

*Biotaloutta voidaan
tehostaa kasvinjalostuksella*

TuV 17.12.2008

Jussi Tammissola

jussi.tammissola@helsinki.fi

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)



- ❖ 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

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 biopoltonesteiden 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

- ❖ Viljellyt 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 jalostusaskelilla

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

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 lannoitetyypistä (loppu joutuu ilmaan, pohjaveteen ja vesistöihin)
- ❖ Geenimuuntelulla jalostetaan eri maissa typenkäytöltään tehokkaampaa vehnää, riisiä, ohraa, maissia ja rapsia
- ❖ Rapsi ja maissi tehokkaita kenttäkokeissa
 - rapsi tuottaa saman sadon kuin perinteinen, mutta tarvitsee typpilannoitetta vain kolmasosan
 - Uusi maissi vaatii puolet vähemmän typpilannoitetta

www.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?



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

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

Halla saa pitkän nenän – viljat jalostetaan kylmänkestäväiksi

- 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. Tammissola©

- **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

Kesyttääkö uusia villikasveja viljelyyn...?



J. Tammisola©

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

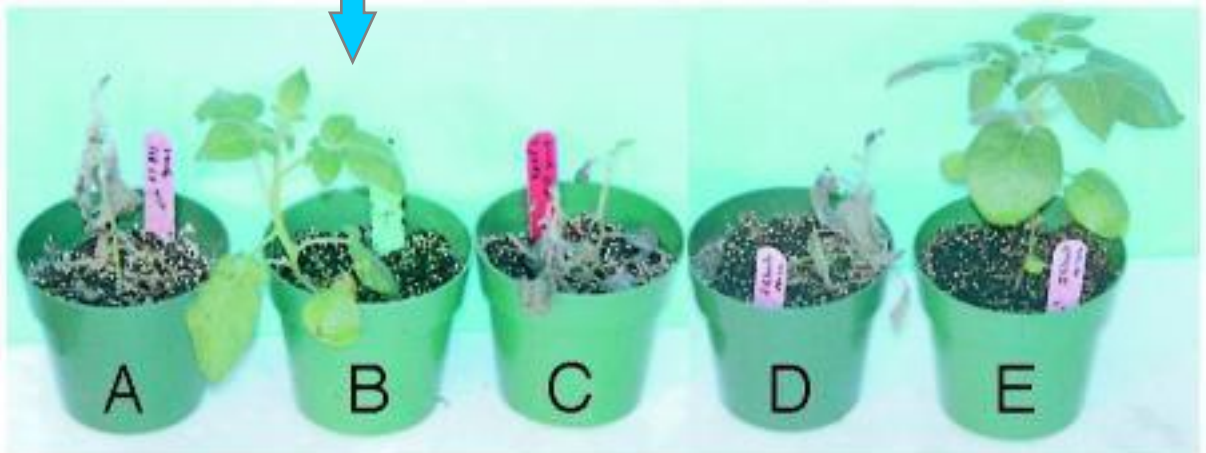
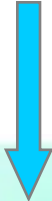
...vai kehittää kehnoja kompromisseja klassillisilla risteytyksillä?

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

Aromi tärvääntyi, kun yhdisteltiin tuntemattomia geenejä sattuman kauppaa

- Näitä kahta mesimarjan ”sisarus”-alalajia risteytettiin perinteisesti keskenään ja takaisin aitoon mesimarjaan päin vuosikausien ajan
 - ensin Ruotsissa ja sitten myös Suomessa
 - tuloksena eteläisempi, rotevampi ja vähemmän taudinarka ”jalomaarain” (”allåkerbär”)
- Mutta! Ainutlaatuinen mesimarjan aromi menetettiin
- Jalomaaraimet maistuvat kyllä hyviltä, mutta aitoa mesimarjalikööriä niistä ei voi valmistaa
- Opetus: ”pelastus”ominaisuudet täytyy, varovaisuuden vuoksi, tuoda kasviin puhdistettuina (geenitekniikan avulla).
- ☞ Pirinen ym (1998) *Agric. Food Sci. Finl.* 7:455-468

Perunalajikkeiden parantaminen kestäväksi perunarutolle



👉 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 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 aikamenekki
 - myrkkyyvaara: peukalokyytiläiset voisivat tuoda myrkkijä viljelyperunaan

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

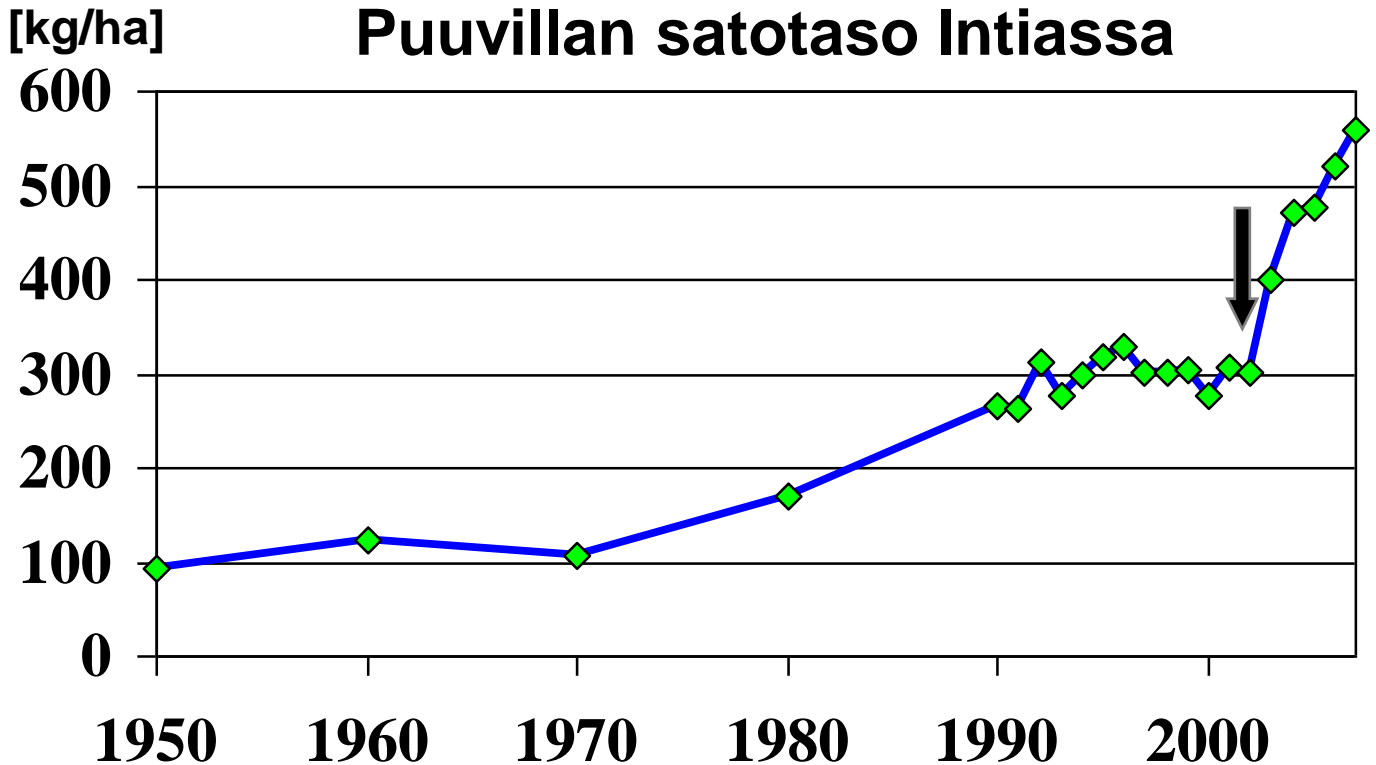
Rutonkestävyys parantaa laatua ja hyödyttää ympäristöä

- 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 crop studies, NOEAR

Yökkösenkestävät Bt-lajikkeet pelastivat Intian puuvilla-teollisuuden



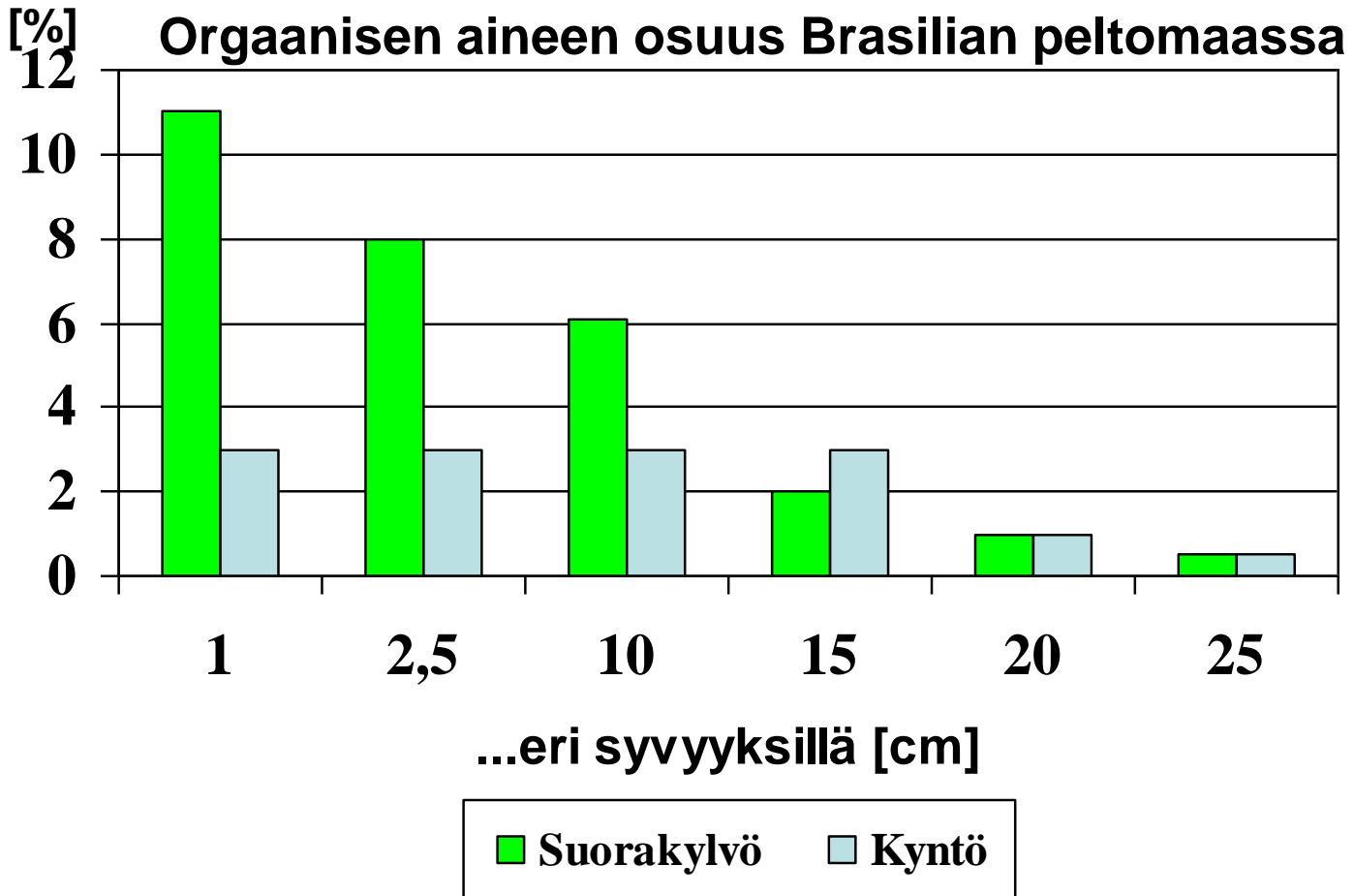
- Bt-puuvillat tulivat Intiassa viljelyyn v.2002
 - hyväksyntäpäätös vuonna 2001
 - nyt niitä kasvatetaan noin 80 prosentilla Intian puuvilla-alasta
 - satotaso on noussut 80 % kuudessa vuodessa
- Gm-puuvilla vähentää itsemurhia Intiassa
 - osoittavat tutkimukset www.geenit.fi/Vahltsem.htm
- Kuivankestäviksi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



Ekotehokkuusjalostus: Kyntämättömän viljelyn kasvilajikkeet

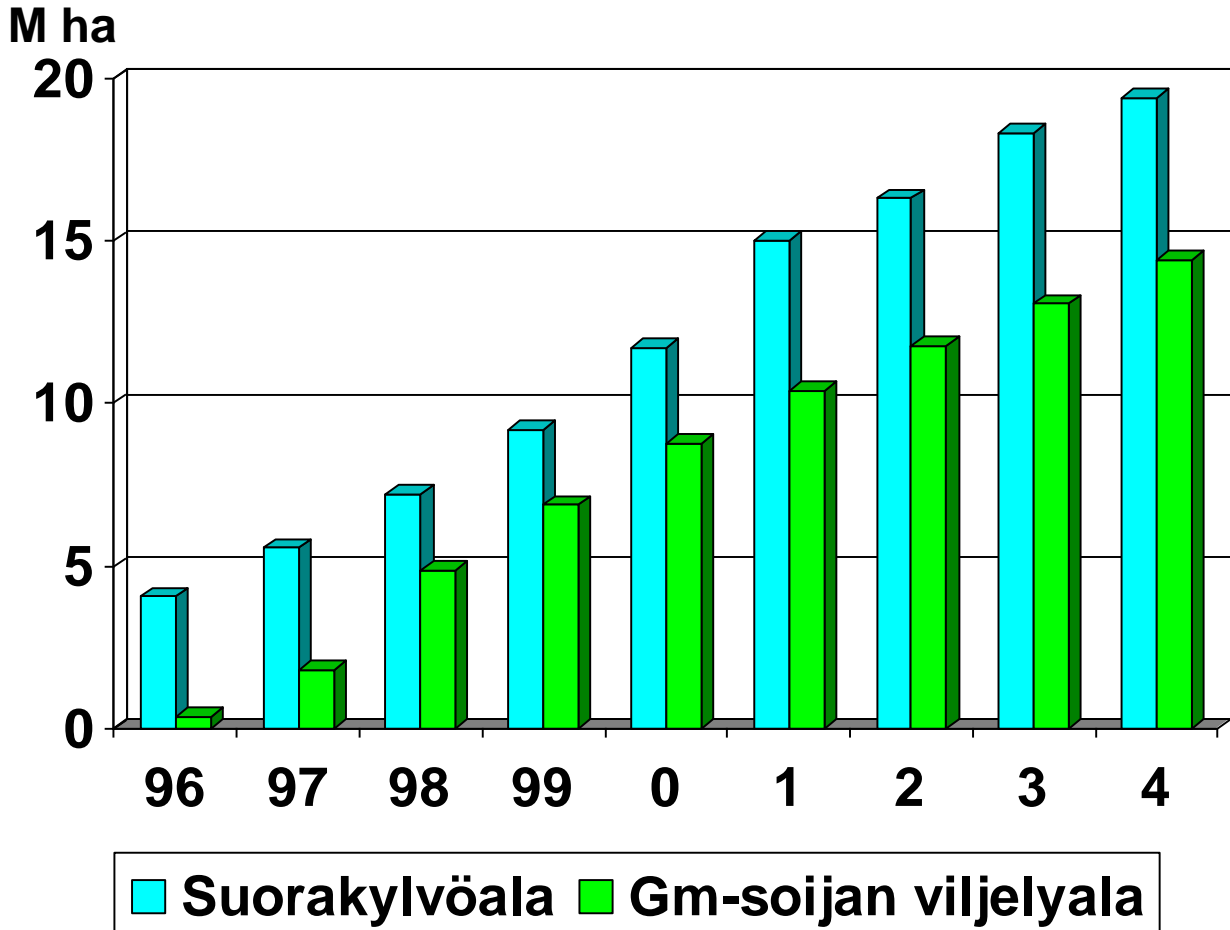
- ❖ **Kyntämätön viljely (suorakylvö)**
vähentää eroosiota keskimäärin
488-kertaisesti
 - ...ja parantaa maan hiilensitomiskykyä
 - ...mutta sen edistämiseksi tarvittaisiin taudin- ja tuholaiskestäviä kasvilajikkeita
 - sillä kyntö pitää osaltaan kurissa monia kasvintuhoojia
- 👉 Montgomery (2007), *PNAS* 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



Syötävät puuvillansiemenet – proteiinia miljoonille kehitysmaissa

- Proteiinin puute vahingoittaa kehitysmaissa
 - haittaa muun muassa aivojen kehitystä
 - monesti 'nälkä' on siellä juuri proteiinin puutetta
- Puuvillakasvi on myrkyllinen
 - puuvillan siemenissä olisi runsaasti (22 %) hyvin korkealaatuista proteiinia...
 - ...joka gossypol-myrkyä takia kuitenkin menee hukkaan
 - siementen proteiini (10 miljardia kg/v) riittäisi kohentamaan 500 miljoonan ihmisen terveyttä
- Puuvillan siemenet on nyt geenimuuntelun avulla jalostettu syötäväiksi
 - myrkyä muodostuminen estettiin ainoastaan syötäväksi aiotussa kasvinosassa
 - ...sammuttamalla gossypol-geenin toiminta kohdistetusti vain siemenissä
- ...mutta muut kasvinosat säilyttivät tärkeän puolustuskykynsä
 - mikä ei olisi mahdollista "perinteisillä" jalostusmenetelmillä
 - vanhalla jalostuksella myrky 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

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

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)

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#>

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**

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 kasvilinjat lahjoitettiin Maailman riisintutkimuskeskukselle (IRRI, Filippiineillä)
 - lajikkeiden jalostamiseksi kehitysmaille
- Geenivastustajat kampittavat näidenkin humanitääristen lajikkeiden kehittämistä...

Miljardien ravintoon tarpeeksi A-vitamiinia?



Wild Type



Np *Psylcrt1*



Zm *Psylcrt1*

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
- ☞ www.goldenrice.org/Content3-Why/why1_vad.html
- ☞ www.gmo-compass.org/eng/news/stories/289.docu.html
- 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](http://www.goldenrice.org/PDFs/fs_GR_IRRI_2005.pdf)

Inuliineja juurikkailla

- ◆ Inuliinit ovat joukko terveysvaikuttaisia fruktaani-polysakkarideja
- ◆ Niitä muodostuu muutamissa kasvilajeissa, kuten sikurissa (*Cichorium intybus*)



Sikuri Bulgarian Aurinkorannikolla. J.Tammisola©

Inuliinit hyödyttävät terveyttä ja ympäristöä

- ◆ Lyhytketjuiset inuliinit ovat makeita ja käyvät kalorittomiksi makeutusaineiksi
- ◆ Pitkäketjuiset taas toimivat ruuansulatusta parantavina ravintokuituina
 - ✓ terveysetuja on saatu sekä ihmisillä että eläimillä
- ◆ Inuliineja saavat siat
 - tuottavat vähemmän metaania (joka on 20 kertaa vahvempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi)
 - haisevat vähemmän, ja
 - tuottavat paremman makuista lihaa
- ◆ Lääkekäyttöön inuliineja valmistetaan nykyisin fermentoreissa bakteereilla, tai eristetään sikurikasvista
 - mutta tämä on aivan liian tehotonta (siis kallista), jotta tuotetta voitaisiin käyttää yleisesti, varsinkaan eläinravitsemuksessa

Inuliinien jalostaminen viljelykasveihin

- ◆ Sokeri on halpa massatuote, jonka tuotantoa siirtyy Suomesta muualle
 - esim. puolet Suomen sokeritehtaista oli ajettava alas EU:n vaatimuksesta
- ◆ Ylimääräinen tuotantokapasiteetti kannattaisi ohjata arvokkaampien erikoistuotteiden valmistamiseen
- ◆ Suurimittaista tuotantoa ajatellen sikuri on epätaloudellinen kasvilaji...
- ◆ ...kun taas tuottoisa sokerijuurikas voidaan jalostaa tuottamaan inuliineja
- ◆ Kaksi inuliinien synnyssä tarvittavaa geeniä jalostettiin sokerijuurikkaaseen maa-artistokasta
 - ja valtaosa tavallisesta sokerista korvaantui fruktaaneilla juurikkaissa

☞ Sévenier ym. (1998). *Nat.Biotech.* 16: 843–846; (2002). *J.Am.Coll.Nutr.* 21: 199S–204S

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?) 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

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

Geenimuunneltuja hienohelmoja?



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

☞ Crawley ym. (2001). *Nature* 409: 682-683.