



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Ruoka ja geenit

6b. Geenimuuntelun uusia sovelluksia II

Jussi Tammissola
kasvinjalostuksen dosentti
jussi.tammissola@helsinki.fi
<http://geenit.fi>
13.9.2012

Koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenia

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.seedquest.com/News/releases/2008/april/22304.htm 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)

<http://www.news-medical.net/news/20091120/Arcadia-Biosciences-and-Vilmorin-collaborate-to-develop-and-market-NUE-wheat.aspx>
vehnä

<http://www.csiro.au/news/NueBarley.html> ohra

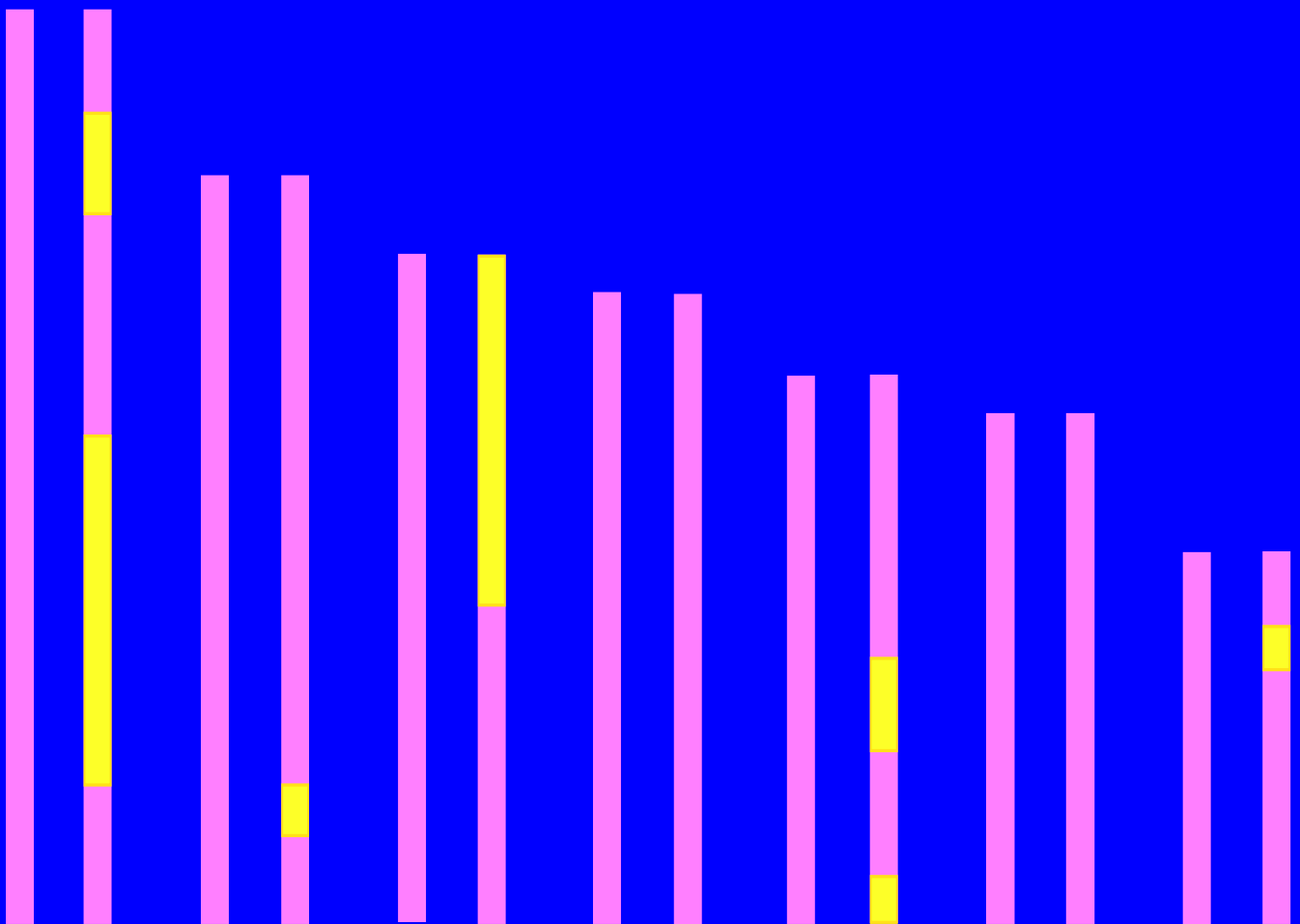
”Maissin” typpitalous paremmaksi kasvisukujen välisillä risteytyksillä?



- ❖ ”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 ”luiruja”
- ❖ 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 (<http://geenit.fi/HSTKas110804.pdf>)
 - johon menneen ajan kaiho meitä kutsuu?

Geenin nouto risteyttämällä villilajista ja puhdistaminen takaisinristeytyksillä

Risteytysjälkeläisen kromosomit ovat mosaiikki risteytysvanhempien kromosomien osista



 Viljelykasvi

 Villilaji

Geeni siirtyy puhtaana uudessa jalostuksessa

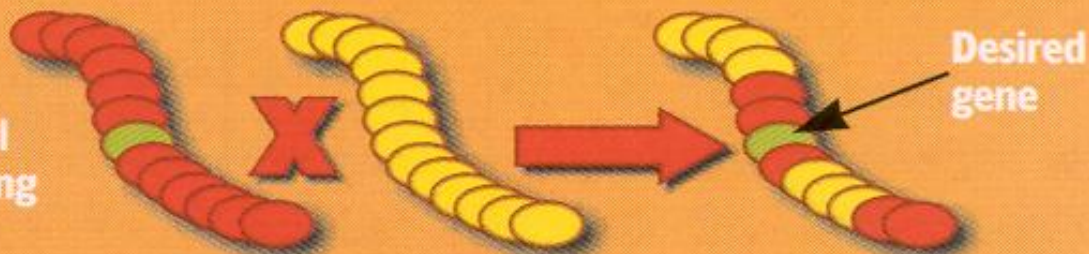
DIFFERENCE BETWEEN **CONVENTIONAL BREEDING** AND **GENETIC ENGINEERING**

Source variety/species

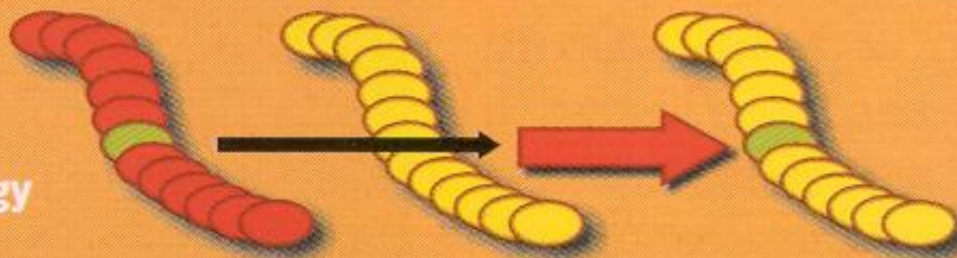
Commercial variety

Result

Conventional
plant breeding



Modern
biotechnology



Kasvinalostuksen suuri linja

- ◆ 11 000 vuotta keräilytaloutta
 - etsittiin valmiita luonnon oikkuja
- ◆ 300 vuotta sekoituksen aikaa
 - sotkettiin eri kasvien tuhansia tuntemattomia perintötekijöitä
 - ...ja lotottiin parempaa jälkeläistä
- ◆ 70 vuotta perimän särkemistä
 - onnellista muutosta uumoillen rikottiin perimää summassa
- ◆ 25 vuotta hyötygeenin lisäämistä kasviin
 - tunnettu geeni viedään kasviin puhtaana, ilman haitallisia kylkiäisgeenejä

Mutaatiojalostus (70 vuotta)

- ◆ ...on kasvin perimän summittaista särkemistä onnekkaiden muutosten toivossa
 - ei mitään "sokean kellosepän" tarkkuustyötä, vaan
 - ..."aleatorisen apinan" sattumanvaraista mäiskintää
 - ...tietokoneen "korjailua" vasaralla hakkaamalla
- ◆ Säteilyä tai kemikaaleja annetaan siemenille niin paljon, että
 - puolet niistä kuolee
 - ...jolloin saadaan riittävästi mutaatioita
- ◆ Perinteiset mutaatiot ovat ennakoimattomia
 - ...joten yhtä toivottua muutosta kohden syntyy satojatuhansia ei-toivottuja muutoksia kasvin perimässä
- ◆ Kelvottomien muutosten massa täytyy karsia pois
- ◆ ...ja suotuisat harvinaisuudet on poimittava talteen
- ◆ Jalostus on laatujärjestelmä: ”syrjinnässä perinnejalostuksen taide koetellaan”
- ◆ Erukahapoton mutanttirypsi jalostettiin 1960-luvulla Suomessakin
 - turvautumalla kobolttikanuunaan, ja
 - analysoimalla rasvahapot erikseen 200 000 rypsiensiemen puolikkaasta

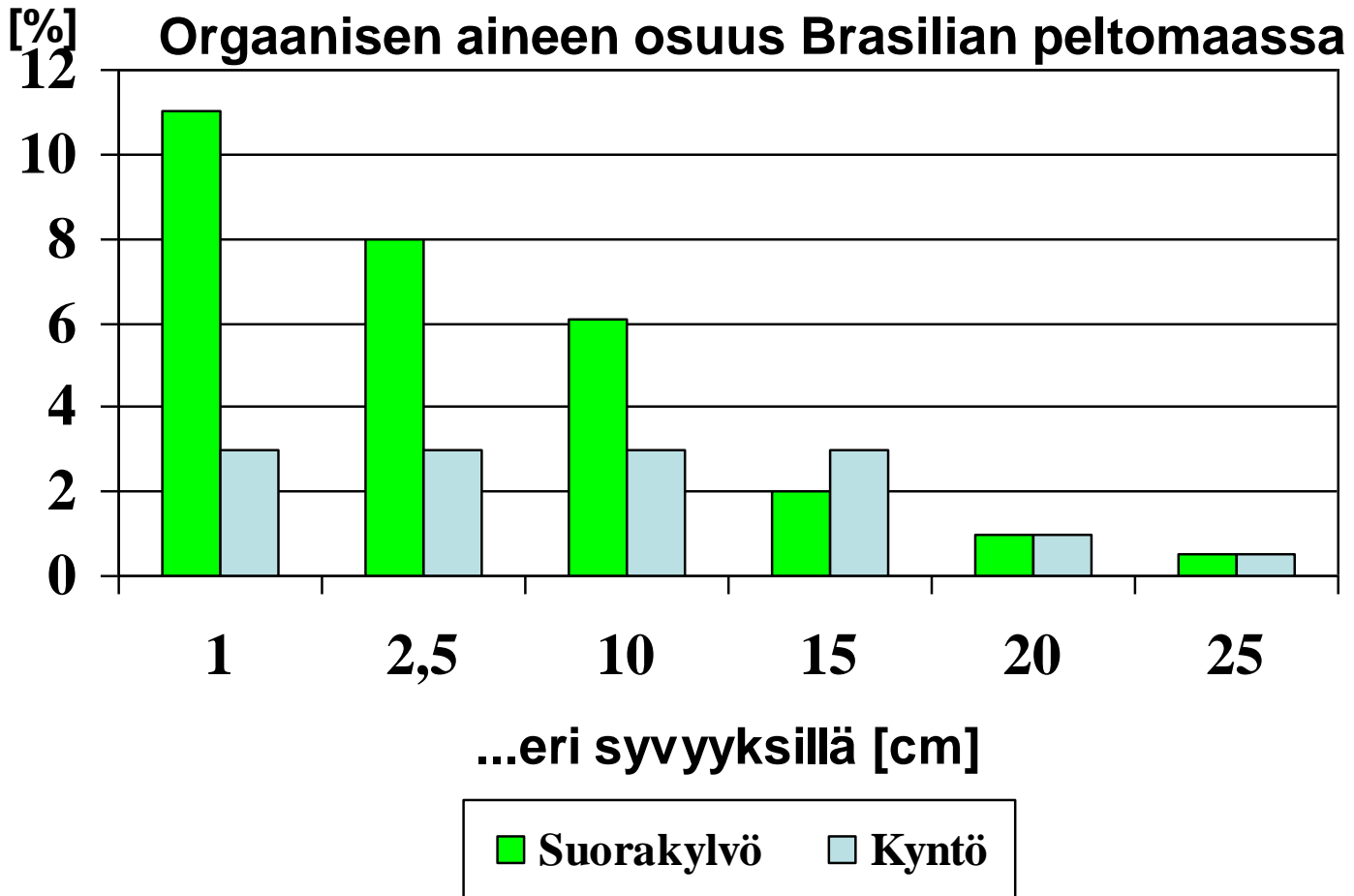
Kasvien jalostaminen geenimuuntelulla (29 vuotta)

- ◆ Geenitekniikka on perintöainekseen kohdistuvaa molekyylibiologiaa
 - joukko menetelmiä, joiden avulla eristetään, analysoidaan, muokataan ja siirretään geenejä molekyyllitasolla
- ◆ Geenimuuntelussa viedään tunnettu hyötygeeni kasviin puhtaana
 - ilman kylkiäisgeenejä
- ◆ Kiinnittymispaikka kasvin kromosomissa vaikuttaa usein jossain mitassa geenin toimintaan
 - monissa vanhemmissa gm-menetelmissä kiinnittymispaikkaa ei voitu vielä määrätä ennakoita
 - ...vaan se selvitettiin tuolloin aina jälkikäteen
- ◆ Hyvän tuloksen varmistamiseksi jalostettiin siksi tavallisesti joitakin kymmeniä muuntogeenisiä koelinjoja
 - ...joista onnistuneimmat valittiin sitten jatkoon
- ◆ Uudessa täsmämuuntelussa (kohdennettu mutageneesi) kiinnittymispaikka päätetään etukäteen, yhden dna-emäksen tarkkuudella
- ◆ Huom! Perinteisessä jalostuksessa ei geenin sijaintia tai lukumäärää vaadita selvitettäväksi
 - ...vaikka ne voivat muuttua klassillisten mutaatioiden seurauksena (deletio, insertio, duplikaatio, inversio, translokaatio)
- ◆ Perimän muokkaaminen uuden geenitiedon ja -taidon avulla on puhtaampaa ja hallitumpaa kuin "likainen" vanha jalostus:
<http://www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf>
http://www.geenit.fi/Natura4_2010.pdf

Ekotehokkuusjalostus: Kyntämättömän viljelyn kasvilajikkeet

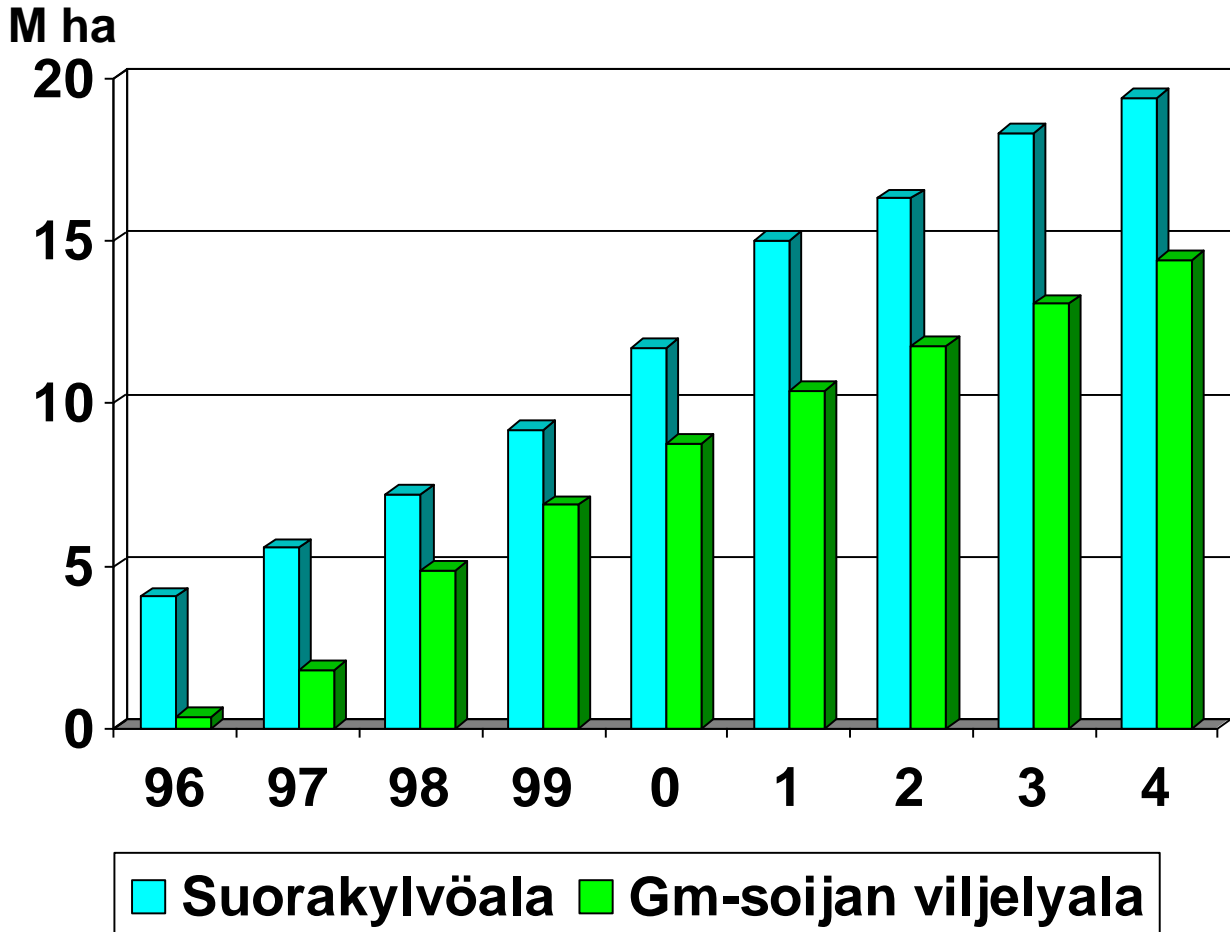
- ❖ **Kyntämätön viljely (suorakylvö)**
vähentää eroosiota keskimäärin
488-kertaisesti
 - ...ja parantaa maan hiilensitomiskykyä
 - ...mutta sen edistämiseksi tarvittaisiin taudin- ja tuholaiskestäviä kasvilajikkeita
 - sillä kyntö pitää osaltaan kurissa monia kasvintuhoojia
- 👉 Montgomery (2007), *PNAS*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

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 kestävä 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 biopoltonesteiden tuotanto aiotaan saada taloudellisesti ja ekologisesti kestäväksi, täytyy energiakasvien satoisuutta ja ekotehokkuutta parantaa (EPSO 2007)
 - paljon ja nopeasti
 - modernilla kasvinjalostuksella, varsinkin geenimuuntelulla

Trooppinen sokeriruoko on ekotehokkuudeltaan ylivoimainen etanolikasvi



Sokeriruokoa Luxorissa 15.10.2010. © J. Tammisola

Egyptissä sokeriruokot ovat yli parimetrisiä, Brasiliassa tuplasti kookkaampia.



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

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
- ☞ Tammisola (2010) *GM Crops* 1(4), 19 p.
- ☞ 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
 - ...jonka voi myös käyttää alkoholiksi

Wu & Birch (2006) *Plant Biotechnol. J.* 5: 109-117

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

- ❖ Viljelykokeet käynnissä Australiassa
 - samalta alalta voidaan tuottaa merkittävästi enemmän bioraaka-ainetta
 - ...jolloin ei tarvitse vaarantaa koskemattomaa luontoa eikä ravinnon tuotantoa

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?

- ◆ Uudella täsmämuuntelulla (rna-häirintä tai kohdennettu mutageneesi) aromivehnä voidaan jalostaa jopa yhdellä askelella
 - useita tai kaikki tuoksuttomuusgeenit voidaan saada sammutetuksi samalla muunnoskerralla
- ◆ 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

☞ <http://geenit.fi/PohSa130306.pdf>

Inuliineja juurikkailla

- ◆ Inuliinit ovat joukko terveysvaikuttavia 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
- ◆ Amylopektiini on paljon laadukkaampaa monissa teknisissä sovelluksissa (esim. liimat, paperi)
- ◆ ”Ruotsalainen” amylopektiiniperuna jalostettiin vaientamalla yksi perunan oma geeni geenimuuntelulla
- ◆ Lupahakemus tämän laatuperunan käytön ja kasvatuksen sallimiseksi on kiitänyt EU-jonossa vuodesta 1996 lähtien
 - ja lupapäätös saatiin vihdoinkin vuonna 2010
 - ...joten maatalousministeri S.-L. Anttila (kesk.) aikoo kieltää sen viljelyn Suomessa

Tehokkaampien tärkkelysperunoiden jalostaminen...

- ◆ Suuri sato laatutärkkelystä toisi ympäristöetuja
 - luonnonvaroja ei haaskata
 - energiaa ja kemikaaleja säästyy, koska parempi tärkkelys tarvitsee vähemmän kemiallista modifiointia
- ◆ Boreal Kasvinjalostus on jalostanut geenimuuntelulla kotimaista tärkkelysperunaa, jonka tärkkelyspitoisuus on jopa 40 % korkeampi kuin tavallisen
- ◆ Peruna on ollut kenttäkokeissa Suomessa
 - koetta onnistuttiin tarvelemään vain v. 2005
 - ...mutta sabotaasin ehkäisy tuli kalliiksi pienelle, kotimaiselle jalostuslaitokselle
- ◆ Biotalouden kannalta ihannetulos saavutettaisiin yhdistämällä tärkkelyksen korkea pitoisuus ja huippulaatu
 - esim. risteytyksillä näiden kahden gm-tärkkelysperunan kesken
 - ...tai puhtaammin geenimuuntelulla

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 melkoisesti

Parempia puita biotaloudelle

- ◆ Puut (hedelmäpuita lukuun ottamatta) jätettiin vuosituhansiksi jalostamatta
- ◆ Metsänjalostus alkoi vasta viime vuosisadalla
- ◆ Lisäksi puiden pitkä sukupolviväli (usein vuosikymmeniä) jarruttaa etenemistä perinteisellä jalostuksella
- ◆ Niinpä on vielä käyttämättä suuria mahdollisuuksia parantaa metsäpuiden
 - puun ja kuitujen laatua
 - kestävyyttä tauteja ja kuivuutta ym. vastaan.
 - tehokkuutta biomassan tuottamisessa biotalouden monenmoisiin käyttötarkoituksiin
 - ...mutta tehokkuus on perusedellytys, jotta nämä puun uudet käyttötavat olisivat aidosti kestäviä (eivätkä tyhjäkäyntiä tai haaskausta)
- ◆ Suomessa puiden biomassa on tärkein ja nettotehokkain raaka-aine bioenergian tuottamiseksi

Maatalouden kehitys

Viljelyn alku

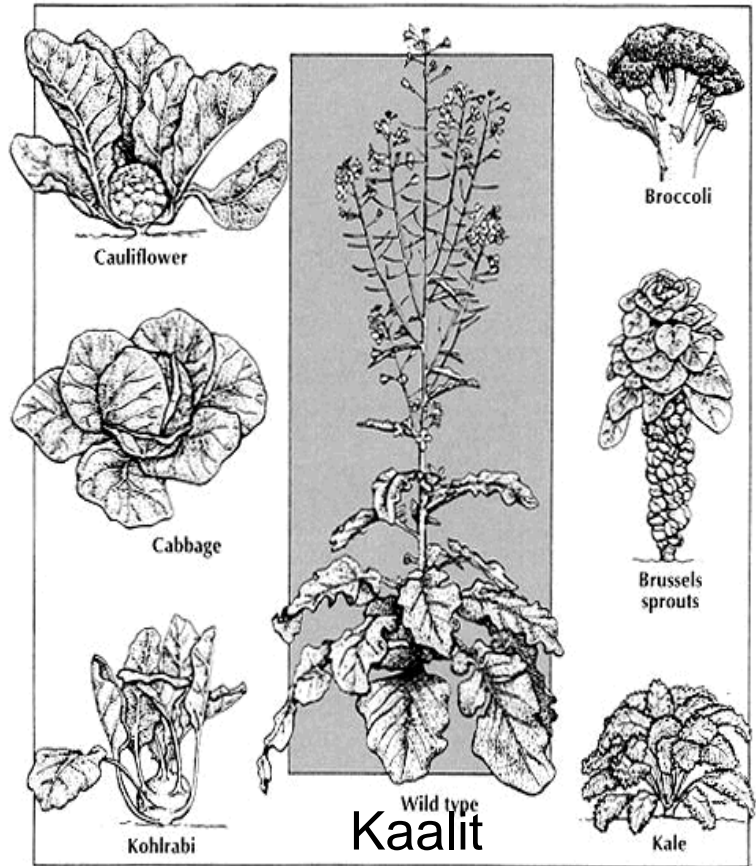
10 000
vuotta sitten

1995

Tänään

Jalostuksen
vallankumous

Biotekniikan
vallankumous



Teosintti Intiaani-
maissi Maissi

maissi

Metsäntuotanto laahaa jäljessä!

Viljelyn alku

10 000
vuotta sitten

1995

Tänään

~~Jalostuksen
vallankumous~~

~~Biotekniikan
vallankumous~~

Geneettinen ymmärrys antaa uusia näköaloja

- ◆ Biotekniikan avulla voidaan saavuttaa nopeaa edistystä, jotta pystytään tuottamaan paljon enemmän ja parempaa puuta
 - räätälöitynä loppukäytön tarpeisiin, ja
 - kasvatettuna nopeakasvuisilla puilla paljon nykyistä lyhyemmässä kiertoajassa (gm-eukalyptus: 3 v.)
- ◆ ...jotta voidaan vastata suureen haasteeseen ”fossiili”sivilisaatioiden muuntamiseksi perustumaan uudistuviin voimavaroihin
- ◆ Tehokas puuntuotanto viljelmiltä voi auttaa säästämään jäljellä olevat biologisen monimuotoisuuden keskittymät, kuten sademetsät

Poppelin koko perimä

luettiin läpi

Science (15.9. 2006) 313: 1596 - 1604

The Genome of Black Cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray)

G. A. Tuskan, S. DiFazio, S. Jansson, J. Bohlmann, I. Grigoriev, U. Hellsten, N. Putnam, S. Ralph, S. Rombauts, A. Salamov, J. Schein, L. Sterck, A. Aerts, R. R. Bhalerao, R. P. Bhalerao, D. Blaudez, W. Boerjan, A. Brun, A. Brunner, V. Busov, M. Campbell, J. Carlson, M. Chalot, J. Chapman, G.-L. Chen, D. Cooper, P. M. Coutinho, J. Couturier, S. Covert, Q. Cronk, R. Cunningham, J. Davis, S. Degroeve, A. Déjardin, C. dePamphilis, J. Detter, B. Dirks, I. Dubchak, S. Duplessis, J. Ehling, B. Ellis, K. Gendler, D. Goodstein, M. Gribskov, J. Grimwood, A. Groover, L. Gunter, B. Hamberger, B. Heinze, Y. Helariutta, B. Henrissat, D. Holligan, R. Holt, W. Huang, N. Islam-Faridi, S. Jones, M. Jones-Rhoades, R. Jorgensen, C. Joshi, J. Kangasjärvi, J. Karlsson, C. Kelleher, R. Kirkpatrick, M. Kirst, A. Kohler, U. Kalluri, F. Larimer, J. Leebens-Mack, J.-C. Leplé, P. Locascio, Y. Lou, S. Lucas, F. Martin, B. Montanini, C. Napoli, D. R. Nelson, C. Nelson, K. Nieminen, O. Nilsson, V. Pereda, G. Peter, R. Philippe, G. Pilate, A. Poliakov, J. Razumovskaya, P. Richardson, C. Rinaldi, K. Ritland, P. Rouzé, D. Ryaboy, J. Schmutz, J. Schrader, B. Segerman, H. Shin, A. Siddiqui, F. Sterky, A. Terry, C.-J. Tsai, E. Uberbacher, P. Unneberg, J. Vahala, K. Wall, S. Wessler, G. Yang, T. Yin, C. Douglas, M. Marra, G. Sandberg, Y. Van de Peer, D. Rokhsar

• 110 tutkijaa 39 tutkimuslaitoksesta

Uusi tieteellinen osaaminen antaa potkua jalostukseen

- ◆ Metsäpuiden sukupolvikiertoa siemenestä siemeneen metsänjalostuksessa voidaan lyhentää vuosikymmenillä
 - jos kukkiminen käynnistetään jo muutaman viikon tai kuukauden ikäisissä pikkutaimissa säätämällä kasvin kukkimisgeenien aktiivisuutta
 - ...ja hyödynnetään molekyylibiologian mahdollisuuksia valittaessa geneettisesti parhaat jälkeläiset jatkoon jo pikkutaimivaiheessa
- ◆ Niinpä eräitä perinteisiä maatalouskasvien jalostusmenetelmiä voidaan ryhtyä soveltamaan myös metsänjalostuksessa
- ◆ Geenimuuntelun avulla voidaan
 - aikaisempaa helpommin ja turvallisemmin hyödyntää sukulaiskasvien geneettistä monimuotoisuutta jalostuksessa
 - pitää räätälöidyt viljelmäpuulajikkeet helpommin erillään toisistaan ja villipuista jalostamalla niitä steriileiksi

Koivu voidaan innostaa kukkimaan jo muutaman kuukauden ikäisenä

- ◆ tehostamalla sen yhden oman geenin toimintaa



Kukkimattomaksi jalostettu koivu

kukkiva vertailukoivu



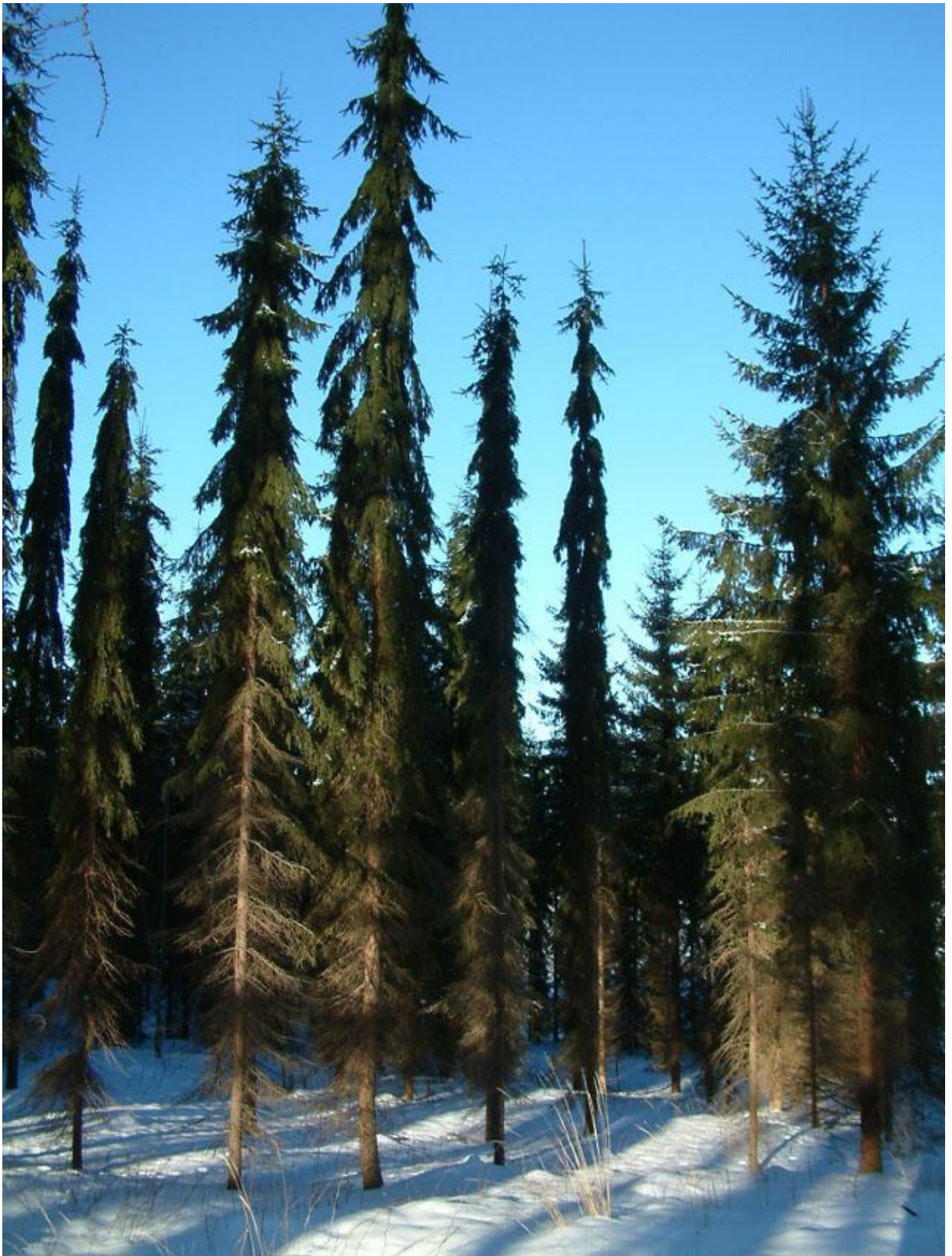
Monet jalostusominaisuudet ovat ekologisesti ”kesyjä”

- ◆ Laatuominaisuudet, jotka parantavat puutuotteiden käyttökelpoisuutta ihmisen tarpeisiin
 - eivät yleensä auta kasvia leviämään tai selviämään paremmin luonnon ekosysteemeissä...
 - ...kuten eivät moiset ominaisuudet vanhassa jalostuksessakaan
 - vaan ne joutuvat säännön mukaan karsituiksi pois luonnon valinnassa
- ◆ Sopeutuneisuutta merkittävästi lisäävät uudet jalostusominaisuudet ansaitsevat sitä vastoin enemmän tarkkailua, jotta mahdollisia vaikutuksia ympäristöön voidaan ennakoida
 - sillä tuollaiset ominaisuudet voivat luonnon populaatioissa tiettyyn mittaan yleistyä (joskaan eivät välttämättä nouse siellä vallitsevaan asemaan)

Kapealatvuksisten puiden jalostaminen viljelmille

- ◆ Maatalouskasvien 'satoindeksiä' on paljon parannettu kasvinjalostuksella
 - joten ihmiselle käyttökelpoiset kasvinosat muodostavat jo suuren osuuden viljelykasvin biomassasta
- ◆ Metsäpuilla satoindeksissä ei ole vielä kehumista, vaan arvokkaimman massan osuutta koko biomassasta voitaisiin jalostaa paljon paremmaksi
- ◆ Esimerkiksi suhteellisesti ohuemmat oksat merkitsisivät, että suurempi osuus biomassasta on kertynyt runkoon
 - ja samalla myös puun laatu olisi parempi rakennus-, huonekalu- ja vanerikäyttöön
- ◆ Ohuiden oksien ja kapean latvuksen geeni löydettiin kuusesta Suomessa jo 80-luvulla
 - ☞ Lepistö (1985), *Found. For. Tree Breeding Inf.* 1: 1–6
- ◆ Koeviljelmillä kapealatvainen kuusi käyttää kasvualansa suhteellisesti tehokkaammin hyväksi
 - ja voisi siten sopia lyhytkiertoiseksi kuitupuuksi Pohjolan oloihin
- ◆ Geenitemuuntelulla tämä geeni voitaisiin myös jalostaa sopiviin muihin viljelmäpuulajeihin parantamaan niiden satoindeksiä tai puun laatua

Kapealatvuksinen ”pendula”kuusi



...koeviljelmällä



© Raimo Jaatinen

Virus vie juurekset Afrikan köyhiltä

- ◆ Kestävyyttä virustauteja vastaan ei useinkaan esiinny viljelykasvien jalostusaineistoissa
- ◆ Mosaiikkiviruksen vuoksi kassavasadosta menetettiin 60% Afrikassa v.1998
- ◆ Virustautiset kassavat tuottavat 2-6 tonnia juureksia hehtaarilta.
- ◆ Geenimuuntelun avulla on jalostettu viruskestäviä kassavalinjoja, jotka tuottaisivat terveitä juureksia 30 tn/ha
- ◆ Koelupia odotetaan Zimbabwessa – montako vuotta?

Riisille poltetaudin kestävyys villiheinästä

- ◆ Riisin polte (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*), bacterial leaf blight
- ◆ ...aiheuttaa 250 milj. euron vahingot Aasiassa vuosittain
- ◆ Tärkeisiin riisilajikkeisiin tuotiin kestävyysgeeni *Xa21* villiriisistä *Oryza longistaminata*
 - ei onnistu risteyttämällä
 - geeni siirrettiin puhtaana (geenipyssyllä)
 - ...jolloin hyvät lajikkeet säästyivät
- ❖ Lajikkeiden taudinkestävyys on jopa parempi kuin villiriisillä
 - ...sillä kestävyysgeeni siirrettiin useana kopiona

”Köyhän miehen peruna”



◆ Bataatti (*Ipomoea batatas*) on kehitysmaiden viidenneksi tärkein viljelykasvi

- ◆ Viljely vaatii vain vähän tuotantopanoksia
 - sopii köyhimmillekin viljelijöille
- ◆ Mukuloiden proteiinipitoisuus on kuitenkin alhainen (1.3 - 3.1%)
- ◆ Lisäksi oleellisten aminohappojen pitoisuudet ovat liian matalia

☞ Espinoza ym. (1989), *Plant Sci.* 64: 99-111

Bataatti on köynnöskasvi



Helsinki 2010 © J.Tammisola

- Bataatti kukassa HY:n kasvihuoneessa Kaisaniemessä 10.5.2010

Sweet potato



Helsinki 2010 © J.Tammissola

- Valkeat bataatit ovat vähäravinteisia, mutta oransseissa lajikkeissa on paljon karoteeneja, purppurabataateissa taas antosyaaneja

Proteiinibataatti parantaisi kehitysmaiden kansanterveyttä

- ◆ Synteettinen geeni *asp-1* koodaa varastoproteiinia, jossa on paljon oleellisia aminohappoja
- ◆ Geeni siirrettiin eri bataattilinjoihin
- ◆ Bataatin proteiinin laatu parani merkittävästi
 - oleellisten aminohappojen pitoisuudet kasvoivat
- ◆ Mukuloiden proteiinipitoisuus moninkertaistui
- ➔ Oleellisten aminohappojen saanti perusravinnosta paranisi kertaluokalla

Alumiinin torjuvia lajikkeita kehitetään



- ◆ Hedelmähapot (sitruuna-, omena- ja päärynähappo) sitovat Al-ioneita
- ◆ Muuntogeeninen papaija, riisi ja maissi erittävät juuristaan sitruunahappoa
 - alumiini ei pääse maasta juuriin vahingoittamaan kasvia

☞ de la Fuente ym. (1997), *Science* 276: 1566-1568

☞ Conway & Toenniessen (1999), *Nature* 402: C55-C58

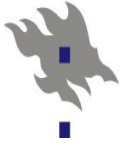
Kasvien fosforinottoa voidaan tehostaa

- ◆ Emäksisessä maassa fosfori sitoutuu liukenemattomiksi Ca-P-yhdisteiksi
 - yli 25% maapallon maista
- ◆ 30 milj. tonnia fosforilannoitetta/v.
 - 80 % siitä menee hukkaan
 - fosforilannoitus saastuttaa vesiä
 - lannoitteen saatavuus vähenemässä?
- ◆ Juurista erittyy orgaanisia happoja
 - fosforin saatavuus kasville paranee
- ◆ Tupakka geenimuunneltiin erittämään enemmän sitruunahappoa
- Kasvi selviää paljon vähemmällä fosforilannoituksella

Pitääkö sian haista ja saastuttaa?



- ❖ Fytaaasia sylkeensä erittävä ympäristösika pystyy hyödyntämään kasvin fosforin
 - ...joten sonta ei saastuta vesistöjä, ja metaanisaastekin vähenee
- 👉 <http://geenit.fi/Ympsika.htm>



Yleistajuisia tiedekirjoituksia ja -dokumentteja 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://geenit.fi/Nic08Laht.pdf>

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

2010: Review: Towards much more efficient biofuel crops – can sugarcane pave the way? GM Crops 1(4): 181-198
<http://www.landesbioscience.com/journals/gmcrops/article/02TammisolaGMC1-4.pdf> ; käsikirjoitus hyperlinkein: <http://geenit.fi/E/GmCrops10.pdf>

■ Typpi M (2010). **Hyvä paha tekniikka. Biotekniikkaa ja maanviljelyä.** YLE Radio 1 14.6.2010, 39:35 min.
<http://geenit.fi/Typpi140610.mp3>

■ **Terveyttä, laatua ja ruokaturvaa kasvinjalostuksella.** Natura 4/2010. http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf

■ **Fossiilitaloudesta uusiutuviin raaka-aineisiin kasvibiologian eväillä.** Natura 3/2010.
http://geenit.fi/Natura3_2010.pdf

2012: Hytönen I-M (2012). Ajantasan lauantaivieras. Yle Radio Suomi 28.1.2012.
<http://areena.yle.fi/radio/1430067>