



HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

# Ruoka ja geenit

## 6a. Geenimuuntelun uusia sovelluksia I

Jussi Tammissola  
kasvinjalostuksen dosentti  
[jussi.tammissola@helsinki.fi](mailto:jussi.tammissola@helsinki.fi)  
<http://geenit.fi>  
13.9.2012

**Koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenia**



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

# Mihin uutta kasvinjalostusta tarvitaan – ja miksi?

- ❖ Jos ympäristö muuttuu, maataloustuotanto heikkenee tärkeimmillä tuotantoalueilla
- ❖ On nopeasti päivitettävä maailman (kymmenet) tuhannet tärkeimmät kasvilajikkeet
- ❖ Tärkeitä jalostusominaisuuksia ovat mm: satoisuus (uudet käytöt); resurssien käytön tehokkuus (vesi, ravinteet), ml. hiilitehokkuus; taudinkestävyys, tuholaiskestävyys; ekologinen sietokyky (kuumuus, kuivuus, kylmyys, suolaisuus, happamuus [alumiini], tulvat, vaihtelu); ravitsevuus (proteiinit, öljyt); terveellisyys (myrkyt, haitta-aineet, vitamiinit, mineraalit, WHO: saatava pääkasveista); sekä maku (koska vihdoinkin osataan...)
- ❖ Tarvittavaa geneettistä vaihtelua ei useimmiten ole riittävästi kasvilajin jalostusaineistoissa
- ❖ Perinnejalostus on normaalisti myös (aivan) liian hidasta, epätarkkaa, likaista ja tehotonta  
<http://geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf>  
<http://geenit.fi/LabL12.pdf>
- ”Perinteiset” jalostuskeinot eivät yleensä riitä
  - vaan tarvitaan avuksi uutta geenitietoa ja -taitoa: geenimuuntelua ja **emoja** (eläviä muuntogeenisiä organismeja)

# Mihin uutta kasvinjalostusta tarvitaan – ja miksi? 1.

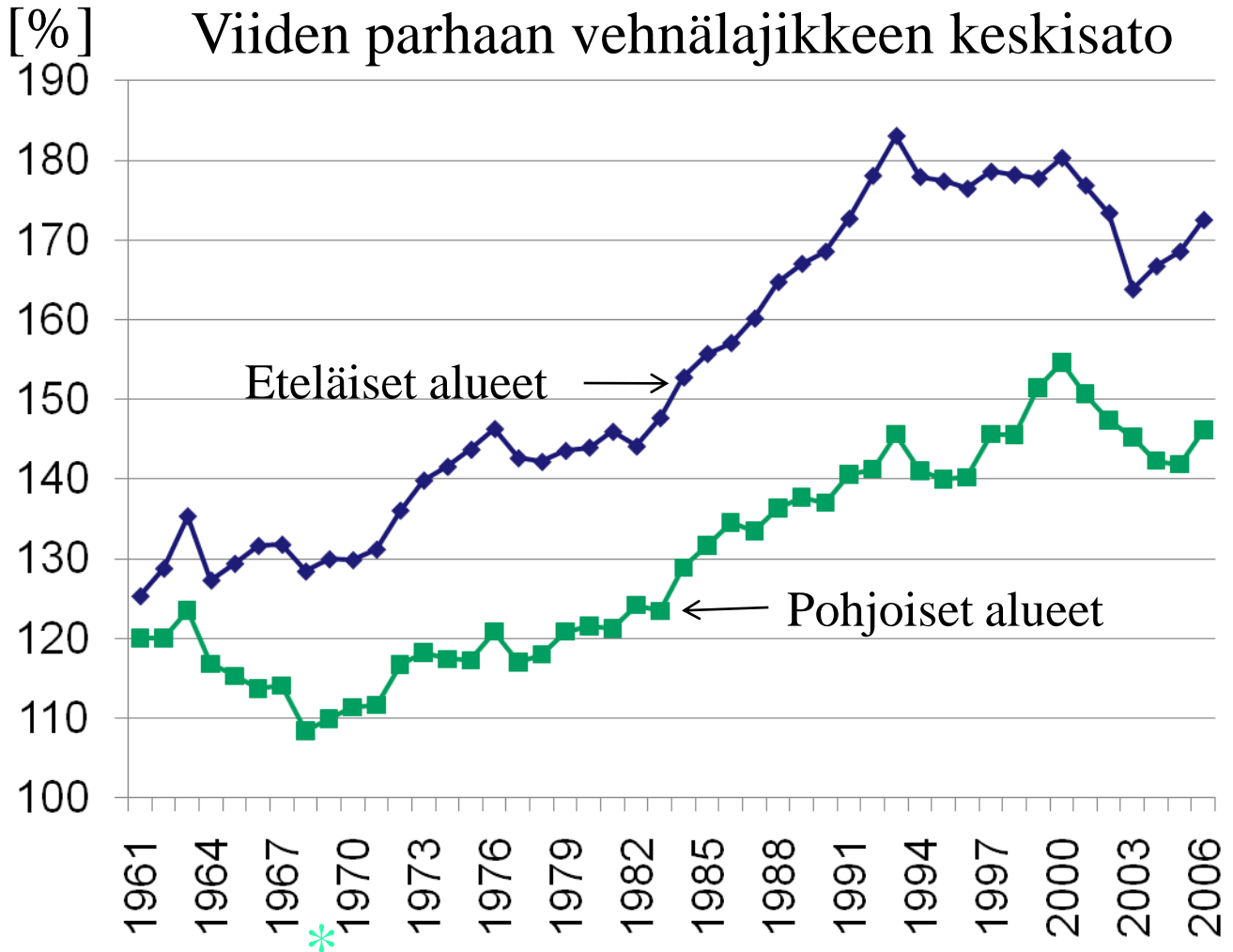
- ❖ ”Luomu ruokkii koko maailman... ja enemmänkin”  
(Lim Li Ching, Mae-Wan Ho:n pitkäaikainen työntekijä, HS 29.3.2009)  
<http://geenit.fi/HS290309.pdf>
- ❖ ”Ei likimainkaan” (FAO [2007](#)).  
Väestö kasvaa, ja ruokaa on vuonna 2050 tuotettava kaksi kertaa enemmän (FAO [2009](#))
  - ❖ ...jotta ruokaturva pysyisi edes ennallaan
- ❖ Jos ympäristö muuttuu ja maataloustuotanto heikkenee tärkeimmillä tuotantoalueilla...
- ❖ ...on nopeasti päivitettävä maailman (kymmenet) tuhannet tärkeimmät kasvilajikkeet

# Mihin uutta kasvinjalostusta tarvitaan – ja miksi? 2.

- ❖ Tärkeitä jalostusominaisuuksia ovat mm:
  - ❖ Satoisuus (uudet käytöt)
  - ❖ Resurssien käytön tehokkuus (vesi, ravinteet);  
myös hiilitehokkuus
  - ❖ Taudinkestävyys
  - ❖ Tuholaiskestävyys
  - ❖ Ekologinen sietokyky  
(ongelmina kuumuus, kuivuus, kylmyys, suolaisuus, happamuus [alumiini], tulvat, olojen vaihtelu)
  - ❖ Ravitsevuus (proteiinit, öljyt)
  - ❖ Terveellisyys:  
myrkkijä ja haitta-aineita on poistettava;  
vitamiinit ja mineraalit on saatava maailman tärkeistä ravintokasveista (WHO)
  - ❖ Sekä vihdoin myös maku  
(koska lopultakin osataan...)



# Vehnän satoisuuden geneettinen nousu taittui 1980-luvun lopulla: perinnejalostus ei enää tehoa



- Viiden kulloinkin satoisimman vehnälajikkeen keskisato prosentteina verrannelajikkeen (Kharkof) sadosta vertailevissa lajikekokeissa USA:ssa. Kaavion pisteet ovat viiden vuoden liukuvia keskiarvoja ([Graybosch & Peterson](#), *Crop Sci.* 2010; 50:1882–1890)

- \* Vihreän kumouksen lajikkeet nostivat vehnän satotason pitkään nousuun 1960-luvun lopulta lähtien

# Geenimuuntelun käyttöalueita uudessa kasvinjalostuksessa

- **Geenimuuntelua 37 vuotta\***
    - kasveilla sovellettu 27 v
  - **Perinteiset gm-kasvilajikkeet**
    - viljelyominaisuuksia
  - **Ravitsevuusjalostus**
    - proteiinit, vitamiinit, terveysöljyt, sinkki, rauta
  - **Kasvinterveysjalostus**
    - taudit, tuholaiset
  - **Kestävyysjalostus**
    - kuivuus, suolaisuus, happamuus, tulvat, kylmyys, kuumuus
  - **Ekotehokkuusjalostus**
    - lannoitteet, yhteyttäminen, kyntämättömyys, satoisuus
  - **Biotalouden tarpeet**
    - bioraaka-aineet, biomateriaalit, bioenergia ([Katsaus 2010](#))
    - ravinnon tuotantoa vaarantamatta!
  - **Biolääkkeet**
    - yhä turvallisempia, miljardien saataville
- ☞ <http://geenit.fi/EP101006.pdf>
- ☞ [http://geenit.fi/Futura4\\_04.pdf](http://geenit.fi/Futura4_04.pdf)
- Ääriliikkeet sabotoivat kaikkia näitäkin biosovelluksia
    - tuhoamalla tutkimuksia yön pimeydessä (puolet EU:n kenttäkokeista)
    - pelottelemalla maallikoita kauhukampanjoilla
    - tavoitteenaan syrjintä ja biologisesti kestävämmät säädökset
    - ja lahjoittavat näin julkisen biotutkimuksen hedelmät kansainvälisten suuryritysten yksinoikeudeksi
    - <http://geenit.fi/25Nobel.pdf>

\* Oikeastaan 85 vuotta (vuodesta 1927 lähtien), sillä direktiivissä 2001/18/EY myös mutageneesi määritellään geenimuunteluksi



# Syötävät puuvillansiemenet – proteiinia miljoonille kehitysmaissa

- **Proteiinin puute vahingoittaa kehitysmaissa**
  - haittaa muun muassa aivojen kehitystä
  - monesti 'nälkä' on siellä juuri proteiinin puutetta
- **Puuvillakasvi on myrkyllinen**
  - puuvillan siemenissä olisi runsaasti (22 %) hyvin korkealaatuista proteiinia...
  - ...joka gossypol-myrkyn takia kuitenkin menee hukkaan
  - siementen proteiini (10 miljardia kg/v) riittäisi kohentamaan 500 miljoonan ihmisen terveyttä
- **Puuvillan siemenet on nyt geenimuuntelun avulla jalostettu syötäväiksi**
  - myrkyllisen 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**
  - ideaa käytetty kasvinjalostuksessa jo 20 vuotta, varsinkin viruskestävien lajikkeiden jalostamiseksi
- <http://agnewsarchive.tamu.edu/dailynews/stories/SOIL/Nov2006a.htm>
- <http://agnews.tamu.edu/showstory.php?id=1399>
- [Sunilkumar ym. \(2006\)](#). PNAS 103: 18054-18059





# Syötävät puuvillansiemenet – proteiinia miljoonille kehitysmaissa (keskustelua vastustajien kanssa)

- ”Eikö ma-häirintä ole epästabiilia”?
  - ...kysytään ”penseästä takarivistä”, jota ei lääketieteen nobel oikein innosta (30.11.2010)
- Ominaisuuksien ’stabiilisuus’ (pysyvyys) on yksi kasvilajikkeiden kolmesta perusvaatimuksesta (’DUS’)
  - ...kansainvälisessä kasvinjalostajien oikeuksia koskevassa UPOV-sopimuksessa sekä kansallisissa jalostussäädöksissä
- Laboratorio- ja kenttäkokeissa myrky on sammunut puuvillan siemenistä oikein hyvin
  - ...ja tuotantokäyttöön aivan riittävän stabiilisti
- Ravitsemuskokeissa siemenet ovat osoittautuneet hyvän makuisiksi, terveellisiksi ja turvallisiksi
- Parannettujen lajikkeiden tuotelaadun säilymistä tarkkaillaan toki säännöllisesti useimmissa kasvilajikkeissa, joista on sammutettu haittageenejä
  - Esim. haitallinen erukahappo voi palata rypsiin takaisin: toimivan haittageenin rypsi voi saada helpoimmin villistä peltokaalista, jonka kanssa se risteytyy helposti
    - peltokaali on näet samaa lajia: rypsin villi kantamuoto
  - Tämä on uhkana erityisesti luomuviljelyssä, jossa rypsipelloilla saattaa kasvaa runsaasti peltokaaleja (eikä niiden siemeniäkään voida lajitella pois rypsin sadosta...)
    - ...onhan luomussa rikkakasvien torjunta niin tehotonta, ettei aate saa tuotetuksi edes riittävän puhdasta rypsin kylvösiementä
    - ...vaan luomupellot joudutaan lähes aina kylvämään tavallisella rypsin siemenellä (aina vain anotun erivapauden turvin)
- Ihmisen geenihoidoissa voidaan toki usein tarvita suurempaa stabiilisuutta kuin kasvintuotannossa

# Banaani on kehitysmaiden neljänneksi tärkein ruokakasvi



Kuva: J.Tammisola, Rodos 2009

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

# Sienitautien evoluutio vie Chiquitan pian historian tunkiolle?



Lehtilaikkutauti (Black Sigatoka)

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

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

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

# Cavendish-banaanien lähtölaskenta on alkanut?

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

<http://geenit.fi/Alba9203.pdf>

...vai pelastaako  
kaupan banaanit  
”eläimen kikkare”



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

# Suosikkibanaanin ylösnousemus – kehitysmaasta?

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

[http://geenit.fi/Natura4\\_2010.pdf](http://geenit.fi/Natura4_2010.pdf)



# Maittavaa terveysterapiaa... vitalismilla?



Väinämöisen paluu -sarja. © Petri Hiltunen

Mitä oli vitalismi? <http://geenit.fi/Skepsis10-2.pdf>

# Kuinka jalostettiin ”kultainen riisi”?

- ◆ EU ja Rockefeller-säätiö rahoittivat "kultaisen riisin" jalostamista
  - avainasemassa sveitsiläiset yliopistotutkijat (prof. Ingo Potrykus)
- ◆ Jyvät sisältävät  $\beta$ -karoteenia
  - tuottaa elimistössä A-vitamiinia
  - 2 geeniä narsissista
- ◆ Jalostetut kasvinlinjat lahjoitettiin Maailman riisintutkimuskeskukselle (IRRI, Filippiineillä)
  - lajikkeiden jalostamiseksi kehitysmaille
- ◆ Lajikkeita aletaan viljellä Aasiassa 'pian'
  - ...heti, kun säädöshyväksynät ko. maissa valmistuvat
- ◆ Geenivastustajat kampittavat yhä näidenkin humanitääristen lajikkeiden kehittämistä...



# Miljardien ravintoon tarpeeksi A-vitamiinia?



Wild Type



Np *Psyl/crtl*



Zm *Psyl/crtl*

**Tavallinen  
riisi**

**Aiempi ja uusin  
kultainen riisi**

- ◆ Greenpeace väittää, että kultaista riisiä ”täytyisi syödä 9 tai 14 kg joka päivä” , jotta saisi mitään apua A-vitamiinin puutteeseen
    - tämä on tavanomaista ”geenipötyä”
  - ◆ Uudet tutkimukset vahvistavat, että kultainen riisi on tehokkaampaa kuin tutkijat uskalsivat edes toivoa
    - 200–300 g kultaista riisiä päivässä riittää ehkäisemään A-vitamiinin puutteesta aiheutuvat vauriot
    - ...joihin kuolee miljoonia ihmisiä ja sokeutuu 500 000 lasta kehitysmaissa joka vuosi
- ☞ [www.goldenrice.org](http://www.goldenrice.org)
- ◆ Uusimmissa kultaisen riisin linjoissa on 20 kertaa enemmän beetakaroteenia kuin varhaisemmissa
- ☞ Paine ym. (2005), *Nature Biotechnology* 23: 482-487
- ☞ [http://www.goldenrice.org/PDFs/fs GR IRRI 2005.pdf](http://www.goldenrice.org/PDFs/fs_GR_IRRI_2005.pdf)

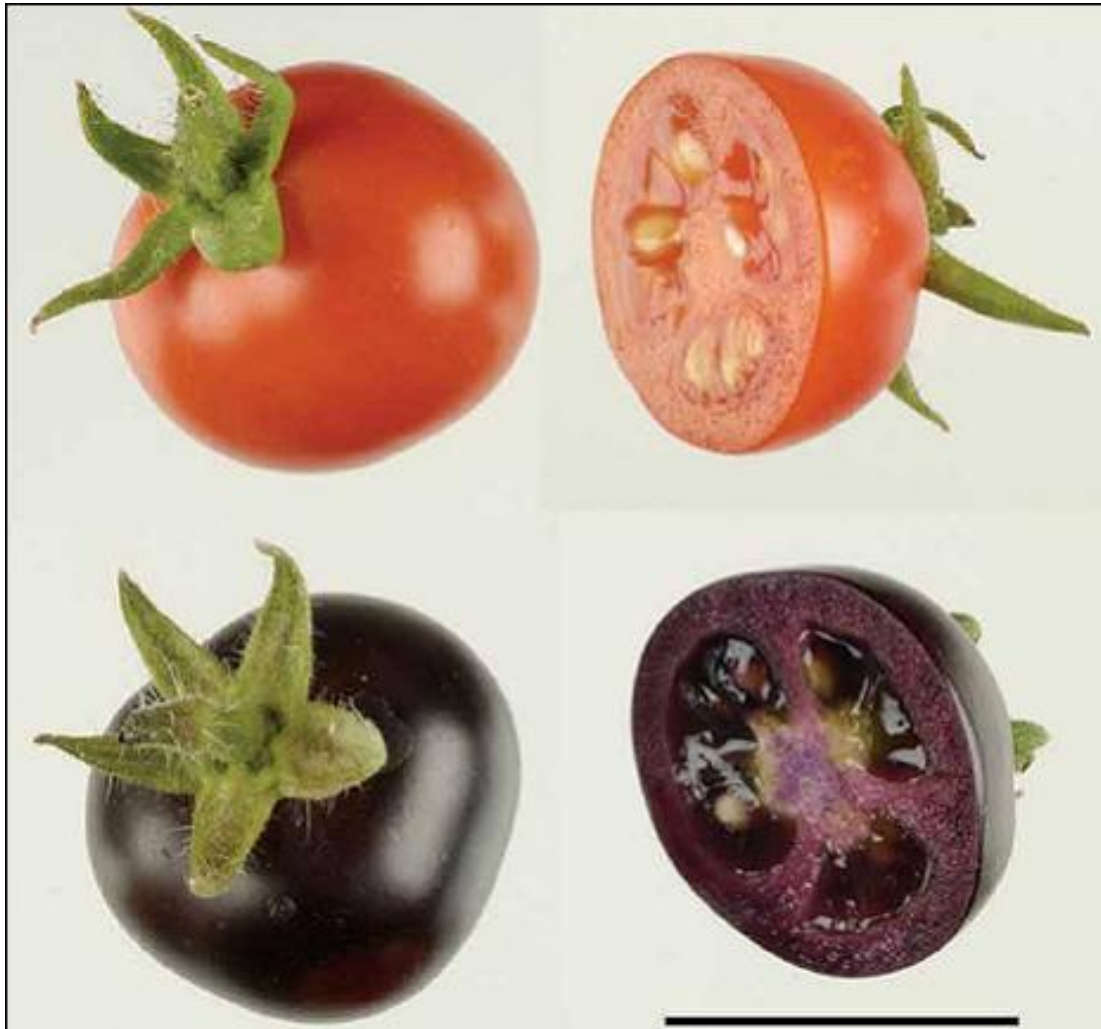
# Lisää satoisuutta riisiin tehostamalla jyvän täyttymisgeenin toimintaa

- Viljojen **jyväsadon suuruus** riippuu paljon siitä, kuinka tehokkaasti yhteytyksessä syntyvät sokerit ohjautuvat:
  - täyttyvään jyvään **tärkkelykseksi**
  - ...vai ei-syötäviin kasvinosiin muiksi rakennusaineiksi (esim. selluloosaksi)
- Viljellystä riisistä löydettiin jyvän täyttymistä tehostava geeni *GIF1*
  - vastaavaa geenimuotoa ei ole villiriisillä
  - jalostettu geeni toimii emin johtosolukoissa ja ohjaa sokereita tärkkelyksen rakentumiseen nuoren jyvän varastosolukossa (endospermi)
- Riisinjyvät kasvoivat 15 % suuremmiksi, kun geenimuuntelulla tehostettiin kasvin oman *GIF1*-geenin toimintaa
  - geenin oman, riisinjalostuksen kuluessa muotoutuneen säätelyalueen ohjaamana
  - ...jolloin geeni toimii haluttuun aikaan ja toivotussa paikassa

☞ Wang ym. (2008), *Nature Genetics* online 28 Sep. 2008, doi: 10.1038/ng.220

☞ [www.tiede.fi/uutiset/uutinen.php?id=3519](http://www.tiede.fi/uutiset/uutinen.php?id=3519)

# Antosyaanitomaatti torjuu syöpää



2 cm

– sinitomaattia nauttineet syöpähiiret elivät neljäsosan pidempään

(*Nature Biotechnology* 2008)

# Tomaattiin terveellisyyttä

---

- ◆ Tomaattiin jalostettiin kaksi leijonankidan geeniä
  - transkriptiofaktoreita (säätelevät geenitoimintaa)
- Hedelmiin kertyi antosyaaneja yhtä paljon kuin mustikoihin\*
- ◆ Sinitomaattia saaneet syöpähiiret elivät neljänneksen kauemmin kuin punatomaatilla ruokitut
- ◆ ...vaikka myös punatomaatti ehkäisee syöpää
  - punaisella väriaineellaan (lykopeeni)

👉 [www.nature.com/nbt/journal/v26/n11/abs/nbt.1506.html](http://www.nature.com/nbt/journal/v26/n11/abs/nbt.1506.html)

\* ”Miksei sitten vain syötäisi mustikoita”? Terveellisiä nekin, mutta: ei ole osoitettu tällaista syöpätehoa; kalliimpia; kasvavat vain eräissä metsissä

# ...ja makua

---

- ◆ Toiseen tomaattilajikkeeseen jalostettiin yksi basilikan geeni
  - geraniolsyntaasi
  - geeni ohjattiin toimimaan hedelmän kypsyessä
- Hedelmiin kertyi tavallista enemmän monoterpeenejä
- ◆ ...ja makutesteissä ihmiset pitivät näitä tomaatteja maukkaampina kuin perinteisiä tomaatteja  
(*Nature Biotechnology* 2007)

➤ [www.nature.com/nbt/journal/v25/n8/abs/nbt1312.html](http://www.nature.com/nbt/journal/v25/n8/abs/nbt1312.html)

# Gm-tilapia on maukkaampaa, (eko)tehokkaampaa ja turvallisempaa ympäristölle



- Tilapiat ovat trooppisia kirjoahvenia. Ne ovat karppien ja lohikalojen jälkeen eniten viljeltyjä kaloja: 1.5 milj. tn/v (FAO [2010](#))
- Tilapiat karkailevat viljelmiltä ja vakiintuvat tropiikissa uusiksi lajeiksi paikalliseen luontoon
- Kuubassa kuluttajat tahtoisivat ostaa maassa kehitettyjä muuntogeenisiä tilapioita, sillä tutkimusten mukaan ne ovat paremman makuisia, hyödyntävät rehun ekotehokkaammin, käyttäytyvät väistyvämmiin ja selviäisivät vapaana huonommin kuin tavalliset tilapiat tai villit kalalajit
  - P.S. Viljeltyjen tilapioiden rehuun kannattaisi lisätä sydänystävällistä, muuntogeenistä omega3-soijaa (vrt. Science Daily [10.7.2008](#))

☞ Estrada MP (2004). Center for Genetic Engineering and Biotechnology, Havana, Cuba 2004, [esitelmä](#) (38 s., pdf)

☞ Guillen et al. (1999). Mar. Biotechnol. 1: [2-14](#)

# 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

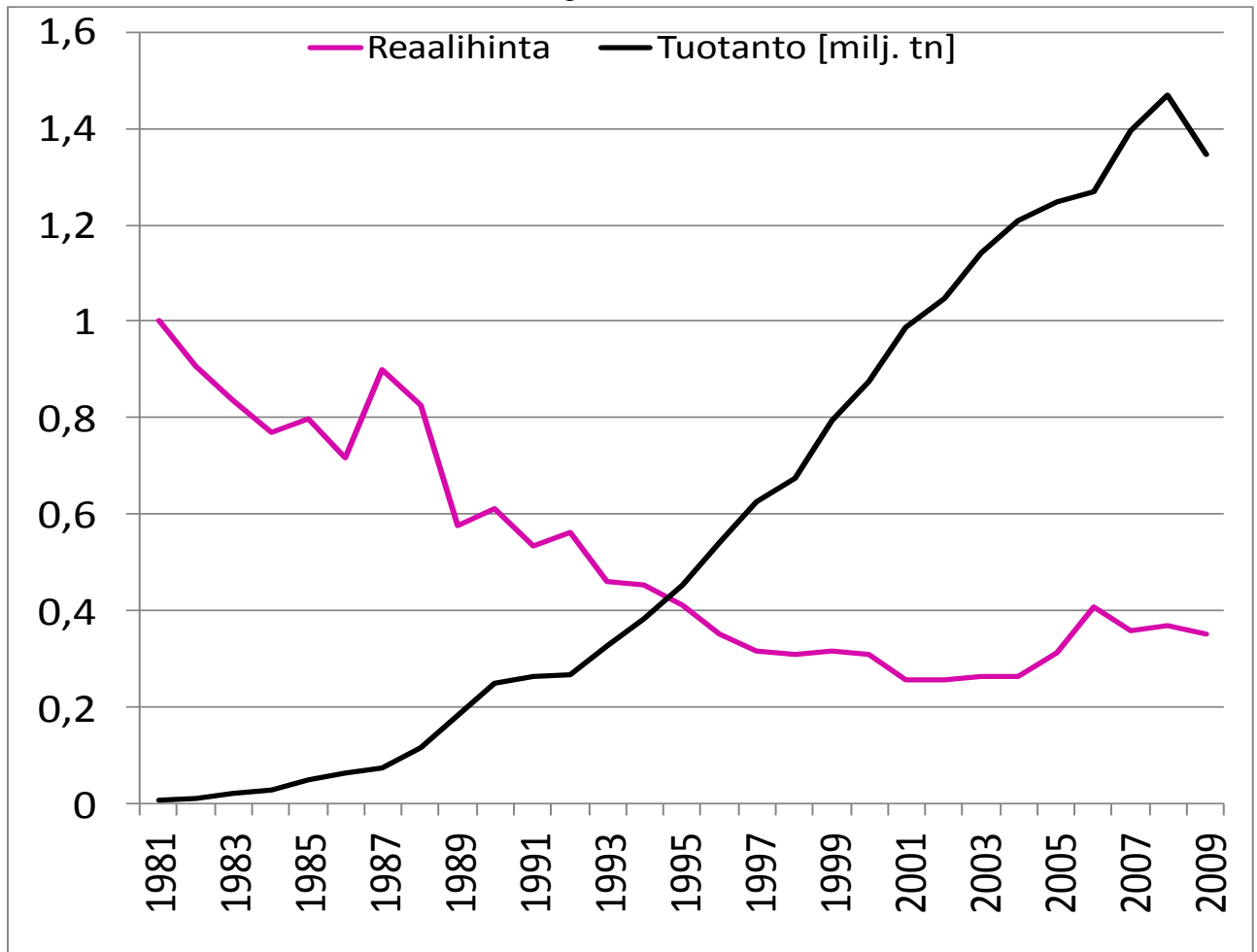
# Sydänystävällisten öljykasvien jalostaminen

- 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)
  - soijahahtaarilta niitä saadaan yhtä paljon kuin 30 000 lohesta
- Sydänystävällisten omega3-kasviöljyjen ovat tulossa markkinoille 'piakkoin' Amerikassa



# Muuntogeeninen lohi parantaisi kansanterveyttä

## Lohen reaalihint\* ja tuotanto USA:ssa 1981–2009



([Smith ym.](#) Science 2010; 330: 1052–3)

- Myyntilupaa haetaan USA:ssa gm-lohelle, joka hyödyntää rehun (eko)tehokkaammin:
  - se käyttää vähemmän rehua ja kasvaa nopeammin
- Sen kasvatus lisääsi lohen tuottavuutta ja alentaisi lohen hintaa kaupan tiskillä
  - mikä lisää lohen kulutusta ja parantaisi väestön terveyttä (Smith ym., Science 19.11.2010)
- Annos lohta viikossa vähentää sydäntautiriskiä 36 %

\* Inflaation vaikutus poistettu

# Jalostettuja kasveja, jotka ehkäisevät tai parantavat allergiaa/astmaa 1.

---

- ◆ Joka viides ihminen teollisuusmaissa kärsii siitepölyallergiasta ([Tammisola 2003](#), [2004](#))
- ◆ Koivun siitepöly kiusaa yleisimmin Pohjolassa, kun taas japaninsetri (*Cryptomeria japonica*) aiheuttaa vahvoja allergiaoireita Japanissa



# Jalostettuja kasveja, jotka ehkäisevät tai parantavat allergiaa/astmaa

## 2.

---

- ◆ Proteiinin allergeenisuus (kyky aiheuttaa allergiaa) johtuu usein sen joistakin erityisistä aminohappojaksoista (epitoopeista)
  - ...jotka saattavat olla lyhyitä, jopa vain 8 ah pituisia
- ◆ Suojaava eli allergisoitumista estävä tai parantava immunisaatio syntyy hieman eri tavalla
  - ...eikä allergisoivia epitoopeja siihen tarvita
- ◆ Geenitekniikan avulla rakennettiin siksi peptidi (pieni fuusioproteiini)
  - josta allergisoivat aminohappojaksot puuttuivat, mutta
  - johon oli koottu suojaavan immunisaation kehittymisen kannalta tärkeimmät kohdat kahdesta japaninsetrin pahimmasta allergiaproteiinista
- ◆ Tämä peptidi ei siksi voi synnyttää hengenvaarallisia allergiareaktioita (anafylaksia), jollaisia helposti aiheutuu siitepölyuutteista tai kokonaisista allergiaproteiineista
  - ...joita käytetään perinteisissä siedätushoidoissa

## ...ilman pistoksia 3.

---

- ◆ Tämän setriallergialta suojaavan ”immunopeptidin” geeni jalostettiin sitten riisikasviin (Yang ym. 2007)
  - joka tuottaa tätä hoitopeptidiä jyviinsä
- ◆ Hiirien allergisoituminen japaninsetrin siitepölylle estyi, kun näitä riisin ”immuunijyviä” syötettiin niille ennakoon (Takagi ym. 2005)
- ◆ Tästä muuntogeenisestä riisistä kehitetään setriallergian ehkäisyyn ja parantamiseen syötävää rokotetta
  - Kädellisillä (makakiapinat) tehdyissä kliinisissä kokeissa rokote on jo varmistunut turvalliseksi (Domon ym. 2009 )
  - Seuraavaksi ovat vuorossa riittävän mittakaavan kliiniset kokeet rokotteen tehon osoittamiseksi ihmisillä



# Muuntogeeninen rokote koivuallergiaan kehitteillä

- Pohjoismaissa allergioista yleisin on [koivuallergia](#)
- Täällä koivuallergikoista 98 % on herkistynyt vain yhdelle koivun siitepölyn proteiinille (Bet v 1)
  - Keski-Euroopassa esiintyy yleisesti allergiaa myös proteiinille Bet v 2
- Rokotteen kehittämisen kannalta tilanne on siis periaatteessa helpompi kuin japaninsetrin tapauksessa
  - ...siitähän on löydetty jo ainakin 4 eri allergeenistä proteiinia
- Syötävää rokitetta ei koivuallergiaan ole vielä tiedossa, mutta
  - tehokasta ja turvallista pistettävää rokitetta Bet v 1 –proteiinista aiheutuvaan koivuallergiaan jo kehitetään
  - ... muuntogeenisen rokoteproteiinin (fuusiopeptidin) pohjalta ([Mahler ym. 2004](#), [Pauli ym. 2008](#), [Valenta ym. 2010](#))

# Syödäänkö ehkäisevää rokotetta astmaan?

---

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

# Soija-allergia on vakava ja yleinen vaiva maailmalla

---

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

# Vähemmän allergisoivia soijalajikkeita jalostetaan...

---

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

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



# ...geeni geeniltä

---

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

# 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

# Maissin juurikuoriainen (Western Corn Rootworm) saapui ja valloittaa Eurooppaa

Veni, vidi – vici ?



Photo: Whitney Cranshaw

*Diabrotica virgifera* on kaunis kovakuoriainen  
– ja tuhoisa vieraslaji

# Juurikuoriainen kaataa maissipellot

---



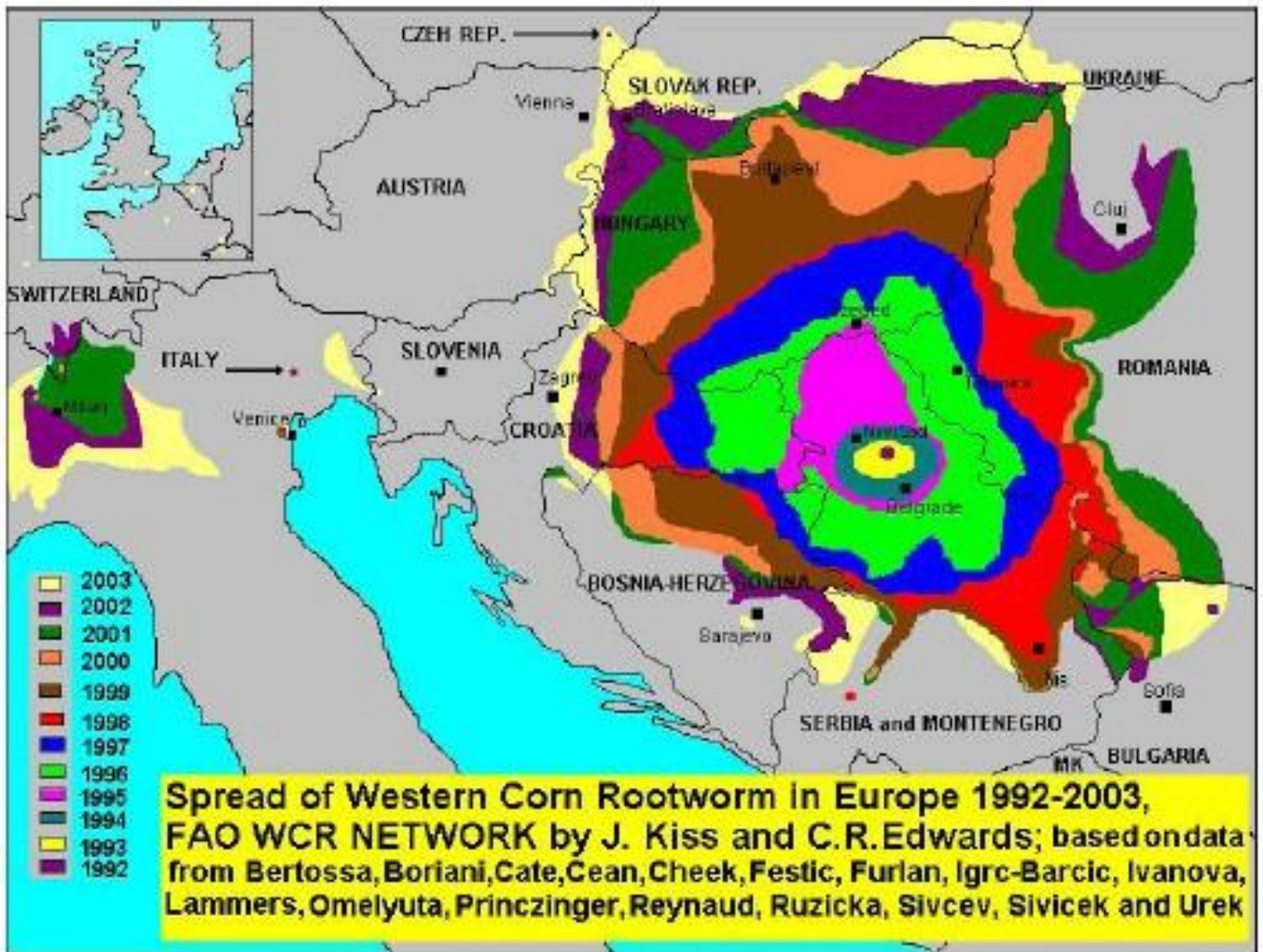
# Maissin juurikuoriainen (corn rootworm) *Diabrotica barberi* ym.



- ◆ Maata kastellaan myrkyillä:
    - laeva vaikutus
    - huono torjunta
  - ◆ Kuoriaisspesifinen Bt-proteiini ilmennetään juuristossa
    - tarkka torjuntatuloks
- ☞ *AgBiot.Rep. 9/99*



# Tuhoisa vieraslaji leviää Euroopassa



- 80 km vuodessa
- EU:n "häätätoimista" piittaamatta
- kestävä maissi olisi ainoa tehokas apu

# ...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 kuoriaisongelman epidemiasta 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)

# 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



# Euroopan maissikoisa on paha tuholainen

---

- ◆ Koisan toukka kaivautuu maissin varsiin ja syö ne poikki
  - ...ja vahingoittaa myös tähkiä, jolloin niihin iskee *Fusarium*-home
  - homemyrkky on vaarallista terveydelle (aiheuttaa syöpää sekä maksa-, hermo- ja sikiövaurioita)
- ◆ Koisankestävässä maississa homemyrkkyä on jopa sata kertaa vähemmän:  
<http://geenit.fi/MaisHome.htm>



Koisa vioittaa maissit ja tuo tähkiin homeita



tavallista maissia koisankestävää bt-maissia

Italia 2005: [www.tekniikkatalous.fi/tk/article49372.ece](http://www.tekniikkatalous.fi/tk/article49372.ece)

Results of field release in Italy, left conventional, right transgenic insect-resistant maize  
<http://www.agbloworld.org> Data produced by the University of Milan, Italy

# Luonnonvarojen kestävä käyttö?

---

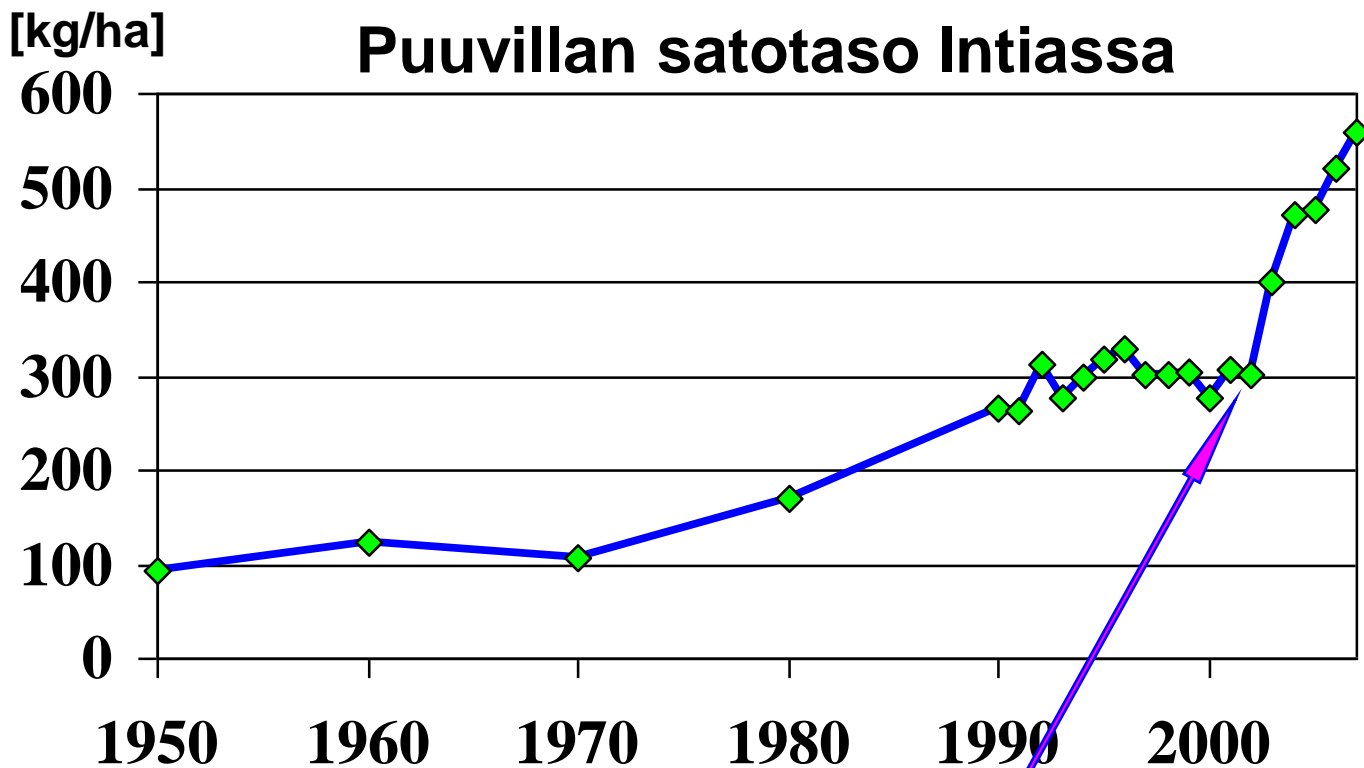
- ◆ Kuinka luonnolta valtaamaamme elintilaa tulisi käyttää
  - ...jotta ihmiskunta saisi riittävästi tarvitsemiaan hyödykkeitä (food, feed, fuel & fiber)
  - ...ilman, että viimeisetkin luonnon ekosysteemit on raivattava ihmisen käyttöön?
- ◆ Avainsana on (eko)tehokkuus:
  - tuotammeko siis jo vallatuilta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



**Viljelemmekö puuvillaa  
vai tuholaisen toukkia?**



# Yökkösenkestävä puuvilla pelasti Intian puuvillateollisuuden



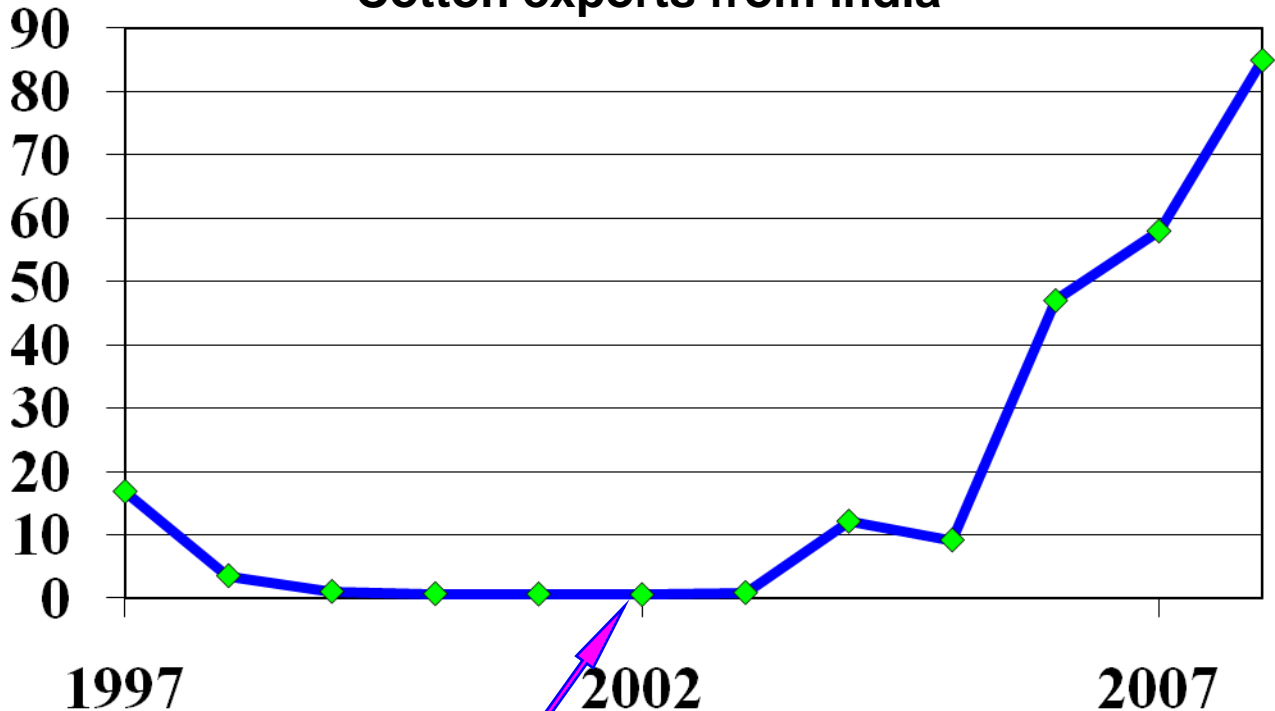
- ❖ Bt-puuvillan viljely alkoi v. 2002
  - nyt yökkösenkestäviä lajikkeita kasvatetaan yli 80 prosentilla Intian puuvilla-alasta
  - satotaso on noussut 80 % kuudessa vuodessa, virallisten satotilastojen mukaan Intiassa

<http://www.cotcorp.gov.in/statistics.asp>
- ❖ Gm-puuvilla vähentää itsemurhia Intiassa
  - osoittavat tutkimukset <http://geenit.fi/Vahltsem.htm>
  - vähentää katoriskiä
  - parantaa satoa, tuloja ja työsuojelua
- ❖ Kuivankestäviksi jalostetut gm-puuvillat ovat jo viljelykokeissa

# Moth-resistant Bt cotton revived Indian cotton industry

[lakh bales  
of 170 kgs]

## Cotton exports from India



- ❖ Bt-cotton cultivation in India started in 2002
  - Now (2010) its share is more than 90 % of cotton cultivation area
  - Accordingly, cotton exports from India have risen exponentially after their chronic stagnation
  - ...i.e. by 13 600 % since the years 2000–2002
- <http://www.cotcorp.gov.in/statistics.asp>
- ❖ Recently, Pakistan has started its own ambitious program of Bt-cotton breeding
  - ...in order to reproduce the Indian success story

# 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 kestävämmän kalliita (raskaan säädöstaakan vuoksi), varsinkin
  - julkisen sektorin tutkijoille
  - vähemmän viljellyille tai paikallisille ("orpo")kasveille
  - kasvullisesti lisättäville lajikkeille (kuten mansikoille), joilla (sen ainoan) jalostetun lajikkeen viljelyala jää rajoitetuksi



**Home nauttii  
myös  
gerberasta...**

Kuvat: ©Teemu Teeri



# Homehtuva gerbera kehitettiin

---

- ◆ ...geenimuuntelulla HY:ssa
- ◆ ...jotta kasvien homeenkestävyyttä opittaisiin ymmärtämään
- ◆ ...ja voitaisiin jalostaa kasveja, joita homeet eivät voisi tarvella yhtä helposti kuin ennen
  - luonnonvarojen käyttö kestävämmäksi
  - ravinnon piilohomeet kuriin
  - ihmisten ravinto turvallisemmaksi
    - eikä homemansikka aivan mainio makuelämyskään ole...

# Tuotteissa piilevät infektiot voivat altistaa ihmisiä vahingollisille aineille



Kuva: Valkea kuulas, © J. Tammisola

- home on valloittanut luomuomenan sydämen omenakääriäisen käytävien kautta
- ...ja nautimme omenasta patuliinihomemyrkkyä

# Viljelläkö ruttoa vai perunoita?

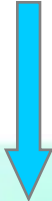


– rutonkestävyyttä villiperunasta  
geenitekniikalla

# Perunarutto – maailman tuhoisin perunatauti

- **Tappoi miljoona irlantilaista nälkään vuosina 1845–50**
- **Sienen toinen pariutumistyyppi saapui Amerikasta kaksi vuosikymmentä sitten**
  - ja käynnisti suvullisen lisääntymisen...
  - ...mikä lisää taudin geneettistä monimuotoisuutta ja nopeuttaa sen evoluutiota, joten
  - perunaruttoepidemiat vain pahenevat Euroopassa
- **Viljelyperunassa (*S. tuberosum*) ei löydy todellista vastustuskykyä**
  - ...vaan vain eriasteista taudinarkuutta
- **Rotuspesifinen vastustuskyky (tiettyä ruttorotua vastaan) ei voi kestää**
  - vaan romahtaa aina, kun evoluutio kehittää uusia ruttosienen rotuja

# Perunalajikkeiden parantaminen kestäväksi perunarutolle



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

# Villiperunasta saadaan laajaspektristä kestävyyttä perunaruttoa vastaan

- Villi perunalaji (*S. bulbocastanum*) on vastustuskykyinen perunarutolle
- Kestävyysgeeni jäljitettiin, puhdistettiin ja jalostettiin viljelyperunan lajikkeisiin geenitekniikalla
- Koelinjat ovat toistaiseksi osoittautuneet kestäviksi kaikille tunnetuille ruttoroduille
  - myös ”superrutolle”, joka pystyy murtamaan kaikki rotuspesifiset kestävyudet
  - EU:ssa geenivastustajat tarvelevät puolet kentäkokeista joka vuosi
- Ominaisuutta ei voida jalostaa viljelyperunaan perinnekein, sillä esteenä ovat
  - risteytymisestee (eri polyploidiatasot)
  - vuosikymmenien aikamenekki
  - myrkkyyvaara: peukalokyytiläiset voisivat tuoda myrkkijä viljelyperunaan
    - ...ja aivan uusiakin alkaloideja voi syntyä ([Laurila ym. 1996](#), [Kozukue ym. 1999](#), [Oksman-Caldentey & Inze 2004](#))



# Rutonkestävyys parantaa laatua ja hyödyttää ympäristöä

- Perunarutto pilaa mukuloiden laadun ja romahduttaa satomäärän
  - Lauhkeassa ilmastossa ruttoa on usein torjuttava 10 ruiskutuskerralla
    - ...kun taas kuumilla alueilla, kuten Meksikossa, voidaan tarvita jopa 25 ruiskutusta kasvukaudessa
  - Rutonkestävät perunat säästäisivät EU:n joka vuosi
    - 860 milj. kg perunamenetyksiltä
    - 7,5 milj. kg fungisidiruiskutuksilta (tehoaineeksi laskettuna)
- ☞ Phipps & Park (2002). *J Animal Feed Sci.*11: 1–18
- ☞ Gianessi ym. (2003). Potential impact for improving pest management in European agriculture. Potato case study. NCFAP

# Suosittu vanhat lajikkeet voidaan pelastaa parantamalla niitä kohdistetusti

- Russet Burbank on jo kohta vuosisadan ollut Amerikan suosikkiperuna
- Sitä kasvatetaan vieläkin lähes puolella USA:n peruna-alasta
- Suosittu kasvullisesti lisättävät (klooni-) lajikkeet voidaan päivittää kilpailukykyisiksi tulevaisuutta varten
  - parantamalla kohdistetusti niiden jälkeen jääneitä (pullonkaula-) ominaisuuksia, tai
  - tuomalla niihin tärkeitä uusia ominaisuuksia
  - ...geenimuuntelun avulla
- Burbank-peruna voidaan jalostaa jälkikäteen rutonkestäväksi
  - ...kuten myös Euroopan suosikkilajikkeet

# Prioneille kyytiä?

On jo jalostettu:

– hulluton lehmä



<http://geenit.fi/HullutonKarja.htm>

– kutkaton lammas:



*LightMix*<sup>®</sup>

*Scrapie Susceptibility Testing*

# Insuliinia nyt gm-kasveilla kaikille edullisesti



- ◆ Esiaste tuotetaan safflor-kasvissa
    - se ohjataan siementen öljyyn, mistä se on helppo puhdistaa
    - toimimaton muoto: vaaratonta
    - toimiva insuliini valmistetaan siitä laboratoriossa
  - ◆ 10 kertaa halvempaa
    - myös kehitysmailla on siihen varaa
  - ◆ Turvallista: ei eläintautien vaaraa
  - ◆ Lääkehyväksyntä loppusuoralla (nopeutettu reitti)
- 👉 [www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f\\_id=1219168](http://www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f_id=1219168)

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



Kultahietikko, Bulgaria. ©J.Tammissola 2006

Merikilokki ja suolayrtti kasvavat merien rannoilla ja  
jopa suolankeruualtaiden pohjalla

# 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: <http://geenit.fi/MesimSTTKasik080405.pdf> )
    - perinteisillä viljelykasveilla siihen kului vuosisatoja tai –tuhansia
  - ❖ **Tärkeistä viljelykasveista voidaan nopeammin jalostaa suolankestäviä lajikkeita geenimuuntelulla**
  - ❖ **Meriveden käyttö kasvintuotantoon on vasta lapsenkengissä**
    - ...mutta merivedessä olisi runsaasti kasvien tarvitsemia mikro- ja makroravinteita
    - ...eikä siitä myöskään tulisi pulaa
    - myös murtoveettä on paljon (ja se olisi monille kasveille helpompaa)
  - ❖ **Suolankestävien kasvien kasvatukseen voitaisiin helposti kytkeä vesiviljelyyn**
    - ...eli vesieläinten kuten kalojen ja äyriäisten kasvatukseen
- ☞ Rozema J, Flowers T (2008). Crops for a salinized World. *Science* 322: 478-480

# Suolankestävät lajikkeet puhdistavat maaperää

- Neljäsosa maapallon maa-alasta on suolapitoista
  - yksin Kiinassa 33 milj. ha
- Viljelykasvit eivät suolaa kestä
- Merikilokki (*Suaeda salsa*) kasvaa suolamailla, jopa Aral-järven kuivuneella pohjalla
- Shandongin yliopisto etsi ja puhdisti kilokin suolankestävyyden geenin
  - ja jalosti sen riisiin, tomaattiin ja soijaan
- Lajikkeet puhdistavat maaperää suolasta ja keräävät sen lehtiinsä
  - suola ei kerry siemeniin eikä hedelmiin vaan lehtisolujen ”jätepusseihin” (vakuolit)
- Myös Intiassa on jalostettu suolankestävä riisi
  - kestävyysgeeni löytyi suistojen mangrovepuusta
  - ...ja siirrettiin Intian tärkeisiin riisilajikkeisiin
  - jalostettu riisi selviää vedessä, joka on 3 kertaa merivettä suolaisempaa

# Halla saa pitkän nenän – viljat jalostetaan kylmänkestäviksi

- Halla haaskaa 15 % maailman kasvintuotannosta
- Hallankestävyyttä parantava 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



# Egyptin kuivankestävä vehnä



...jaksaa odottaa sadetta  
ohran geenin ansiosta

# Kuivankestävyyden jalostaminen

## ❖ **Kuivankestävät kasvilajikkeet**

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

## ❖ **Vehnään siirrettiin kuivankestävyyttä parantava geeni ohrasta Egyptissä**

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

# ...varmistaa ruokaturvaa huonoissa oloissa

- ❖ **Veden saatavuutta voidaan tehostaa parantamalla juuriston rakennetta**
  - 10 000 villissä heinäkasvilajissa on tarjona monia tehokkaita ratkaisuja viljelykasvien avuksi
- ❖ **Kasvin ilmarakojen toimintaa ja muodostumista aletaan ymmärtää**
  - ...ja voidaan alkaa säädellä uudella jalostuksella
  - suomalaistutkijat mukana kasvitieteen läpimurrossa:  
<http://geenit.fi/HS290208Kivip.pdf>  
(Kangasjärvi ym.2008)  
[www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080227102848.htm](http://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



# Kiusatun kasvin kosto

---

- ◆ Kasvit käyvät kemiallista sotaan kasvinsyöjiä vastaan.
  - ◆ Vaarattomatkin kasvit voivat tuottaa myrkyllisiä aineita, kun laidunpaine kasvaa liian suureksi.
  - ◆ Kiusattuna tunturisara panostaa siementen sijasta myrkyntuotantoon:
    - Keväällä alkaa uusi kasvukausi, eikä jyrsijöilläkään ole puutetta ravinnosta
    - Silti sopulikanta romahtaa usein juuri keväällä, ja rinteillä lojuu satamäärin kuolleita sopuleita
  - ◆ Tutkimus paljasti, että kuolleiden sopulien haima oli jopa kolme kertaa tavallista suurempi.
- ☞ Sundsvallin luontofestivaaleilla 1999 palkittu ohjelma. *TV1* 29.5.2000. Suom. Tuija Kankus

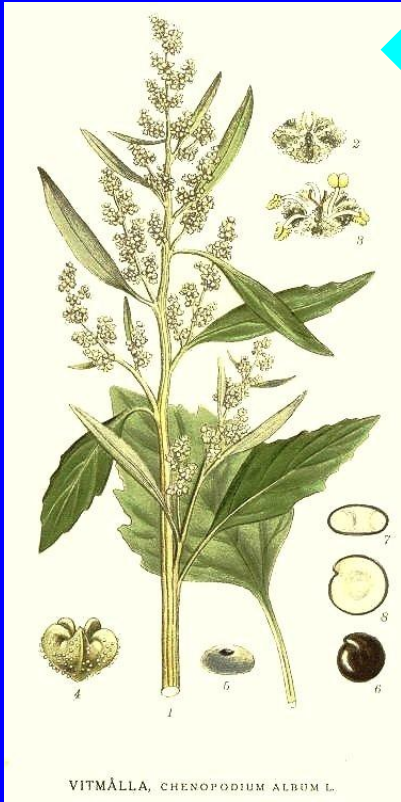
# Huonosti suojattu kesäkurpitsa



- Kurkkukasvit suojautuvat hyönteistuhoilta cucurbitasiinilla
  - kasvin oma, luontainen torjunta-aine
  - aiheuttaa kurkkuihin kitkeryyttä
- Luomuviljelty kesäkurpitsa vei 16 ihmistä sairaalahoitoon Uudessa Seelannissa v. 2002
  - paha kirjavuosi ⇒ kesäkurpitsat kärsivät ja tuottivat ”liikaa” torjunta-ainetta
  - cucurbitasiinia on enemmän vanhoissa, vapaapölytteisissä lajikkeissa
  - joita luomussa vielä käytetään (ja jopa lisätään omasta siemenestä)

☞ *Life Sciences Network* 10.5.2002

# Syö joka päivä matolääkettä vitamiinivihanneksena?



◆ Fyysikko, ”ekofeministi” Vandana Shiva vaatii Intian köyhiä syömään A-vitamiiniriisin sijasta ”sukupuuttoon ajettua bathuaa” (jauhosavikka). Rikkakasveja ei siksi saisi torjua pelloilta. (Shiva 14.2.2000)

◆ ”Jauhosavikka sisältää jopa 11% oksalaatteja. . . on aiheuttanut myrkytyksiä lampaille ja karjalla”. (Lopez ym. 1988, *Veterinaria Argentina* 5: 230,236)

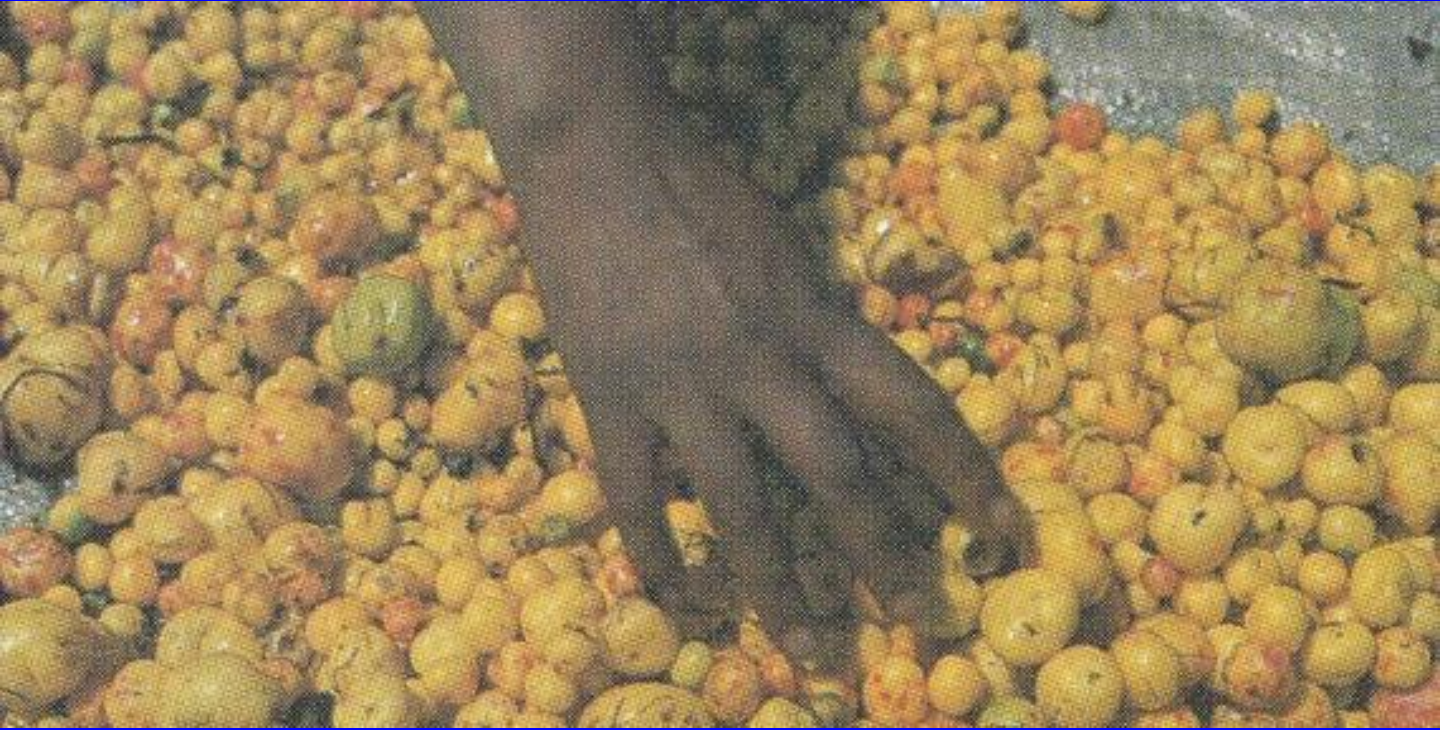
◆ ”Savikka sopii kaikenlaisten suolistoloisten häätämiseen.” (Paavo Airola 1988. *Voi hyvin. Luonnonlääketieteen käsikirja. Suomen Terveyskirjat Oy*)

# Kuluttaja nauttii torjunta-aineita

---

- ◆ Ravinnosta saamme kasvien omia, luontaisia torjunta-aineita *10 000 kertaa enemmän* kuin kasvinsuojeluaineiden jäämiä
    - puolet luontaisista torjunta-aineista aiheuttaa syöpää, mutaatioita ja epämuodostumia
  - ◆ Yhdessä kahvikupillisessa on syöpää aiheuttavia yhdisteitä yhtä paljon kuin amerikkalainen saa synteettisten torjunta-aineiden jäämiä vuodessa
- ☞ Bruce N. Ames ja Lois S. Gold (2000). *Mutation Research* 447:3-13  
<http://geenit.fi/amesgold.pdf>

# Andien pienviljelijöiden maataisperunat ovat terveydelle haitallisia



- ◆ Tuottavat aivan ”liikaa” myrkyllisiä glykoalkaloideja (mm. solaniinia)
  - peruna ei ole ”tarkoitettu” kasvinsyöjille
- ◆ Alkaloideja vähennetty 40–60% muuntamalla perunan omia geenejä (*AgBiot. Rep.12/99*)
- ◆ Pohjolankin perunoissa alkaloideja on usein yli 100 mg/kg
  - syinä lajikkeet, pitkä päivä sekä
  - viileä ja sateinen kasvukausi.
- Kuorittava: alkaloidit vähenevät puoleen



# Kassava – ruokaturvaa köyhille?



- ◆ Kassava (*Manihot esculenta*) tuotiin Afrikkaan Brasiliasta 500 vuotta sitten
- ◆ Se on 800 miljoonan ihmisen perusruokaa kehitysmaissa
  - Saharan eteläpuolisen Afrikan kasvatetuin ravintokasvi
- ◆ Viljelyominaisuudet sopivat köyhille kasvattajille
  - kassava on halpa viljeltävä
  - kasvi viihtyy huonoillakin mailla ja sietää erinomaisesti kuivuutta
  - satoa saadaan ympäri vuoden
  - lisätään pistokkaista; monet lajikkeet eivät kuki
- ◆ Mutta: kassava on altis virustaudille (CMD), joka heikentää sen satoa 30–40 % (Sayre ym. 2011)

# Perinteinen kassava on keuhkoa ruokaa

- ◆ Kassavan ravinto-ominaisuudet ovat kuitenkin huonot
  - juurakko on lähes silkkaa tärkkelystä
  - tappavan myrkyllistä (syaanivetyä synnyttävät glukosidit, esim. linamarin)
  - niukasti proteiinia, vitamiineja ja mineraaleja



Vitamin A Fortified Cassava

Traditional Cassava

Perinteisessä kassavassa on hyvin vähän A-vitamiinia, joten esimerkiksi Nigeriassa kuolee 39 000 lasta vuodessa A-vitamiinin puutokseen

- ◆ Prosessoitava 3–6 vrk ajan myrkyä vähentämiseksi. Ihminen ”manipuloi” kassavan ravinnokseen
  - esim. raastamalla, käymisen avulla, keittämällä, kuivaamalla
- ◆ Juurakot pilaantuvat 2–3 päivässä korjuun jälkeen
  - ...mikä usein estää niiden viemisen myytäväksi markkinoille
  - pilaantumishävikki haaskaa kaikkiaan 26% kokonaissadosta (Sayre ym. 2011)

# Annos biokassavaa voi turvata 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 jokaisella osa-alueella
  - rautaa imeytyy maasta kassavan juurakkoon neljä kertaa enemmän, ja myös sinkin imeytymistä on tehostettu
  - juurakoissa on nyt E-vitamiinia, ja ne sisältävät 15–30 kertaa enemmän A-vitamiinin esiastetta ( $\beta$ -karoteenia) kuin ennen
  - proteiinia syntyy neljä kertaa enemmän, kun mm. typen siirtymistä syaanivedyn aineenvaihdunnasta proteiineihin vauhditetaan
  - viruskestävyyttä on parannettu jalostamalla kasviin viruksen lisääntymistä haittaava proteiini sekä lyhyitä häirintä-rna-jaksoja
- Parannetut ominaisuudet yhdistetään samaan lajikkeeseen
  - ensimmäisessä vaiheessa yhdistyvät viruskestävyys sekä korkeammat proteiini-, beetakaroteeni- ja mineraalitasot
- Kenttäkokeet alkoivat Nigeriassa v. 2009 ja Keniassa v. 2010
- Geenimuuntelulla voidaan monesti saavuttaa jopa kymmeniä kertoja enemmän tuloksia kuin perinnejalostuksella
  - ...jossa eteneminen usein pysähtyy geenivaihtelun niukkuuteen

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

☞ [http://www.danforthcenter.org/wordpress/?page\\_id=188&catid=8&p1=INTERNATIONAL\\_PROGRAMS&p2=BCP](http://www.danforthcenter.org/wordpress/?page_id=188&catid=8&p1=INTERNATIONAL_PROGRAMS&p2=BCP)

# Puutostaudit ovat suuri tappaja kehitysmaissa

- ◆ Aikuisen kassava-annos (500g) antaa riittävästi kaloreita, mutta vain 30 % proteiinin, raudan ja sinkin sekä 10 % A-vitamiinin esiasteen ( $\beta$ -karoteeni) päivittäisestä vähimmäistarpeesta (MDR)
- ◆ Maailman 10 pääravintokasvista kassavalla on alhaisin proteiini:hiilihydraatti-suhde ([Sayre ym. 2011](#))

## Vuosikuolleisuus eräisiin **ravinnepuutoksiin**

(Lähde: Caulfield ym. 2006)

Alue ja sen väestömäärä [milj.]		A-vitamiini	Rauta	Sinkki
Itä-Aasia ja Tyynenmeren saaret	1 823	11 000	18 000	15 000
Itä-Eurooppa ja Keski-Aasia	475	0	3 000	4 000
Latin.-Amerikka ja Karibia	524	6 000	10 000	15 000
Lähi-itä ja Pohjois-Afrikka	301	70 000	10 000	94 000
Etelä-Aasia	1 378	157 000	66 000	252 000
Saharan eteläpuolinen Afrikka	674	383 000	21 000	400 000
Korkean tulotason maat	957	0	6 000	0
<b>Yhteensä</b>	<b>6 132</b>	<b>627 000</b>	<b>134 000</b>	<b>780 000</b>

# Juurakot on jo jalostettu säilymään 3–4 viikkoa

- ◆ Kassavan juurakot pilaantuvat 2–3 päivässä korjuusta
- ◆ Pilaantumisen laukaisevat reaktiiviset happiyhdisteet (ROS; mm. superoksidi ja vetyperoksidi), joita juurakossa ”purskahtaa” (oxidative burst) jo 15 minuuttia vioittumisen (esim. sadonkorjuun) jälkeen
- ◆ Juurakossa syanidi lamauttaa sytokromi C oksidaasi –entsyymin toiminnan, joka estäisi ROS-yhdisteiden kertymisen
- ◆ Kun kassavaan tuotiin lituruohosta toisen, syanidista riippumattoman oksidaasin geeni, niin juurakoiden säilyvyys parani 3 viikkoon

Gm-kassavalinjoja  
21 vrk korjuusta.  
Parhaiden kunto on  
vielä moitteeton.  
Perinteinen lajike  
on jo mätä (vas.).



- ◆ Toinen keino: Kun geenimuuntelulla kehitettiin A-vitamiinikassava, niin samalla juurakoiden säilyvyys parani 4 viikkoon

# Syanidin vähentäminen juurakossa

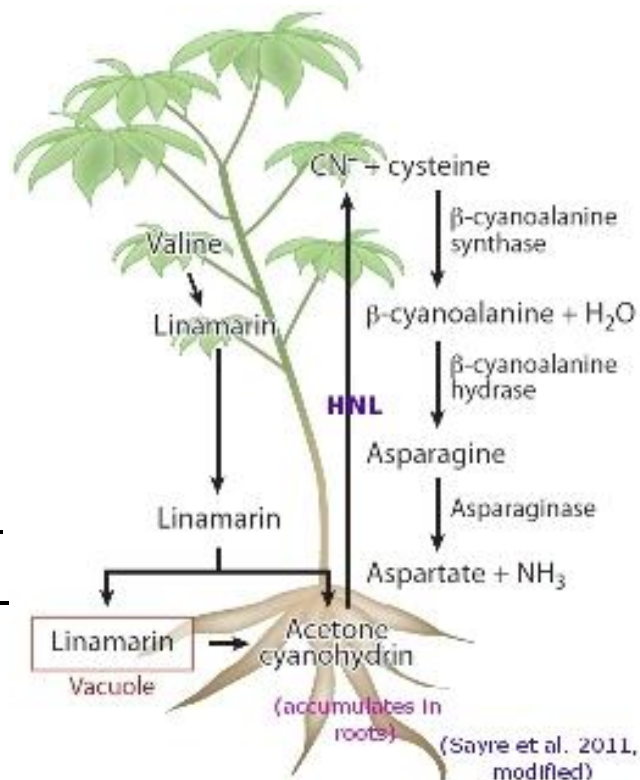
- ◆ Geenimuuntelulla syanidin vähentäminen voidaan kohdentaa syötävään kasvinosaan (juurakko)
  - ...jolloin kasvin muut osat säilyttävät tärkeän puolustuskykynsä (vrt. syötävät puuvillansiemenet)
- ◆ Alla on esitelty kaksi tapaa, kuinka vaikuttamalla juurakon aineenvaihduntaan proteiinipitoisuuden parantamiseksi saatiin samalla aikaan merkittäviä vähennyksiä juurakon syanogeenisten aineiden pitoisuudessa
  - lehdissä pitoisuudet säilyivät ennallaan
- [Sayre ym. 2011](#)

# Kassavan juurakoiden proteiinipitoisuutta parannetaan 1.

- ◆ Kassavan juurakoissa on proteiinia vain 1–2%
- ◆ Pitoisuuden parantamiseen kokeiltiin useita eri muuntelustrategioita ([Sayre ym. 2011](#))

## 1. Juurakossa resursseja ohjattiin syanogeenisistä aineista (linamariini) proteiinisynteesiin

- ◆ Linamariini syntyy lehdissä, mistä sitä siirtyy juurakoon. Osa varastoituu siellä solujen vakuoleihin, osa taas työstetään raaka-aineeksi aminohapposynteesiin.
- ◆ Juurakkoon kertyy asetoni-syanohydriiniä, joka ruoansulatuksessa hajoaa itsestään ja vapauttaa syanidia

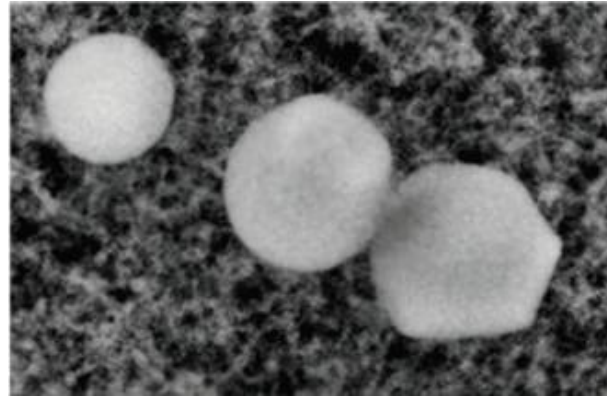


- ◆ Juurakkospesifisen patatiini-promoottorin (perunasta) avulla kassavan hydroxynitriililyaasi-entsyymi (HNL) saatettiin toimimaan myös juurakossa
- ◆ ...jolloin juurakon proteiinipitoisuus kolminkertaistui
  - samalla linamariinipitoisuus laski 80 % ja lisäksi syanidi poistuu prosessoinnissa 50 kertaa nopeammin

# Kassavan juurakoiden proteiinipitoisuutta parannetaan 2.

- ◆ **2. Juurakossa ilmentymään jalostettiin aminohappokoostumukseltaan laadukkaita fuusioproteiineja (esim. zeoliini) ([Sayre ym. 2011](#))**

Proteiinit on suunniteltu kertymään proteiinijyväsiksi solun endoplasmaattiseen kalvostoon. Kuvassa kassavan juurakon soluista eristettyjä zeoliinijyväsiä (läpimitta 3–7 µm).



- ◆ Zeoliini on pavun faseoliinin ja maissin gamma-zeiinin fuusioproteiini. Fuusiogeeni on varustettu patatiini-promoottorilla, joka kokeiden mukaan saageenin ilmentymään tehokkaasti juurakon soluissa.
- ◆ Zeoliinia tuottavan kassavan juurakossa proteiinipitoisuus kohosi nelinkertaiseksi
  - samalla linamariinipitoisuus laski 55 %
- ◆ Eräillä pavun proteiineilla on taipumus aiheuttaa tavallista helpommin allergioita. Uusissa kassavan kehityslinjoissa pavun faseoliini on siksi korvattu muilla proteiineilla testattavissa fuusioproteiineissa.