

Biotekniikan uusia ja kehittyviä sovelluksia

Haasteet, mahdollisuudet ja taloudelliset vaikutukset Euroopan maataloudessa

Euroopan parlamentti
10.10.2006

MMT Jussi Tammisola
kasvinjalostuksen dosentti
Helsingin yliopisto

jussi.tammisola@helsinki.fi
<http://geenit.fi/EP101006suom.pdf>
<http://geenit.fi/EP101006Liite.pdf>

Viljelykasveja täytyy muuttaa...

- ◆ 11 000 vuotta sitten keksittiin maanviljelys ja kasvinjalostus
 - ja ne tekivät nykyaikaisten kulttuurien syntymisen mahdolliseksi
- ◆ Tärkeitä viljelykasveja ei saatu valmiina
 - vaan ne täytyi vallata ihmisen käyttöön vuosituhansien kovalla työllä
- ◆ Luonnonkasvit eivät ole sopeutuneet ihmisen käyttöön vaan omiin tarpeisiinsa

...ja on niitä jo aika lailla muutettukin

- ◆ Kasvit puolustautuvat tuholaisiltaan, kuten ihmiseltä, moninaisilla kemiallisilla aseilla
- ◆ Ihmisen ohjaamalla evoluutiolla (kasvinjalostuksella) viljelykasveja on muutettu ihmisen tarpeiden suuntaan
- ◆ Sadot ovat nousseet usein jopa 10–30-kertaisiksi
 - puolet tästä on jalostuksen ansiota
- ◆ Ruokakasvien myrkkyjä ja haitta-aineita on saatu vähenemään
- ◆ Viljelykasvien ravitsemuksellista koostumusta on parannettu vastaamaan paremmin ihmisen tarpeita
 - mm. kohottamalla välttämättömien amino- ja rasvahappojen pitoisuuksia

Jalostuksen taide

- ◆ Monissa kasvien ominaisuuksissa on vielä paljon parannettavaa
- ◆ Taide on keinotekoista kauneutta
 - ja kasvinjalostajat ovat aina pitäneet itseään lähinnä taiteilijoina
- ◆ Viime aikojen läpimurrot molekyyli-biologiassa ja geenitiedossa ovat
 - kehittäneet kasvigenetiikasta, -fysiologiasta ja kasvinjalostuksesta aitoja luonnontieteitä
 - parantaneet ratkaisevasti kasvinjalostuksen tarkkuutta, tehokkuutta, hallittavuutta, turvallisuutta ja sovellusmahdollisuuksia
- ◆ ...joten sadoittain biosovelluksia odottaa lähes valmiina yliopistolaboratorioissa
- ◆ ...rahoitusta ja sosiaalista tukea
 - viimeistelyä ja hyödyntämistä varten
 - puskeakseen läpi tuotelainsäädäntöön kasatuista barrikadeista

Uusia näköaloja ja haasteita

- ◆ Laatu, ravitseminen, terveys, ympäristö ja biotalous
 - viisi vauhdittajaa nopeasti muuttuvassa maailmassa
- ◆ 8 kasvinjalostuksen esimerkkitapausta:
 - 1. Tuoksuva vehnä
 - 2. Sydänystävälliset omega3-kasviöljyt
 - 3. Inuliinijuurikas
 - 4. Allergiaa/astmaa ehkäisevät tai parantavat kasvit
 - 5. Rutonkestävä peruna
 - 6. Juurikuoriaisia kestävä maissi
 - 7. Tehostetut tärkkelysperunat
 - 8. Parempia puita biotaloudelle

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

1. Tuoksuvan riisin salaisuus selvisi

- ◆ 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

Aromivehnän jalostaminen

- ◆ ...kun taas geenitekniikan avulla aromivehnä voidaan jalostaa yhdellä askelella
 - kaikki 6 tuoksuttomuuden geeniä voidaan sammuttaa kohdistetusti yhdellä kertaa (esimerkiksi ns. kääntögeenimenetelmällä)
 - ◆ Todelliseksi haasteeksi jää hankkia 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

2. 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

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

...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

3. Inuliineja juurikkailla

- ◆ Inuliinit ovat joukko terveysvaikutteisia 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 massatuote, jota tuotetaan maailmassa liikaa
 - 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-artisokasta
 - ja valtaosa tavallisesta sokerista korvaantui fruktaaneilla juurikkaissa

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

4. Kasveja, jotka ehkäisevät tai parantavat allergiaa/astmaa...

- ◆ Joka viides ihminen teollisuusmaissa kärsii siitepölyallergiasta
- ◆ Koivun siitepöly kiusaa yleisimmin Pohjolassa, kun taas japaninsetri aiheuttaa vahvoja oireita Japanissa
- ◆ Geenitekniikan avulla rakennettiin peptidi (pieni proteiini), johon oli koottu immunologisesti tärkeimmät kohdat kahdesta pahimmasta setrin siitepölyn allergiaproteiinista
- ◆ Tämä peptidi ei synnytä vaarallisia allergiareaktioita (anafylaksia), jollaisia voi aiheutua kokonaisista allergiaproteiineista
- ◆ Tämän ”immunopeptidin” geeni jalostettiin sitten riisikasviin, ja peptidiä tuotettiin riisin jyvissä
- ◆ Hiirien allergisoituminen setrin siitepölylle estyi, kun näitä riisin ”immuunijyviä” syötettiin niille ennakoon...

...ilman pistoksia

- ◆ ...joten oli onnistuttu kehittämään siitepölyallergian ehkäisyyn syötävä rokote, jota voidaan käyttää ilman pelkoa hengenvaarallisista allergiareaktioista
 - ...joiden varalta perinteiset siedätyskäsittelyt joudutaan pistämään lääkärin valvonnassa
- ☞ Takagi ym. (2005). *PNAS* 102: 17525–17530
- ◆ Samoin onnistuttiin syötävällä rokotteella estämään astman kehittyminen hiirillä
 - normaalisti koehiirille kehittyy astma, kun ne altistetaan toistuvasti auringonkukan siemenalbumiinille (siemenen varastoproteiini)
 - astman synty kuitenkin estyi, jos hiirille oli syötetty ennakoon lupiinin siemeniä, jotka oli jalostettu tuottamaan kyseistä proteiinia
 - ...eikä astmaa syntynyt edes silloin, jos hiiriä pölytettiin hyvin voimakkaasti tuolla astmaa laukaisevalla proteiinilla
- ☞ Smart ym. (2003). *J. Immunol.* 171: 2116–2126

Soija-allergia on vakava ja yleinen vaiva maailmalla

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

Vähemmän allergisoivia soijalajikkeita jalostetaan...

- ◆ Tutkijat yrittävät poistaa tärkeimmät allergiaproteiinit soijapavuista
 - ...mikä voisi vähentää tai ehkäistä uusien allergioiden kehittymistä väestössä
 - ...ja lieventää tahattomista soija-altistumisista aiheutuvia oireita jo herkistyneillä henkilöillä
 - ◆ Soijan immunologisesti merkittävin allergiaproteiini (P34) saatiin poistetuksi vaientamalla sen geenin geenitekniikalla
 - P34-proteiini aiheuttaa yli 65 prosenttia soija-allergiareaktioista USA:ssa
 - geenin vaientaminen ei heikentänyt soijakasvin viljelyominaisuuksia
- ☞ Herman ym. (2003). *Plant Physiol.* 132: 36–43

...geeni geeniltä

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

Taudinkestävät viljelykasvit

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

Viruskestävyyden jalostaminen

- ◆ Kestävyyttä virustaudeille ei useinkaan esiinny viljelykasvien jalostusaineistoissa
 - ◆ Kasvit voidaan kuitenkin jalostaa viruskestäviksi eräänlaisella geneettisellä rokotuksella*, geenitekniikan avulla
 - ◆ Kaikkein laajimmat edut voitaisiin saavuttaa tropiikissa ja kehitysmaissa
 - ◆ Virustuhot voivat olla massiivisia
 - virus vie usein pääosan pellon sadosta
 - ◆ Viruskestävillä lajikkeilla voidaan luopua osasta hyönteismyrkkyruiskutuksia
 - ...koska viruksia kuljettavia hyönteisiä (vektoreita) ei enää tarvitse pitää täysin kurissa
 - ☞ Jalostustapauksia: viruskestävä kurpitsa, papaija, kassava jne.
- * Viruksen toiminta kasvissa estetään hyödyntämällä rna-interferenssiä (josta lääketieteen tutkijat saivat Nobel-palkinnon vuonna 2006)

Kasvien jalostaminen kestäviksi sienitaudeille

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

Tuotteissa piilevät infektiot
voivat altistaa ihmisiä
vahingollisille aineille



J. Tammisola©

– home on valloittanut omenan sydämen
omenakääriäisen käytävien kautta

Kasvien jalostaminen kestämään bakteeritauteja

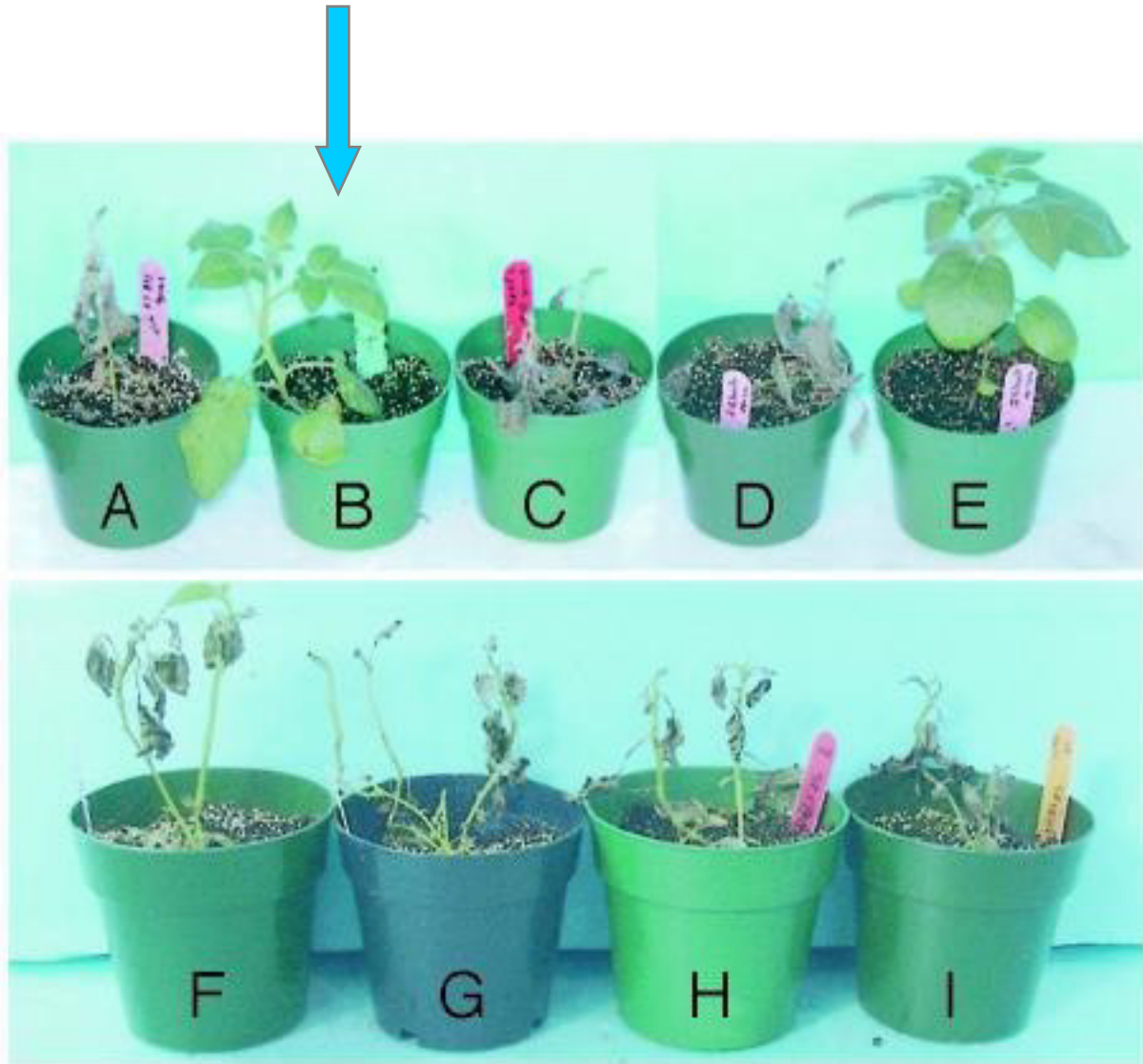
- ◆ Bakteeritaudeilta kasveja voidaan usein suojella vain antibiooteilla
 - joiden käyttö voi kehittää antibiootinkestävyyttä ympäristön haitallisissa bakteereissa
- ◆ Bakteerin aiheuttama tulipoltetauti voidaan torjua (muun maailman) omenatarhoissa toistaiseksi vain streptomysiinikäsittelyillä
 - mikä edustaa laajamittaisinta antibioottien käyttöä kasvituotannossa länsimaissa
- ◆ Suosittu Royal Gala –omena on erittäin herkkä tulipoltteelle, mutta siitä on jo jalostettu kestävä johdos ”Terve-Gala” (geenitekniikalla)
 - tarinan jatko ei riipu tieteestä vaan politiikasta...



Tavanomainen (tulipoltteelle hyvin altis) vs. geneettisesti terve Royal Gala -omenapuu.

☞ Liu ym. (2001) *Agra Hortic. Proc.* 560: 95–99

5. 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 kestävyyttä perunaruttoa vastaan

- ◆ Villi perunalaji (*S. bulbocastanum*) on vastustuskykyinen perunarutolle
- ◆ Kestävyyส์geeni jäljitettiin, puhdistettiin ja jalostettiin viljelyperunan lajikkeisiin geenitekniikalla
- ◆ Koelinjat ovat toistaiseksi osoittautuneet kestäviksi kaikille tunnetuille ruttoroduille
 - myös ”superrutolle”, joka pystyy murtamaan kaikki rotuspesifiset kestävyedet
- ◆ Ominaisuutta ei voida jalostaa viljelyperunaan perinnekein, sillä esteenä ovat
 - risteytymisesteet (eri polyploidiatasot)
 - vuosikymmenien aikamenekki
 - myrkkyyvaara: peukalokyytiläiset voisivat tuoda myrkkyyä 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 (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 tarvelee mukuloiden laadun ja romahduttaa satomäärän
- ◆ Lauhkeassa ilmastossa ruttoa on usein torjuttava 10 ruiskutuskerralla
 - ...kun taas kuumilla alueilla, kuten Meksikossa, voidaan tarvita jopa 25 ruiskutusta kasvukaudessa
- ◆ Rutonkestävät perunat säästäisivät EU:n joka vuosi
 - 860 milj. kg perunamenetyksiltä
 - 7,5 milj. kg fungisidiruiskutuksilta (tehoaineeksi laskettuna)
- ☞ Phipps & Park (2002). *J Animal Feed Sci.* 11: 1–18
- ☞ Gianessi ym. (2003). Potential impact for improving pest management in European agriculture. Potato case study. NCFAP

Varovaisuusperiaate

- ◆ ”Jos on olemassa vakavien tai palautumattomien vahinkojen uhka, täyden tieteellisen varmuuden puuttumista ei tule käyttää syynä lykätä kustannustehokkaita toimenpiteitä ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi”
- ☞ 1992 Rio Declaration on Environment and Development

6. Maissin juurikuoriainen (Western Corn Rootworm) saapui ja valloittaa Eurooppaa

Veni, vidi – vici ?



Photo: Whitney Cranshaw

Diabrotica virgifera on kaunis kovakuoriainen
– ja tuhoisa vieraslaji

...ja tuhoaa maissisadot



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

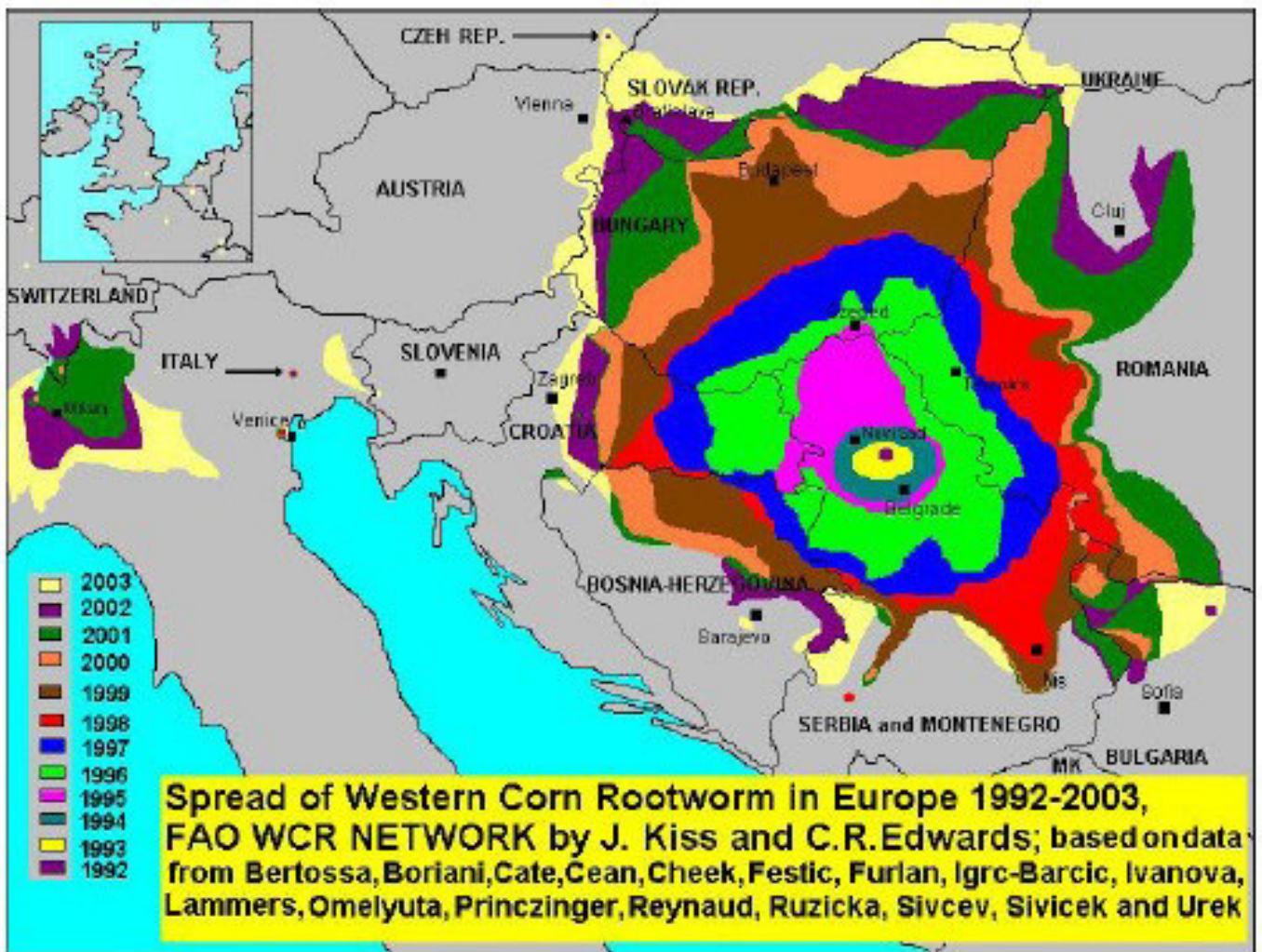


- ◆ Maan kastelu vahvoilla hyönteismyrkyillä tehoaa näihin toukkiin vain puoliksi
 - valikoimaton torjuntatapa vahingoittaa myös muita maaperän asukkeja

Juurikuoriaisia kestävää maissia viljellään jo – muualla

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

Maissin juurikuoriainen jatkaa levittytymistään...



...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

☞ Carpenter & Gianessi (2001), Carrière (2003)

7. 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 töröttänyt EU:n jonossa vuodesta 1996 lähtien
 - ja päätös saattaa hyvinkin olla odotettavissa jo ennen vuoden 2007 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
- ◆ Kolmannen vuoden kenttäkokeet ovat menossa Suomessa
 - koetta sabotoitiin vain syksyllä 2005
- ◆ Biotalous kannalta paras tulos saavutettaisiin yhdistämällä tärkkelyksen korkea pitoisuus ihanteelliseen laatuun
 - esim. risteytyksillä näiden kahden tärkkelysperunan kesken (tai geenitekniikalla)

Borealin muuntogeeninen tärkkelysperuna kenttäkokeessa (2004)



J. Tammisola©

...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

👉 www.vtt.fi/uutta/2006/20051229.jsp?lang=en

Luonto itse testaa kasvin geenien vaientamista

- ◆ Luonto on kokeillut minkä tahansa kasvigeenin vaientamista 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

Geneettisesti muunnettuja 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.

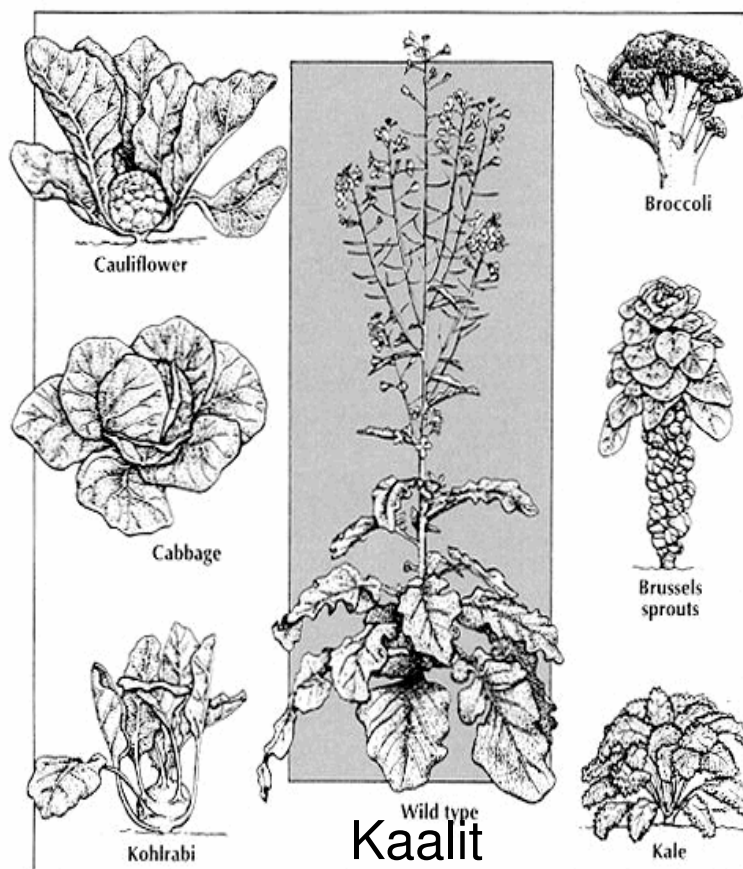
8. Parempia puita biotaloudelle

- ◆ 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, että nämä puun käyttötavat ovat aidosti kestäviä (eivätkä tyhjäkäyntiä tai haaskausta)
- ◆ Suomessa puiden biomassa on tärkein ja nettotehokkain raaka-aine bioenergian tuottamiseksi

Maatalouden kehitys



Teosintti Intiaani- Maissi
maissi



Metsänhoito laahaa jäljessä!



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
- ◆ ...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
- ◆ Geenitekniikan avulla voidaan
 - aikaisempaa helpommin ja turvallisemmin hyödyntää sukulaiskasvien geneettistä monimuotoisuutta jalostuksessa
 - pitää räätälöidyt viljelmäpuulajikkeet helpommin erillään toisistaan ja villipuista jalostamalla niitä steriileiksi

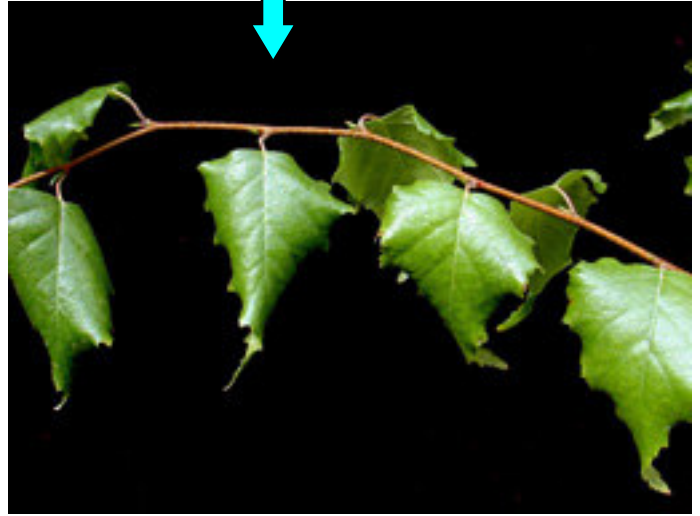
Koivu voidaan innostaa kukkimaan jo muutaman kuukauden ikäisenä

- ◆ 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
- ◆ Geenitekniikalla tämä geeni voitaisiin myös jalostaa sopiviin muihin viljelmäpuulajeihin parantamaan niiden satoindeksiä tai puun laatua

Kapealatvuksinen ”pendula”kuusi



Raimo Jaatinen©

...koeviljelmällä



Raimo Jaatinen©

1989 Statement of Eucarpia* on Risk Assessment Regarding the Release of Transgenic Plants

1. It is the prime competence and responsibility of every research worker to evaluate potential risks of his research and to find ways to control these.
2. The plant is a relatively easy organism to control. Many crop plants are fully dependent on man for their existence.
3. In assessing risks the potential gene flow is crucial. This is determined in amount by the mating type and by the degree of taxonomic relationship. Much knowledge on these phenomena is already available in the literature.
4. Secondly, the effect of the gene is relevant and not the way it was introduced into the genome.
5. It should be kept in mind that well-defined genes, such as those transferred to plants by molecular techniques, can precisely be identified and controlled at the molecular level. However, their phenotypic expression must always be monitored most carefully.
6. There are genes which a priori are known to be harmful. These are not to be transferred into crop plants.
7. Presently, case studies with the release of transgenic plants are underway in several countries. All results should be fully published.
8. Eucarpia has established a working group of competent scientists on the subject of risk assessment for the release of transgenic plants.

*European Association for Plant Breeding Research