejalostuksella ei esim. sokeripitoisuus olekaan 40 vuoteen noussut kuin vähän
 - vaikka ominaisuudessa olisi periytyvyyttä
- F 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 alleeleita saapuu taas takaisin kasvin perimään

Sokeriruo'on sokeripitoisuus kaksinkertaistui yhdellä jalostusaskelalla

v 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

v Viljelykokeet käynnissä Australiassa

- samalta alalta voidaan tuottaa merkittävästi enemmän bioraaka-ainetta
- ...jolloin ei tarvitse vaarantaa koskematonta luontoa eikä ravinnon tuotantoa

F 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?

- v Sokeriruoko tuottaa yli 200 tonnia biomassaa hehtaarilta
- v Kasvi jalostetaan pilkkomaan selluloosansa sokereiksi omin neuvoin
 - ilman kalliita esikäsittelyjä ja ostoentsyymejä
 - jolloin ruo'on puristusjätteestä voidaan valmistaa selluloosaetanolia kohtuulliseen hintaan
- v 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 neljä päivää ennen sadonkorjuuta, jolloin entsyymi ei haittaa kasvin kasvua
- v Lajiketta kehittää Australian ja Brasilian yhteinen tutkimusliittoutuma

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

Brasilian sokeriruo'on ligniiniä jalostetaan helpommin pilkottavaksi

- v Solunseinien ligniini on hankalin este selluloosaa hajottaville entsyymeille
 - ...sillä ligniinin ja hemiselluloosan muodostama vaippa estää entsyymien pääsyn selluloosakuituihin
- v Sokeriruo'on puristusjätteestä 20-25 prosenttia on ligniiniä, 23-30 prosenttia hemiselluloosaa ja 45-50 prosenttia selluloosaa
- v Ligniini on vaikeasti hajotettava yhdiste
 - ...varsinkin sen toinen tyyppi (guaiasyyli)
 - toinen sokeriruo'on ligniinityyppi (syringyyli) taas hajoaa paljon helpommin
- v 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

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

Maatalous – ihmiskunnan suurin suonenisku luonnolle

v ...aseena tämä työkalu:



v Taotaan aurat aseiksi

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

v Sota on eräiden ”syväekologien” toive

- mutta se olisi tuhoisaa myös luonnolle
- ...vaikka rauhan aikana armeija räjäytteleekin harvinaisille perhosille elintilaa harjuillamme

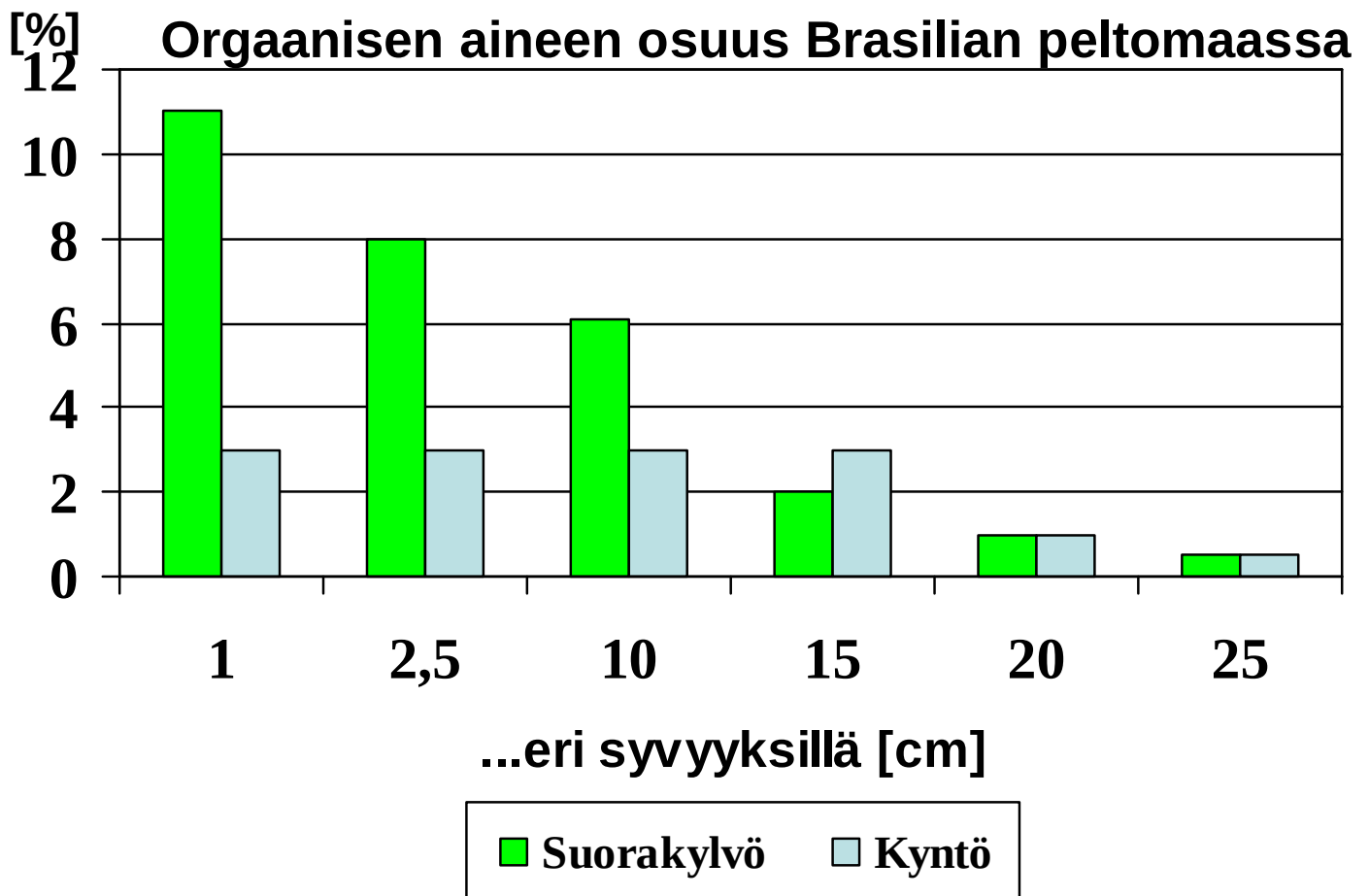
v Aatteellisia ”yli-ihmisiä” pommeineen saamme nähdä jatkossakin joukossamme

v Biologit sitä vastoin pyrkivät edes kyntämättömään viljelyyn

Ekotehokkuusjalostus: Kyntämättömän viljelyn kasvilajikkeet

- v 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
- F Montgomery (2007), *PNAS* 104: 13268-13272
www.pnas.org/content/104/33/13268.abstract
- F www.geenit.fi/GmSoijaArg.pdf

Kyntämätön viljely (suorakylvö) lisää orgaanista ainesta Brasilian maaperässä



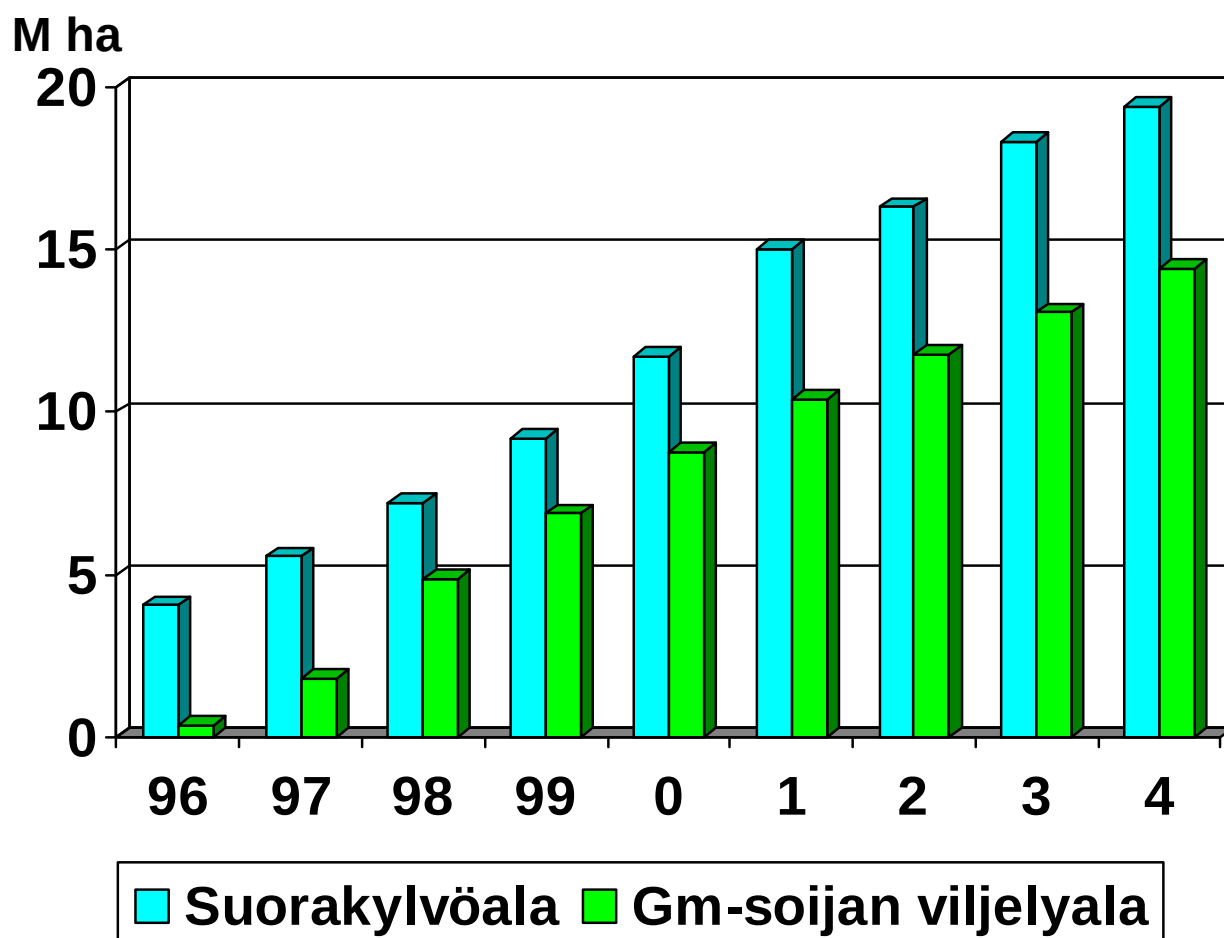
- v Suorakylvössä maata ei sekoiteta, joten orgaanisen aineen määrä vaihtelee pellon eri syvyyksissä
 - suurin se on pintakerroksessa, jossa on paljon kasvijätettä
- v Suorakylvö vähentää eroosiota 96 % ja polttonesteiden kulutusta viljelyssä 60 % (Gassen 2004)

F Käytännön Maamies 2/2008

F 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



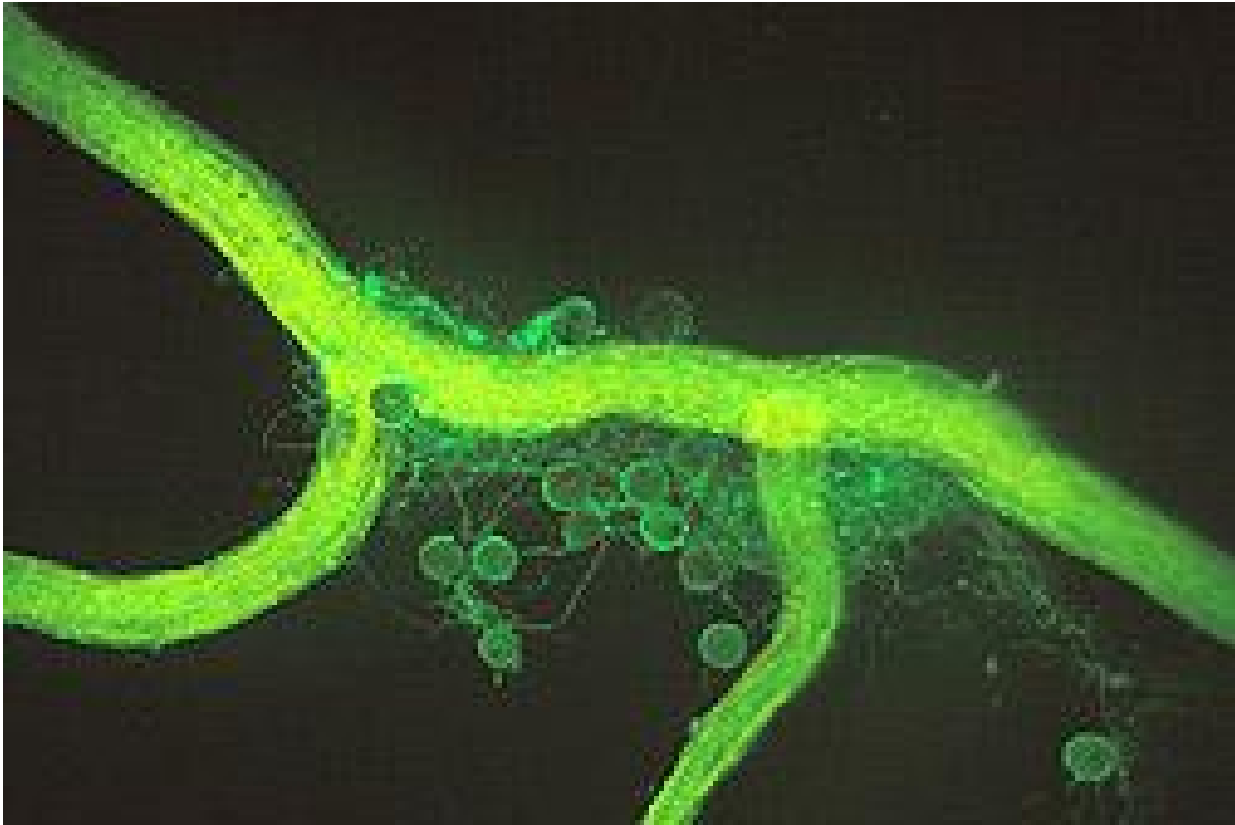
F EJ Trigo & EJ Cap (2006). Ten years of GM crops
in Argentine agriculture

Maan "superliima" glomaliini säilöö hiilen ja murustaa



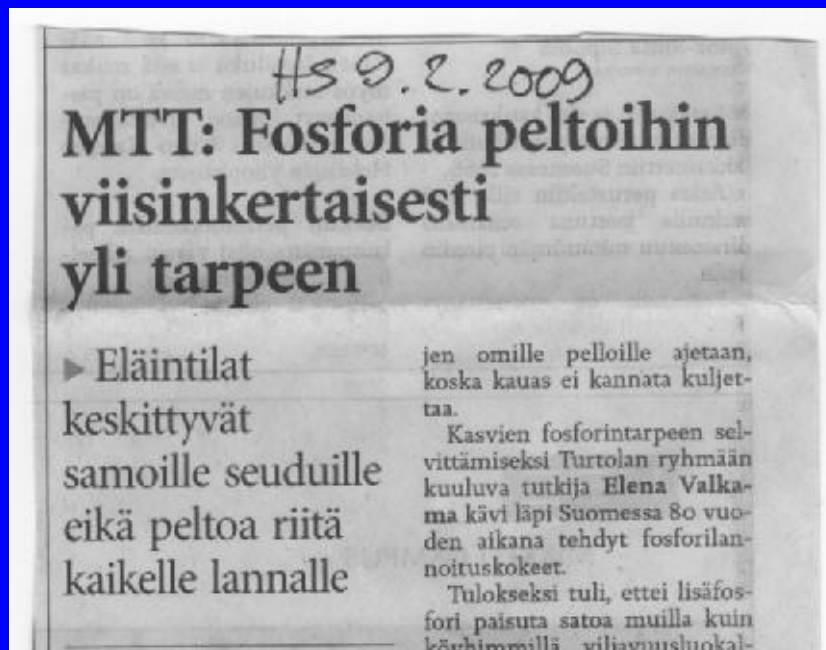
F Wright & Nichols, *Agr. Res.* (Sep. 2002)

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

Ympäristösika pelastaa vesistöt



Ympäristösika saastuttaa vähemmän

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

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

www.geenit.fi/Ympsika.htm



Ympäristösika on terve "vegaani"

www.uoguelph.ca/enviropig

Ekotehokkuusjalostus

v **Paremmat rehut**

- säästävät luonnonvaroja ja vähentävät saasteita

u Proteiinimaississa on tarpeeksi meille ja sioille välttämättömiä aminohappoja (lysiini, threoniini)

- rehun tarve vähenee, kasvu paranee kaksinverroin

u Kasveissa fosfori on vaikealiukoisessa muodossa (fytaattina)

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

F <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

F www.geenit.fi/Ympsika.htm

Ekotehokkuusjalostus

v **Lannoitepihit kasvilajikkeet**

- tuottavat normaalisadon vähemmällä lannoituksella

u Typpipihit lajikkeet

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

u 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

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

Viljelykasvien typpitaloutta tehostetaan kasvinjalostuksella

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

www.isb.vt.edu/news/2007/artspdf/may0703.pdf rapsi

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

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

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

www.vyaparbharati.net/gen_nws8.html vehnä

www.csiro.au/news/NueBarley.html ohra

”Maissin” typpitalous paremmaksi kasvisukujen välisillä risteytyksillä?



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

Kysytään kasvilta?

Swiss 'dignity' law is threat to plant biology

When it comes to the ethics of experimenting on living subjects, plant biologists have had cause for a certain smugness. But perhaps no longer in Switzerland.

The Swiss federal government's ethics committee on non-human biotechnology has mapped out guidelines to help granting agencies decide which research applications deeply offend the dignity of plants — and hence become unfundable.

Although most people might be bewildered that a discussion on how to define 'plant dignity' should be taking place at all, the stakes for Swiss plant scientists are high. The Gene Technology Law, which came into effect in 2004, stipulates that 'the dignity of creatures' should be considered



Living creatures trapped in undignified conditions? A tricky ethical question for Swiss plant biologists.

The government called on the advice of ... technologies, for example in roses, which

Nature 24.4.2008

Siemenettömien kasvilajikkeiden jalostus kiellettävä?

- Sveitsin bioetiikkasäädös tyrmää esimerkiksi siemenettömien kasvilajikkeiden jalostamisen
- ...joten pian ostamme kaupasta tällaisia banaaneja:



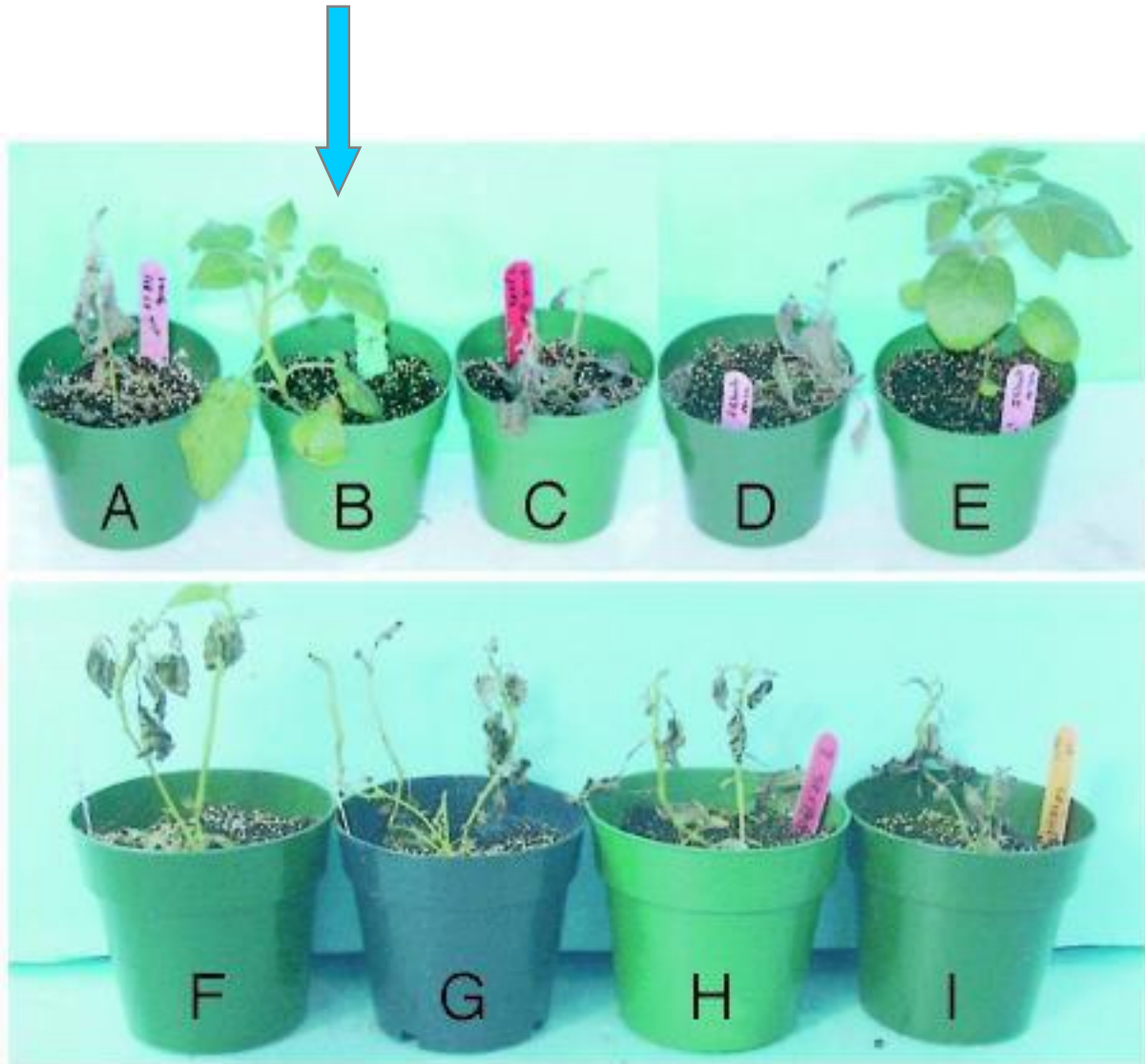
www.dasmirnov.net/media/users/paul/PBF_02_3_image_04_full.jpg.

...mutta jos tosiaan
kysyttäisiin?



Luonnonvarojen haaskaus rangaistavaksi

Perunalajikkeiden parantaminen kestäväksi perunarutolle



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

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 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
 - myrkkyvaara: peukalokyytiläiset voisivat tuoda myrkkyjä viljelyperunaan

Suosittu vanha 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 (kloonit-) 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

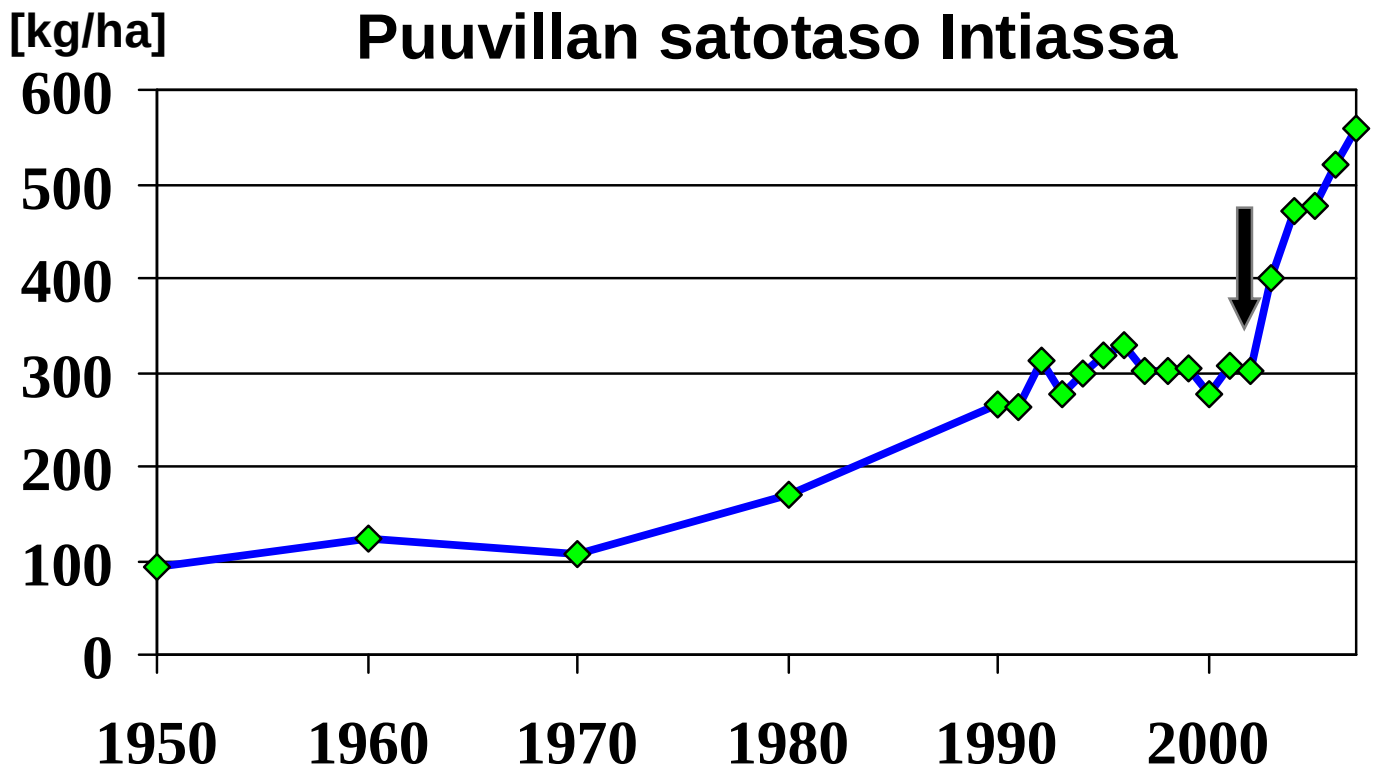
Rutonkestävyys parantaa laatua ja hyödyttää ympäristöä

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

F Phipps & Park (2002). *J Animal Feed Sci.*11: 1–18

F Gianessi ym. (2003). Potential impact for improving pest management in European agriculture. Potato case study. NCFAP

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

F www.cotcorp.gov.in/statistics.asp

Kymmenen teesiä biotaloudesta

1. Syötävä puuvilla hävittää pullovatsat
2. Vitsauksille täsmätorjuntaa turvallisesti
3. Mennyt banaani kuntoutuu?
4. Kasvi ehtii pelastaa pandemiassa
5. Viljelykasvit kestäviksi
6. Tuplasti sokeria autoille
7. Taotaan aurat aseiksi?
8. Ympäristösika pelastaa vesistöt
9. Kysytään kasvilta?
10. Luonnonvarojen haaskaus rangaistavaksi

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 emoji (eläviä muuntogeenisiä organismeja)



- ✓ 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