

# Geenimuuntelu – Pelloilta globaaliin maatalouspolitiikkaan

(yksityiskohtaisemmat kalvot)

Tieteen Päivät 9.1.2009

Jussi Tammisola

kasvinjalostuksen dosentti

[www.geenit.fi](http://www.geenit.fi)



# Kasvinjalostus – ihmisen ohjaamaa evoluutiota

---

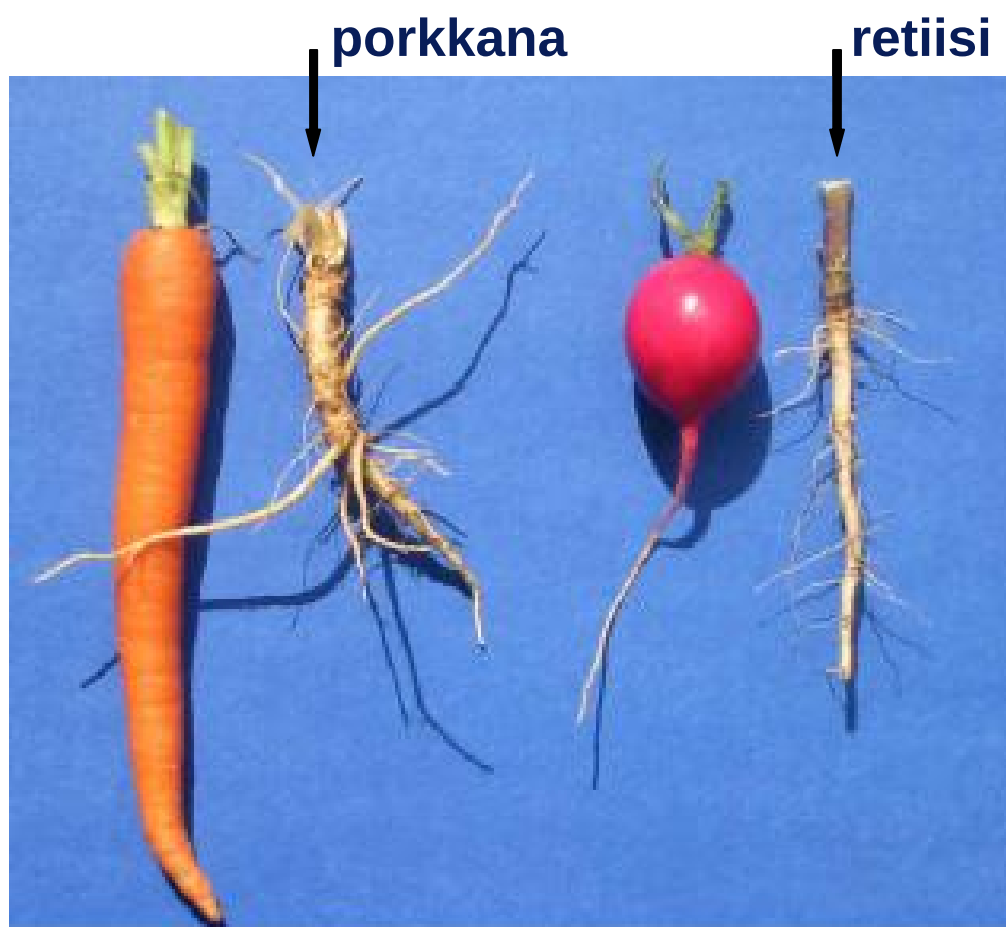
- ✓ Kasvi ei aio tulla syödyksi
  - torjuu tuholaisia myrkyin ja piikein
- ✓ Jyvä on tainta varten, ei ihmistä
- ✗ Koostumus meille väärä
  - maissi ei ole sian ruokaa
  - ...eikä ihmisen
- ✓ Viljelykasvit vallattiin
  - muutettiin meille paremmiksi
  - 11 000 vuoden työllä
- ✓ Valmis urakka?
  - ”lajikkeita on jo ihan tarpeeksi”...?  
(luulee moni ns. aktivisti)

## *Salaatin geenit*



- u Kun nautimme 500 g annoksen sekasalaattia
  - mussutamme yhteensä 4 miljardia solua
  - ...joista jokaisessa on 25 000 geeniä
- u Aterioimme siis 100 000 000 000 000 (eli 100 000 miljardia) ”vierasta” geeniä\*
  - tässä tapauksessa kasvigeenejä
  - joista ”yllättävän” suuri joukko on melko lähellä omiamme
- F Brennecke (2001) *EMBO*
- \* Emme tavallisesti syö ihmistä, paitsi imeväisinä...

**Sellaisena kuin luonto sen tarkoitti...?**



**Tällaisena sen halusimme:**



Huipputeknologian tuotetta  
vai luonnon mukaista?



# Etkö sinäkään syö **sinistä maissia?**

---

- u ...vaikka se saattaisi olla terveellisempää ravintoa
  - sisältää antosyaaneja
- u Voihan epäilyksiin olla aihetta:
- u Onko turvallisuudesta takeita, sillä
  - Intiaanien sinimaissit ovat menneiden vuosisatojen huipputeknologiaa
  - ...ajalta, jolloin elämän kemiasta ei ollut hajuakaan
  - ...eikä etenkin luonnon aineiden kyvystä aiheuttaa syöpää, epämuodostumia ja perimävikoja
  - Aiheuttavatko aineet mutaatioita? Sitä on voitu testata vasta puoli vuosisataa (Amesin testi)

F [www.geenit.fi/amesgold.pdf](http://www.geenit.fi/amesgold.pdf)

# Penseytemme syyt ovat kuitenkin raadollisemmat

---

- u Olemme evoluution heittopusseja
  - useimmilla meistä on menneisyyden painolastina ruokapelkurin geenit
- u Vanhentuneet geenit simputtavat pelkäämään aiheetta uusia ruokia
  - jotka voisivat nykyisin auttaa meitä elämään terveempinä ja pidempään:
- F [www.ktl.fi/portal/suomi/esittely/ajankohtaista?bid=1652](http://www.ktl.fi/portal/suomi/esittely/ajankohtaista?bid=1652)
- u Muinaisina huonoina aikoina ruoka saattoi olla kuolemaksi
  - kannatti usein antaa rohkelikkojen kokeilla ensin
  - jos onni kuitenkin suosi rohkeaa, hän valtasi uuden resurssin ja täytti maan geeneillään
- u "Vanukas koetellaan syömällä"  
(brittien sananlasku)

# Hopi-intiaanien sininen maissi

---

- u ...on trendikästä Amerikan snobipiireissä
- u ...mutta satoa se tuottaa puolet tai viidesosan tavallisesta
  - kasvusto lakoontuu helposti
  - sato pitää korjata käsipelillä
- u Lajike on myös hyvin herkkä maissikoisan tuhoille, joten
  - tähkissä on helpommin hometta
  - ...ja nauttijan terveys on uhattuna
- F [www.geenit.fi/MaisHome.htm](http://www.geenit.fi/MaisHome.htm)
- u Vanhat siniset maissit voitaisiin pelastaa terveysravinnoksi jalostamalla ne
  - koisankestäviksi, ja
  - kohtuullisen satoisiksi

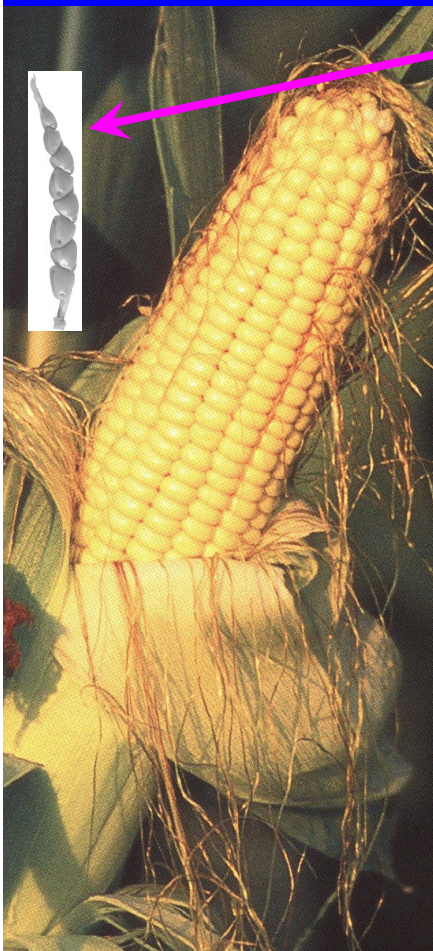




**Teosintti – maissin esiäiti  
(ei elättäisi ihmiskuntaa)**

# Maissi - viisinkertainen "mutanttihirviö"

- | Perinteinen viljelykasvi, jota luonto ei voisi tehdä
- | Kehitetty villistä teosintista



- | Emikukintoon suuria muutoksia
    - 4 kromosomialuetta
  - | Jyvien varisemattomuus
    - viljoilla 1 tai 2 geenin määräämä ominaisuus
  - | Vähintään 5 radikaalia mutaatiota
    - ja lukemattomia pienempiä
- | Onko "luonnonmukainen lajike" käsitekumma?

## 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 vihdoin osataan...)
- ✓ Tarvittavaa geneettistä vaihtelua ei useimmiten ole riittävästi kasvilajin jalostusaineistoissa
- ✓ Perinnejalostus on normaalisti myös (aivan) liian hidasta, epätarkkaa, likaista ja tehotonta ([www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf](http://www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf))
- ∅ ”Perinteiset” jalostuskeinot eivät yleensä riitä
  - vaan tarvitaan avuksi uutta geenitietoa ja -taitoa: geenimuuntelua ja emoja (eläviä muuntogeenisiä organismeja)



# Sienitautien evoluutio vie Chiquitan pian historian tunkiolle?



- kuten se hävitti  
"hymyilevän banaanin"  
puoli vuosisataa sitten

F [www.geenit.fi/ALba9203.pdf](http://www.geenit.fi/ALba9203.pdf)

...vai pelastaako  
kaupan banaanit  
"eläimen kikkare"

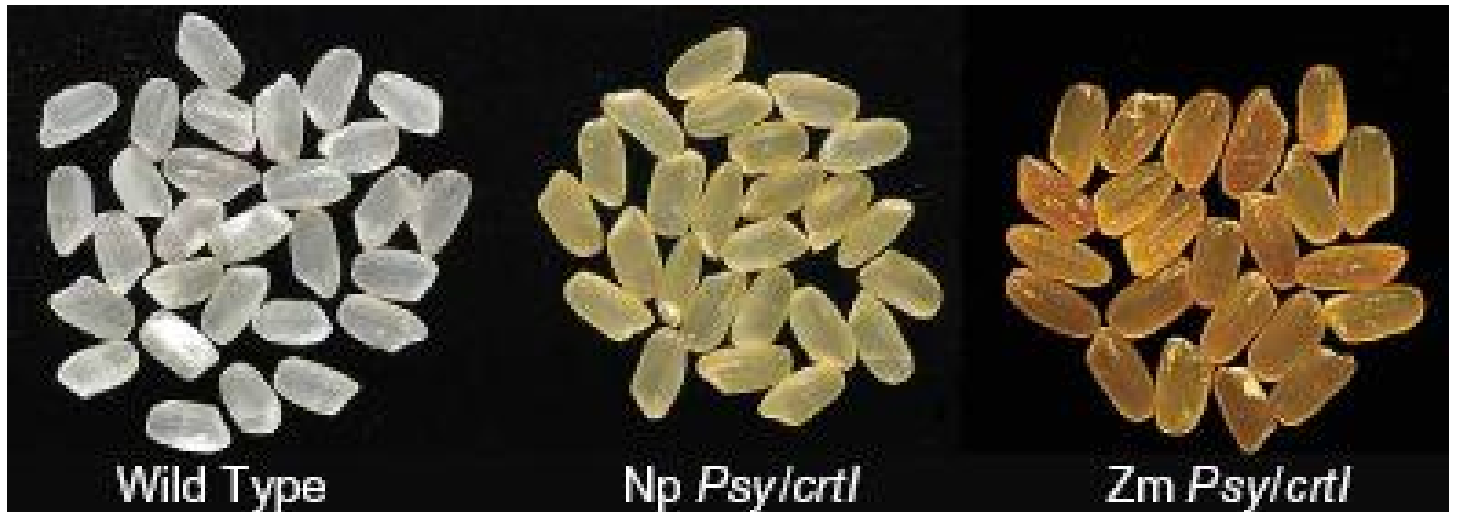


- u ...eli villi luonnon banaani?
- u Ei sitä syö erkkikään, mutta
- u ...taudinkestävyyden geenejä siitä saisi
  - toki vain geenitekniikalla...

# Kuinka jalostettiin ”kultainen riisi”?

- u EU ja Rockefeller-säätiö rahoittivat "kultaisen riisin" jalostamista
  - avainasemassa sveitsiläiset yliopistotutkijat (prof. Ingo Potrykus)
- u Jyvät sisältävät  $\beta$ -karoteenia
  - tuottaa elimistössä A-vitamiinia
  - 2 geeniä narsissista
- u Jalostetut kasvilinjat lahjoitettiin Maailman riisintutkimuskeskukselle (IRRI, Filippiineillä)
  - lajikkeiden jalostamiseksi kehitysmaille
- u Geenivastustajat kampittavat näidenkin humanitääristen lajikkeiden kehittämistä...

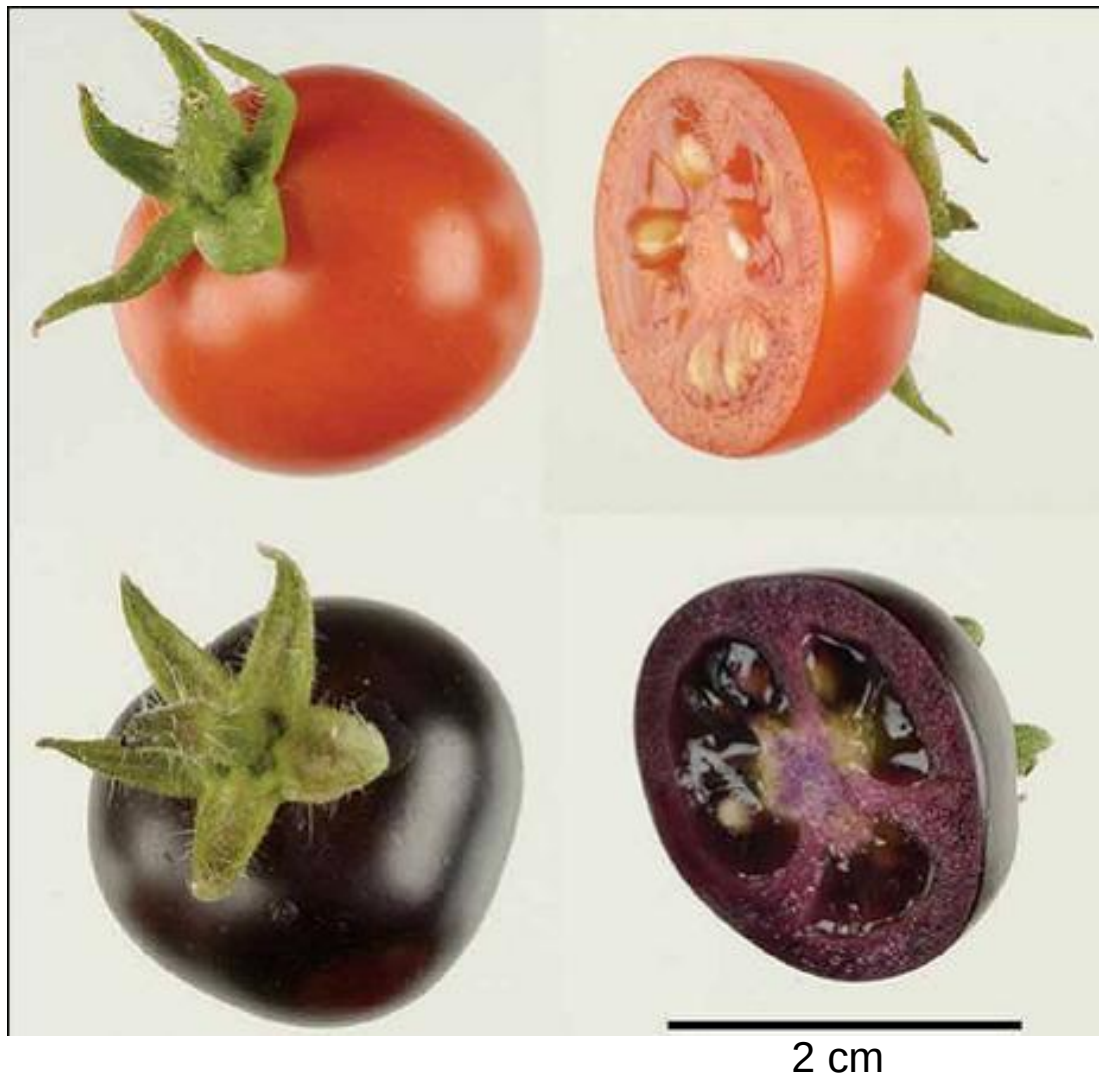
# Miljardien ravintoon tarpeeksi A-vitamiinia?



**Tavallinen  
riisi**

**Aiempi ja uusin  
kultainen riisi**

- u Greenpeace väittää, että kultaista riisiä ”täytyisi syödä 9 tai 14 kg joka päivä” jotta saisi mitään apua A-vitamiinin puutteeseen
  - tämä on tavanomaista ”geenipötyä”
- u 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
- F [www.goldenrice.org/Content3-Why/why1\\_vad.html](http://www.goldenrice.org/Content3-Why/why1_vad.html)
- F [www.gmo-compass.org/eng/news/stories/289.docu.html](http://www.gmo-compass.org/eng/news/stories/289.docu.html)
- u Uusimmissa kultaisen riisin linjoissa on 20 kertaa enemmän beetakaroteenia kuin varhaisemmissa
- F Paine ym. (2005), *Nature Biotechnology* 23: 482-487
- F [www.goldenrice.org/PDFs/fs GR IRRI 2005.pdf](http://www.goldenrice.org/PDFs/fs_GR_IRRI_2005.pdf)



**Antosyaanitomaatti torjuu syöpää:**  
– syöpähiiret elivät neljäsosan  
pidempään (*Nature Biotechnology* 2008)



# Tomaattiin terveellisyyttä

---

- u Tomaattiin jalostettiin kaksi leijonankidan geeniä
  - transkriptiofaktoreita (säätelevät geenitoimintaa)
- Ø Hedelmiin kertyi antosyaaneja yhtä paljon kuin mustikoihin
- u Sinitomaattia saaneet syöpähiiret elivät neljänneksen kauemmin kuin punatomaatilla ruokitut
- u ...vaikka myös punatomaatti ehkäisee syöpää
  - punaisella väriaineellaan (lykopeeni)
- F [www.nature.com/nbt/journal/v26/n11/abs/nbt.1506.html](http://www.nature.com/nbt/journal/v26/n11/abs/nbt.1506.html)

## ...ja makua

---

- u Toiseen tomaattilajikkeeseen jalostettiin yksi basilikan geeni
  - geraniolsyntaasi
  - geeni ohjattiin toimimaan hedelmän kypsyessä
- Ø Hedelmiin kertyi tavallista enemmän monoterpeenejä
- u ...ja makutesteissä ihmiset pitivät näitä tomaatteja maukkaampina kuin perinteisiä tomaatteja (*Nature Biotechnology* 2007)
- F [www.nature.com/nbt/journal/v25/n8/abs/nbt1312.html](http://www.nature.com/nbt/journal/v25/n8/abs/nbt1312.html)

## 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 sammaleet 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)
  - soijahehtaarilta niitä saadaan yhtä paljon kuin 30 000 lohesta
- Sydänystävällisten omega3-kasviöljyjen odotetaan tulevan markkinoille vuonna 2011 Amerikassa

# Juurikuoriainen kaataa maissipellot

---





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

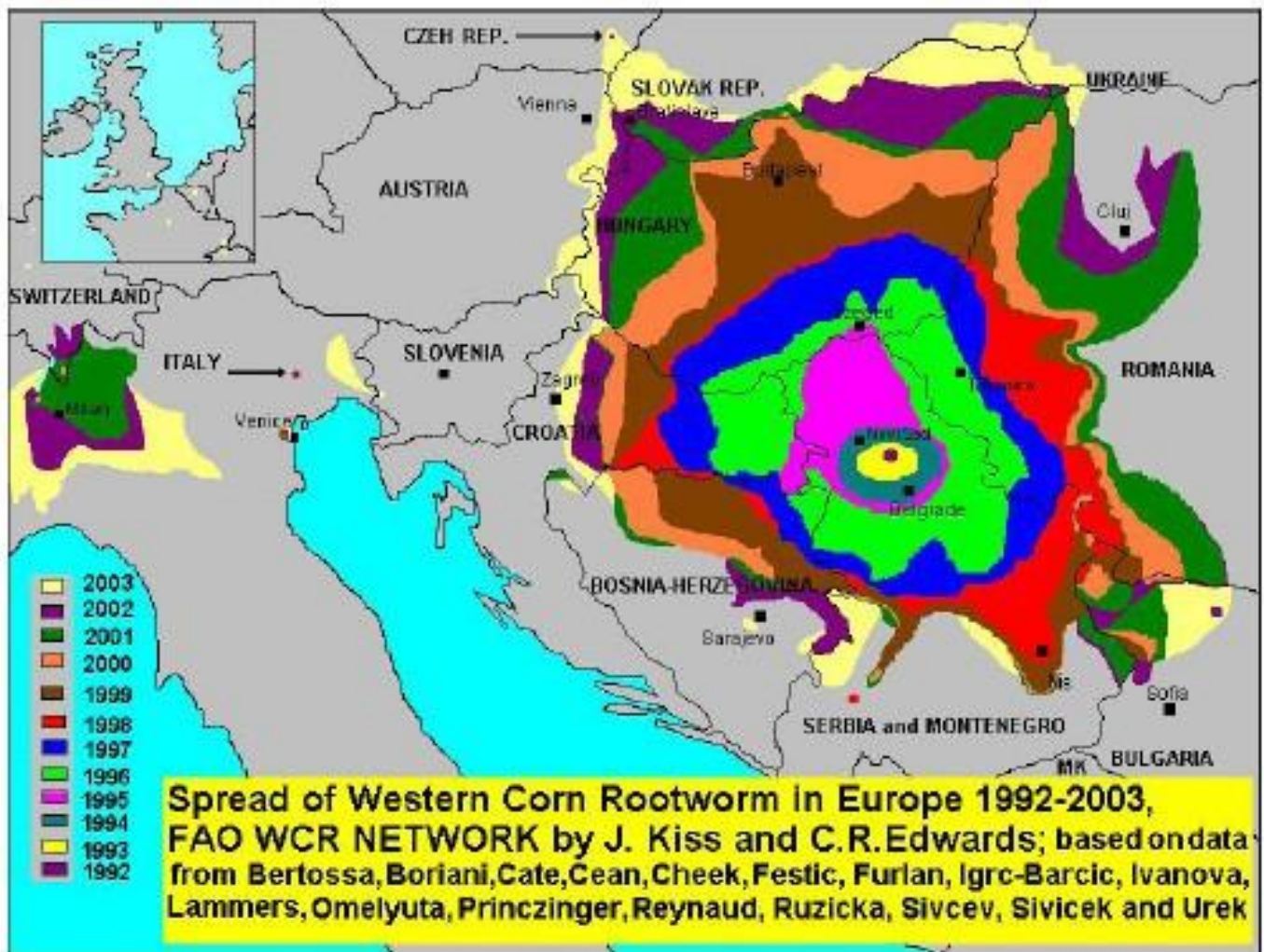


- u Maata kastellaan myrkyillä:
    - lavea vaikutus
    - huono torjunta
  - u Kuoriaisspesifinen Bt-proteiini ilmennetään juuristossa
    - tarkka torjuntatulos
- F AgBiot.Rep. 9/99





# Tuhoisa vieraslaji leviää Euroopassa



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



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.agbioworld.org> Data produced by the University of Milan, Italy



# Euroopan maissikoisa on paha tuholainen

---

- u 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)
- u Koisankestävässä maississa homemyrkkyä on jopa sata kertaa vähemmän:  
[www.geenit.fi/MaisHome.htm](http://www.geenit.fi/MaisHome.htm)



**home nauttii  
myös  
gerberasta...**

Kuvat: Teemu Teeri ©



# Homehtuva gerbera kehitettiin

---

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

Tuotteissa piilevät infektiot  
voivat altistaa ihmisiä  
vahingollisille aineille



J. Tammisola©

– home on valloittanut omenan sydämen  
omenakääriäisen käytävien kautta



# Luonnonvarojen kestävä käyttö?

---

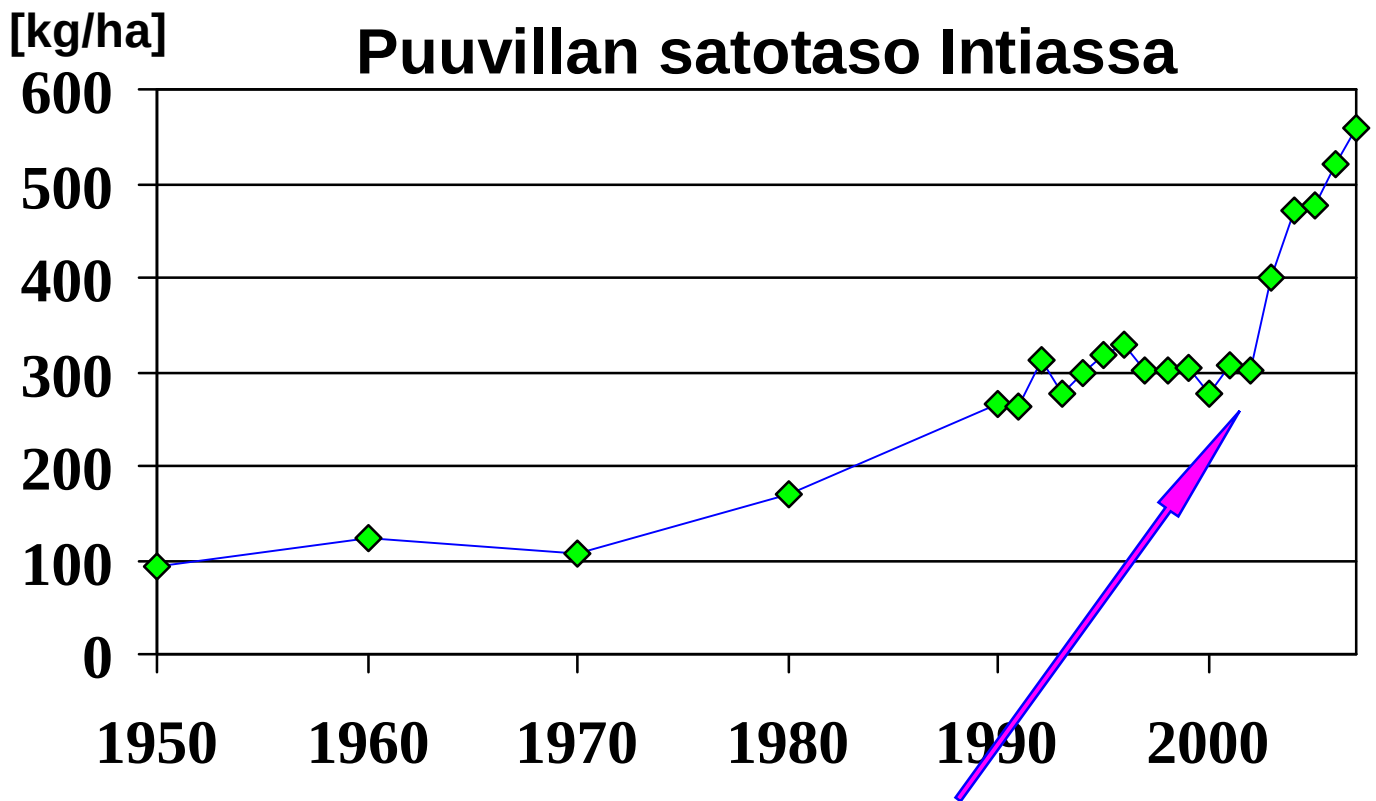
- u Kuinka luonnolta valtaamaamme elintilaa tulisi käyttää
  - ...jotta ihmiskunta saisi riittävästi tarvitsemiaan hyödykkeitä (food, feed, fuel & fiber)
  - ...ilman, että viimeisetkin luonnon ekosysteemit on raivattava ihmisen käyttöön?
- u Avainsana on (eko)tehokkuus:
  - tuotammeko siis jo vallatuilta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



**...puuvillaa  
vai tuholaisen toukkia?**



# Yökkösenkestävä puuvilla pelasti Intian puuvillateollisuuden



- v Bt-puuvillan viljely alkoi v. 2002
  - nyt yökköskestäviä lajikkeita kasvatetaan noin 80 prosentilla Intian puuvilla-alasta
  - satotaso on noussut 80 % kuudessa vuodessa
- v Gm-puuvilla vähentää itsemurhia Intiassa
  - osoittavat tutkimukset [www.geenit.fi/VahItsem.htm](http://www.geenit.fi/VahItsem.htm)
  - vähentää katoriskiä
  - parantaa satoa, tuloja ja työsuojelua
- v Kuivankestäviksi jalostetut gm-puuvillat ovat jo viljelykokeissa

# Ruostesieni syö vehnät (taas)



# Neljä rauhan vuosikymmentä – uusi ruokasota syttymässä

---

- u Ruosteenkestävät vehnälajikkeet
  - toivat "vihreän kumouksen" vehnän viljelyyn 60-luvulla
- u Ruostesienen evoluutio iskee vihdoinkin takaisin
- u Viljaruosteen (*Puccinia graminis*) uusi rotu Ug99
  - leviää nyt Afrikasta Aasian vehnäalueille ja muualle maailmaan
  - ...ja vehnäsadot romahtavat kaikkialla?
- u Maailman tuhannet vehnälajikkeet on jalostettava nopeasti uudelleen
  - kestäviksi tuhoisaa sienirotua vastaan
  - ...jos kunnollisia kestävyysgeenejä löytyy

F [www.geenit.fi/VehRuos.htm](http://www.geenit.fi/VehRuos.htm)



# 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

## 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

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

- Ominaisuutta ei voida jalostaa viljelyperunaan perinnekonstein, sillä esteenä ovat
  - lajien risteytymisest (eri polyploidiatasot)
  - vuosikymmenien aikamenekki
  - myrkkyyvaara: kylkiäisgeenit voisivat tuoda villiperunoista myrkkijä viljelyperunaan

## Rutonkestävyys parantaa laatua ja hyödyttää ympäristöä

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

## 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
  - ...geenitekniikan avulla
- Burbank-peruna voidaan jalostaa jälkikäteen rutonkestäväksi
  - ...kuten myös Euroopan suosikkilajikkeet



# Prioneille kyytiä?

On jo jalostettu:

– hulluton lehmä

F [www.geenit.fi/HullutonKarja.htm](http://www.geenit.fi/HullutonKarja.htm)

– kutkaton lammas:



# Insuliinia kasveilla kaikille edullisesti

---



- u Esiaste tuotetaan safflor-kasvissa
- u Lääkehyväksyntä 2010
- F [www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f\\_id=1219168](http://www.tekniikkatalous.fi/doc.te?f_id=1219168)

# Evoluutionsa alussa kasvit sietivät suolaa



J. Tammisola©

- viljelykasveihin suolankestävyyttä merikilokista (*Suaeda salsa*)

# Suolamaanviljelyn aika –murtovesi ja suolavesi käyttöön maataloudessa?

- v **Makeaa vettä on 1 prosentti**
  - ...samoin murtovettä, mutta suolavettä on 98 prosenttia
- v **Puolet makean veden helpoista varannoista on jo käytössä**
- v **Kasvit olivat alun perin halofyyttejä eli sopeutuneita korkeaan suolapitoisuuteen**
- v **Nyt vain prosentti maakasvilajeista pystyy kasvamaan ja lisääntymään suolaisilla mailla**
  - eivätkä niistäkään kuin muutamat kestä meriveden suolapitoisuutta
- v **Moni suolansietäjä voisi periaatteessa soveltua viljeltäväksi suolamaanviljelyssä**
  - ...jossa maan suolapitoisuus olisi puolet vähäisempää kuin nykyinen meriveden suolapitoisuus
- v **Matka villikasvista viljelykasviin vain on yleensä pitkä ja veisi paljon aikaa**
  - hyvin monia viljely- ja sato-ominaisuuksia on parannettava (vrt. mesimarja: [www.geenit.fi/MesimSTTKasik080405.pdf](http://www.geenit.fi/MesimSTTKasik080405.pdf))
  - perinteisillä viljelykasveilla siihen kului vuosisatoja tai –tuhansia
- v **Tärkeistä viljelykasveista voidaan nopeammin jalostaa suolankestäviä lajikkeita geenimuuntelulla**
- v **Meriveden käyttö kasvintuotantoon on vasta lapsenkengissä**
  - ...mutta merivedessä olisi runsaasti kasvien tarvitsemia mikro- ja makroravinteita
  - ...eikä siitä myöskään tulisi pulaa
  - myös murtovettä on paljon (ja se olisi monille kasveille helpompaa)
- v **Suolankestävien kasvien kasvatus voitaisiin helposti kytkeä vesiviljelyyn**
  - ...eli vesieläinten kuten kalojen ja äyriäisten kasvatukseen
- F Rozema J, Flowers T (2008). Crops for a salinized World. *Science* 322: 478-480



## Suolankestävät lajikkeet puhdistavat maaperää

- § 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
- Hallankestävyyden geeni eristettiin Etelämanteren lauhasta (*Deschampsia antarctica*)
  - heinälaji kestää hyvin kylmää ( – 30°C)
  - geeni on tehokkaampi kuin viljojen oma geenimuoto



- Geenin tuottama proteiini estää jääkiteiden kasvua soluissa
  - eivätkä jääkiteet pääse rikkomaan soluja
- Tärkeitä ominaisuuksia luonnonkasvien monimuotoisuudesta
  - ...eli 10 000 heinäkasvilajin geenivarannosta
  - voidaan siirtää puhtaina viljoihin geenitekniikalla
  - ”kalamansikka” ui vain legendoissa (aktivistisivuilla)
- Lajirajojen ylittäminen on kasvimaailman arkipäivää niin luonnon evoluutiossa kuin perinteisessä kasvinjalostuksessa
  - esim. leipävehnä on kolmen kasvilajin (kahden eri kasvisuvun) välinen risteytymä
  - ...ja sen perimässä on lisäksi kromosominpaloja sekä ohraista että rukiista

# Kuivankestävä vehnä



...jaksaa odottaa sadetta  
ohran geenin ansiosta

# Kuivankestävyyden jalostaminen

## v **Kuivankestävät kasvilajikkeet**

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

## v **Vehnään siirrettiin kuivankestävyyden geeni ohrasta Egyptissä**

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

# ...varmistaa ruokaturvaa huonoissa oloissa

- v **Veden saatavuutta voidaan tehostaa parantamalla juuriston rakennetta**
  - 10 000 villissä heinäkasvilajissa on tarjona monia tehokkaita ratkaisuja viljelykasvien avuksi
- v **Kasvin ilmarakojen toimintaa ja muodostumista aletaan ymmärtää**
  - ...ja voidaan alkaa säädellä uudella jalostuksella
  - suomalaistutkijat mukana kasvitieteen läpimurrossa:  
[www.geenit.fi/HS290208Kivip.pdf](http://www.geenit.fi/HS290208Kivip.pdf) (Kangasjärvi ym.2008)  
[www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080227102848.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080227102848.htm)
- v **Kuivankestäviä lajikkeita testataan jo monissa jalostusohjelmissa myös esimerkiksi vehnällä, puuvillalla ja rapsilla**
  - toistaiseksi on saavutettu 10–40 prosentin satoparannuksia kuivuuden oloissa
  - lajikkeita odotetaan viljelyyn 4–5 vuoden kuluessa
- v **Riisistä yritetään siirtyä vesipihimpään perunaan**
  - ...mutta tropiikissa tuholaiset, perunarutto ja virustaudit vaivaavat
  - ...paljon pahemmin kuin Pohjolan perukoilla



# Kiusatun kasvin kosto

---

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

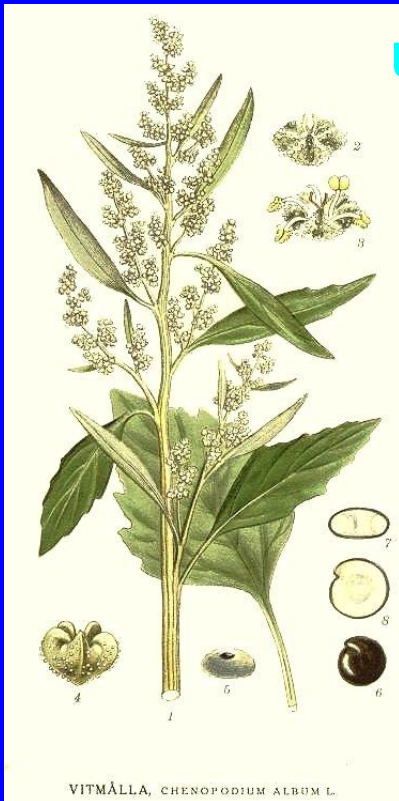


# Huonosti suojattu kesäkurpitsa



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

# Syö joka päivä matolääkettä vitamiinivihanneksena?



u 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)

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

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

# Kuluttaja nauttii torjunta-aineita

---

- u Ravinnosta saamme kasvien omia, luontaisia torjunta-aineita *10 000 kertaa enemmän* kuin kasvinsuojeluaineiden jäämiä
  - puolet luontaisista torjunta-aineista aiheuttaa syöpää, mutaatioita ja epämuodostumia
- u Yhdessä kahvikupillisessa on syöpää aiheuttavia yhdisteitä yhtä paljon kuin amerikkalainen saa synteettisten torjunta-aineiden jäämiä vuodessa

F Bruce N. Ames ja Lois S. Gold (2000). *Mutation Research* 447:3-13.



## Syötävät puuvillansiemenet – proteiinia miljoonille kehitysmaissa

- Proteiinin puute vahingoittaa kehitysmaissa
- Puuvillakasvi on myrkyllinen
  - siemenissä olisi runsaasti (22 %) hyvin korkealaatuista proteiinia
  - proteiini (10 miljardia kg/v) riittäisi kohentamaan 500 miljoonan ihmisen terveyttä
- Puuvillan siemenet on nyt geenimuuntelun avulla jalostettu syötäväiksi
- ...mutta muut kasvinosat säilyttivät tärkeän puolustuskykynsä
  - mahdotonta perinnejalostuksella
- Menetelmänä rna-häirintä, joka palkittiin lääketieteen nobelilla 2006

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

# Ihminen ’manipuloi’ kassavan ravinnokseen...

---



...poistamalla kasvin suojakseen  
tuottamia myrkkyjä (syaanivetyä  
synnyttävät glukosidit)

- raastamalla, käymisen avulla, keittämällä  
ja kuivaamalla, sekä kasvinjalostuksella

F CGIAR Newsletter Oct.96



# Perinteinen kassava on kehnoa ruokaa



- u Kassava on 800 miljoonan ihmisen perusruokaa kehitysmaissa
- u Huonot ravinto-ominaisuudet
  - melkein pelkästään tärkkelystä
  - tappavan myrkyllistä (syaanivety)
  - vähän proteiinia, vitamiineja ja mineraaleja
- u Prosessoitava 3–6 vrk ajan myrkyn vähentämiseksi
- u Pilaantuu kahdessa päivässä korjuun jälkeen
- u Virustauti vie 30–50 % sadosta

# Annos biokassavaa turvaa päivän ravitsemuksen

- v **Bio Cassava Plus:** laajassa jalostusprojektissa Afrikassa korjataan kassavan puutteita
  - vetää Ohion valtionyliopisto, rahoittaa Gatesin säätiö
- Tavoitteena on, että uusissa kassavalajikkeissa olisi niin paljon vitamiineja, mineraaleja ja proteiinia, että jo yksi ateria turvaa päivän ravitsemuksen
  - ruoka on jo niin kallista, että moni saa vain yhden aterian päivässä
- Geenimuuntelun avulla on edistytty joka osa-alueella
  - rautaa ja sinkkiä imeytyy maasta kassavan juurakkoon enemmän
  - Juurakoissa on nyt E-vitamiinia, ja ne sisältävät 30 kertaa enemmän A-vitamiinin esiastetta kuin ennen
  - proteiinia syntyy enemmän, kun typen siirtymistä syaanivedyn aineenvaihdunnasta proteiineihin vauhditetaan
  - viruskestävyyttä on parannettu jalostamalla kasviin viruksen lisääntymistä haittaava proteiini sekä lyhyitä häirintä-rna-jaksoja
- Parannetut ominaisuudet yhdistetään samaan lajikkeeseen...
  - ensimmäisessä vaiheessa yhdistyvät todennäköisesti viruskestävyys sekä korkeammat proteiini-, beetakaroteeni- ja mineraalitasot
- ...jonka kenttäkokeet alkavat Nigeriassa ja Keniassa vuonna 2009
- 30 kertaa enemmän tulosta kuin perinnejalostuksella
  - ...jossa eteneminen usein pysähtyy geenivaihtelun niukkuuteen

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

# Andien pienviljelijöiden maatiaisperunat ovat terveydelle haitallisia



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

# Kasvinalostuksen suuri linja

---

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



*”Lauri poika metsässä häärii, etsiskelee puita  
väärin” (A. Kivi)*

## Valintajalostus (11 000 vuotta)

---

- u ...oli luonteeltaan keräilytaloutta
  - etsittiin valmiita ”luonnon oikkuja”
  - lisättiin sopivimpia yksilöitä muita enemmän
  - Ø sukupolvi sukupolvelta kasviaineisto muuttui hiljalleen toivottuun suuntaan
- u Tehokasta uudella viljelykasvilla alkuvaiheessa
  - niin kauan kuin kasviaineistossa on vielä runsaasti ominaisuuden perinnöllistä vaihtelua
  - valinnan myötä vaihtelu kapenee
  - Ø ...joten menetelmän teho heikkenee ja etenemisen mahdollisuudet hupenevat
- u Tehotonta useimmilla tärkeillä viljelykasveilla nykyisin
  - myös puilla, joiden elinkierto vie vuosikymmeniä (vrt. eukalyptus)



# Risteytysjalostus (300 vuotta)

---

- u ...on luonteeltaan arpapeliä
  - etsitään genetiikkaan järjestystä sekoittamalla kasvin perimä ensin sikin sokin
- u Jotta kasviin saataisiin pari hyvää geeniä, siihen tuodaan tuhansia tuntemattomia perintötekijöitä
  - ...toisesta kasvista risteyttämällä
- u ...toivoen, että haitalliset tulokasgeenit saadaan sitten siivotuksi pois suotuisien sattumien avulla
  - Ø ...ja onnistuttaisiin lottoamaan jälkeläisten joukosta hyötygeeneillä parannettu versio kasvista
- u Tuli mahdolliseksi vasta, kun kasvien sukupuolisuus löydettiin (1600-luvun lopulla)
  - ...ja pääsi tehokkaaseen käyttöön vasta Mendelin perinnöllisyyslakien myötä

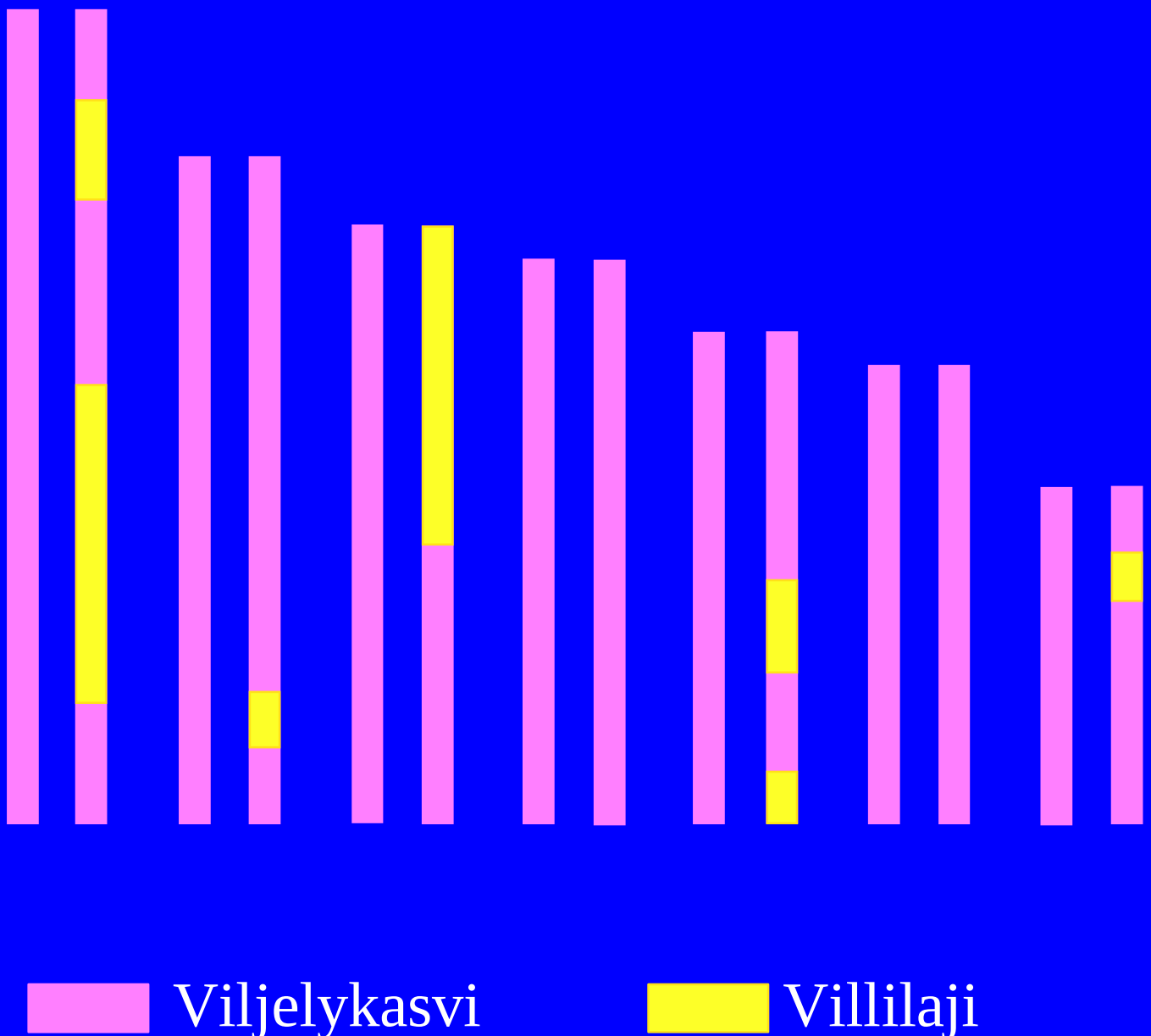
# Risteytysjalostus

---

- u **Ristisiittoisilla lajeilla:** sisyfos-puuhaa, sillä
  - lajikkeet ovat vahvasti heterotsygoottisia
  - ei-toivottuja kylkiäisgeenejä ei voida poistaa lukuisillakaan jatkoristeytyksillä kuin osaksi
  - ...vaan niitä voi jäädä kasviin jäljelle satoja
  - ...sillä ”laimeneminen” on vain tilastollista
- u Usein lajike on yksi, kasvullisesti lisättävä yksilö (perunat, omenapuut, marjapensaat)
  - ...jonka ainutkertainen geeniyhdistelmä menetetään risteytettäessä
  - ...eikä sitä voida millään keinolla koota takaisin
- u **Itsesiittoisilla lajeilla:** toimii paremmin, sillä
  - lajikkeet ovat puhtaita linjoja (homotsygoottisia)
- u Risteytyksen jälkeen alkuperäinen lajike saadaan pääosin palautetuksi, hyötygeenillä terästettynä
  - ...tekemällä risteytysjälkeläisillä 10–20 sukupolven ajan takaisinristeytyksiä kyseiseen lajikkeeseen päin
  - ...varmistuen aina, että risteytyksellä noudettu hyötygeeni säilyy mukana jatkoon valittavissa kasviyksilöissä

# Geenin nouto risteyttämällä villilajista ja puhdistaminen takaisinristeytyksillä

*Risteytysjälkeläisen kromosomit ovat mosaiikki risteytysvanhempien kromosomien osista*



# ”Maissin” typpitalous paremmaksi kasvisukujen välisillä risteytyksillä?



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

# Mutaatiojalostus (70 vuotta)

---

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



# Kasvinjalostuksen lipsahduksia

---

- q Perinteinen kasvinjalostus nojasi ”yrityksen ja erehdyksen” menetelmään vuosituhansien ajan
  - ”black box”
  - siihen nähden vähän möhläyksiä
  - (valitut) viljelykasvit ovat melko turvallista ravintoa
- q Muutamassa perunalajikkeessa on ollut liikaa alkaloidoja
- q Yksi luomuviljelyyn jalostettu selleri tuotti liikaa psoraleenia
  - sarjakukkaiskasvit torjuvat hyönteistuhoja psoraleenilla
  - ...jota on paljon varsinkin jättiputkissa
- q ...ja vaurioitti sadonkorjaajien käsiä
- Ø Nämä lajikkeet vedettiin viljelystä
- L Monissa viljelykasveissa on haitallisia yhdisteitä vielä ”liikaa” jäljellä

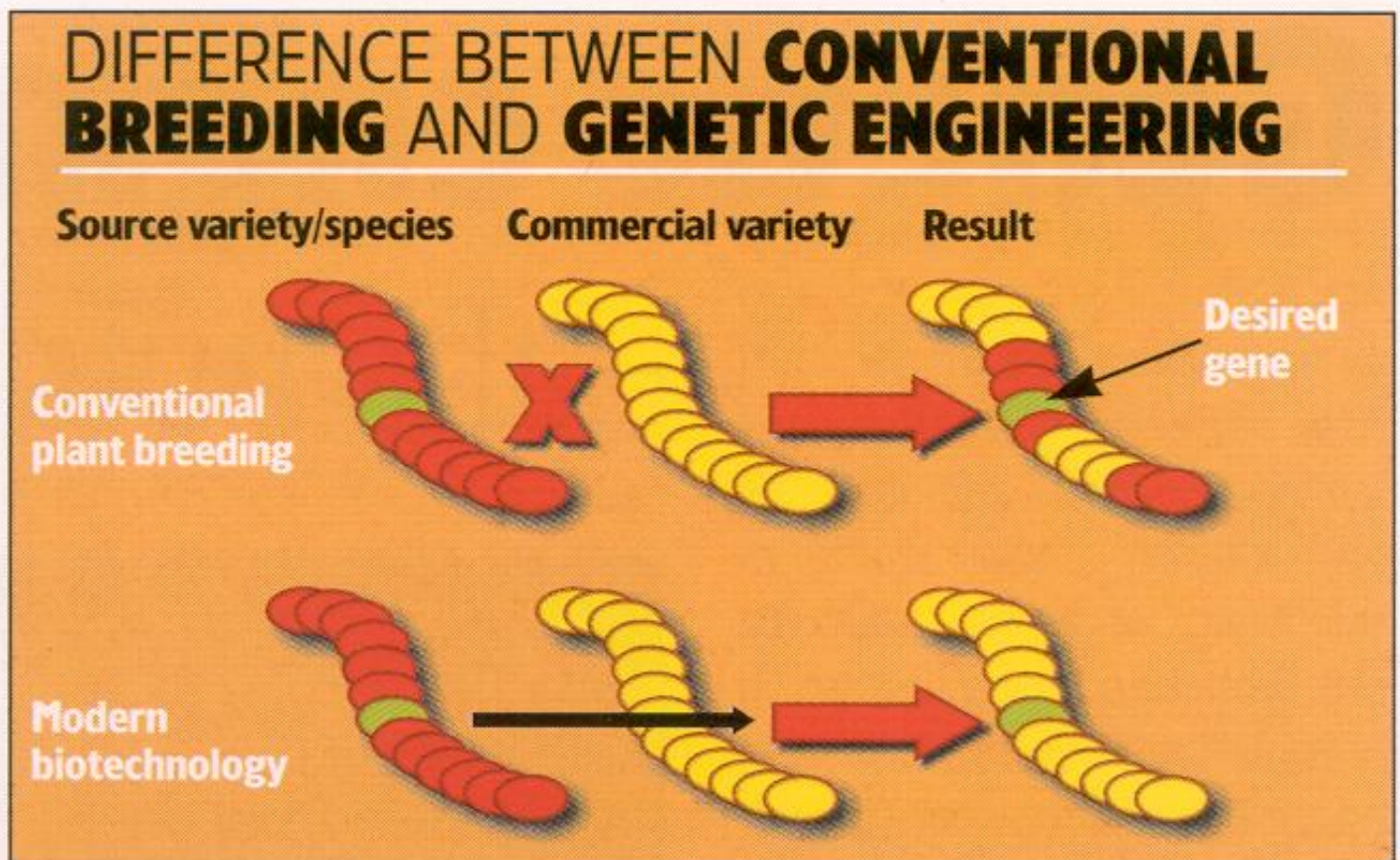
# Kasvien jalostaminen geenimuuntelulla (25 vuotta)

---

- u Geenitekniikka on perintöaineeseen kohdistuvaa molekyylibiologiaa
  - joukko menetelmiä, joiden avulla eristetään, analysoidaan, muokataan ja siirretään geenejä molekyylitasolla
- u Geenimuuntelussa viedään tunnettu hyötygeeni kasviin puhtaana
  - ilman kylkiäisgeenejä
- u Kiinnittymispaikka kasvin kromosomissa vaikuttaa usein jossain mitassa geenin toimintaan
  - monissa menetelmissä kiinnittymispaikkaa ei voida vielä määrätä ennakolta
  - ...vaan se selvitetään tuolloin jälkikäteen
- u Hyvän tuloksen varmistamiseksi jalostetaan siksi tavallisesti joitakin kymmeniä muuntogeenisiä koelinjoja
  - ...joista onnistuneimmat valitaan sitten jatkoon
- u Huom! Perinteisessä jalostuksessa ei geenin sijaintia tai lukumäärää vaadita selvitettäväksi
  - ...vaikka ne voivat muuttua tavallisten mutaatioiden seurauksena (deleetio, insertio, duplikaatio, inversio, translokaatio)
- u Perimän muokkaaminen uuden geenitiedon ja -taidon avulla on puhtaampaa ja hallitumpaa kuin "likainen" vanha jalostus:

[www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf](http://www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf)

# Geeni siirtyy puhtaana uudessa jalostuksessa



## Sokeriruo'on sokeripitoisuus kaksinkertaistui yhdellä jalostusaskelella

v Geenimuuntelulla saatiin ruo'on sokeripitoisuus kaksinkertaistumaan

- kasvi tuottaa normaalin määrän ruokosokeria, mutta lisäksi saman verran isomaltuloosia
- ...joka on terveysvaikutteinen hiilihydraatti
- ...mutta voidaan myös käyttää alkoholiksi

v Viljelykokeet käynnissä Australiassa

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

F [www.blackwell-synergy.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-7652.2006.00224.x?](http://www.blackwell-synergy.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-7652.2006.00224.x?)

*Plant Biotechnol. J.* 5: 109-117

## Sokeriruoko ryhtyy pilkkomaan selluloosansa sokereiksi itse?

- v Sokeriruoko tuottaa yli 200 tonnia biomassaa hehtaarilta
- v Kasvi jalostetaan pilkkomaan selluloosansa sokereiksi omin neuvoin
  - ilman kalliita esikäsittelyjä ja ostoentsyymejä
  - jolloin ruo'on puristusjätteestä voidaan valmistaa selluloosaetanolia kohtuulliseen hintaan
- v Sokeriruokoon tuodaan selluloosaa pilkkovan entsyymin geeni
  - kasvi valmistaa hintavan entsyymin ilmaiseksi
  - elävän solun sisältä annettuna entsyymi vaikuttaa solunseiniin paljon tehokkaammin, joten vältetään kalliilta esikäsittelyiltä
  - geeni käynnistetään vasta neljä päivää ennen sadonkorjuuta, jolloin entsyymi ei haittaa kasvin kasvua
- v Lajiketta kehittää Australian ja Brasilian yhteinen tutkimusliittoutuma

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



# Tuoksuvan riisin salaisuus selvisi Thaimaan biologeille

---

- u Thaitutkijat selvittivät aromin genetiikan viljoilla
- u Tavallisilla viljakasvien lajikkeilla tuoksuttomuuden geeni on toiminnassa
  - ...kun taas aromiriiseissä (basmati ja jasmiini) tämä geeni on sammunut mutaation tuloksena
- u Löydetty geeni puhdistettiin ja patentoitiin, jotta oikeudet sovellusten markkinointiin pysyisivät kehitysmaassa
- u 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?

---

- u Geenimuuntelun avulla (nobel-palkitulla rna-häirinnällä) aromivehnä voidaan sitä vastoin jalostaa yhdellä askelella
  - kaikki 6 tuoksuttomuuden geeniä voidaan sammuttaa kohdistetusti yhdellä kertaa
- u Todelliseksi haasteeksi muodostuu saada aromivehnälle EU-lupa!
- u 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
- F Bradbury ym. (2005). *Plant Biotech. J.* 3:363-370
- F [www.geenit.fi/PohSa130306.pdf](http://www.geenit.fi/PohSa130306.pdf)

# Virus vie juurekset Afrikan köyhiltä

---

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

F Robertson ym. 2001

# Riisille poltetaudin kestävyys villiheinästä

---

- u Riisin polte (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*), bacterial leaf blight
- u ...aiheuttaa 250 milj. euron vahingot Aasiassa vuosittain
- u Tärkeisiin riisilajikkeisiin tuotiin kestävyysgeeni *Xa21* villiriisistä *Oryza longistaminata*
  - ei onnistu risteyttämällä
  - geeni siirrettiin puhtaana (geenipyssyllä)
  - Ø ...jolloin hyvät lajikkeet säästyivät
- v Lajikkeiden taudinkestävyys on jopa parempi kuin villiriisillä
  - ...sillä kestävyysgeeni siirrettiin useana kopiona
- F Zhang ym.(1998), *Mol. Breeding* 4: 551-558

# ”Köyhän miehen peruna”



u Bataatti (*Ipomoea batatas*) on kehitysmaiden viidenneksi tärkein viljelykasvi.

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

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



# Proteiinibataatti parantaisi kehitysmaiden kansanterveyttä

---

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

F Egnin ym. (1998), *ABIC98*, Saskatchewan

# Alumiinin torjuvia lajikkeita kehitetään

---



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

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

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

# Kasvien fosforinottoa voidaan tehostaa

---

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

# Pitääkö sian haista ja saastuttaa?



✓ Fytaasia sylkeensä erittävä ympäristösika pystyy hyödyntämään kasvin fosforin

Ø ...joten sonta ei saastuta vesistöjä

F [www.geenit.fi/Ympsika.htm](http://www.geenit.fi/Ympsika.htm)

# Muuntogeeniset kasvit eivät ole uusia lajeja

---

- u Viljelykasvi, johon on lisätty yksi geeni, ei ole uusi 'laji' (kuten geenivastustajat väittävät)
  - minkään biologisen lajikäsitteen mukaan
  - ...vaan vain vähäinen 'muunnos'
- u ...sillä se lisääntyy esteittä kyseisen kasvilajin piirissä
- u Lajikkeiden väliset erot ovat paljon pienempiä kuin eri lajien
  - tuotu geeni on noin miljoonasosa kasvisolun dna:sta
  - loppuosa perimästä säilyy entisellään

F [www.geenit.fi/kjalym27.pdf](http://www.geenit.fi/kjalym27.pdf)

# Ihmiskunnan elättäjät ovat luonnon luusereita?

---



- v Englannissa 10 vuoden ekologisissa kokeissa kaikki muuntogeeniset lajikkeet (rapsi, maissi, sokerijuurikas, peruna)
  - osoittautuivat luonnossa heikommiksi
  - hävisivät sieltä nopeammin kuin perinteisesti jalostetut lajikkeet

F Crawley ym. (2001). *Nature* 409: 682-683
- v Kestävyyssominaisuudet voisivat kuitenkin pelastaa uhanalaisia kasveja sukupuutolta

F [www.geenit.fi/AgBioV060109.pdf](http://www.geenit.fi/AgBioV060109.pdf)

F [www.geenit.fi/kjalym27.pdf](http://www.geenit.fi/kjalym27.pdf)



# Tervetuloa, uudet kukat!

---

- u Tulokaskasvit ovat paljon mainettaan parempia
- u Suuri enemmistö tänne asettuvista uusista kasvilajeista on harmittomia
  - vain rikastavat Suomen köyhää kasvistoa
- u Haitalliset, kuten polttava jättiputki
  - on kasviharrastajan helppo huomata
  - kannattaa torjua tehokkaalla rikkakasvihävitteellä (esim. glyfosaatti)
- u Täällä Pohjan perukoilla me olemme kaikki jääkauden jälkeisiä tulokkaita...
- F [www.geenit.fi/Hbl211105blommor.pdf](http://www.geenit.fi/Hbl211105blommor.pdf)
- F [www.geenit.fi/Hbl211205blommor.pdf](http://www.geenit.fi/Hbl211205blommor.pdf)

# Skontlanti iloitsee maitohorsmasta

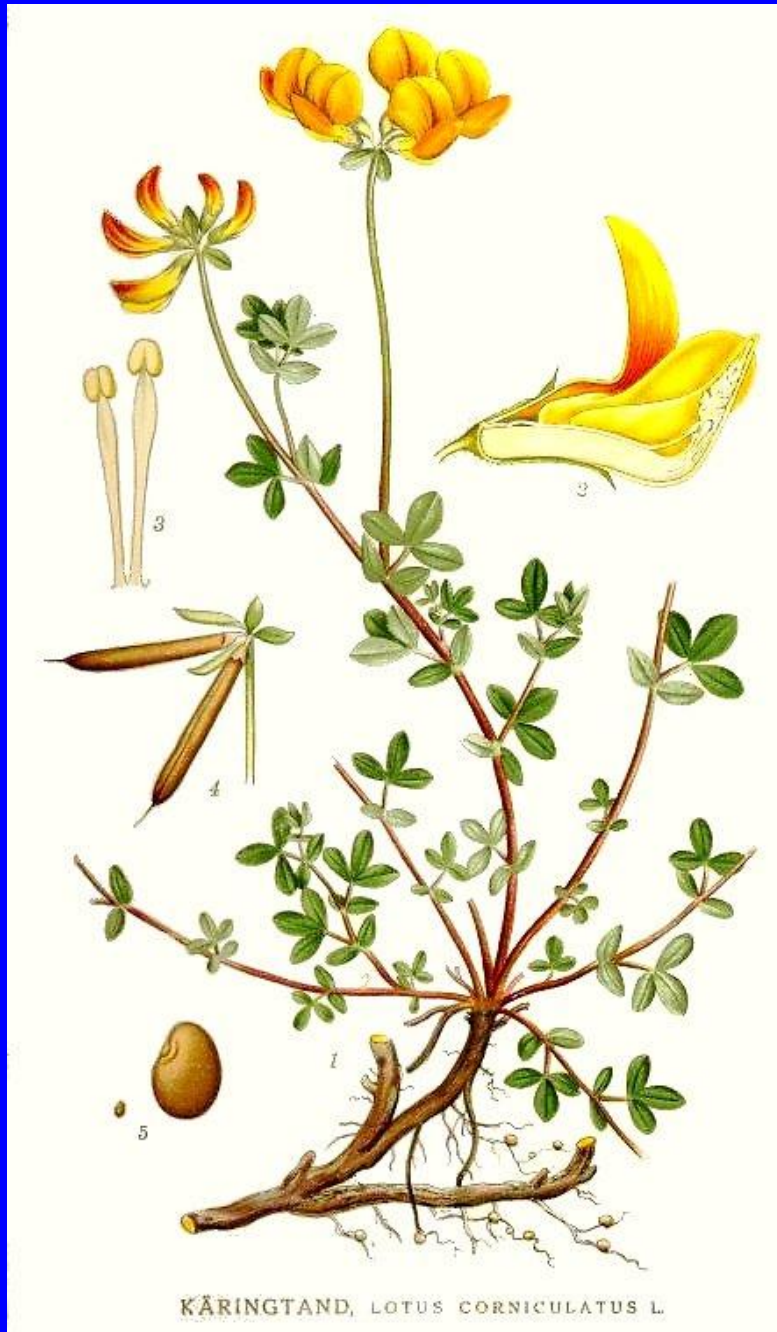
---



u willowherb, fireweed

u 1985 se oli levinnyt ”äskettäin”

# Noidanhammas on purjelaivojen tuoma rantaniittyjen koristus



...mukava vieraslaji aiemmilta  
vuosisadoilta

F [www.geenit.fi/kjalym27.pdf](http://www.geenit.fi/kjalym27.pdf)

# Kasveilla lajirajojen ylittyminen on arkipäivää

---

- u ...toisin kuin eläimillä
- u Vehnä on kolmen eri heinälajin risteytymä
- u ...ja ruisvehnässä yhdistyvät neljän kasvilajin (kolmen eri kasvisuvun) geenistöt
- u Puutarhamansikka on eurooppalaisen ja amerikkalaisen mansikkalajin risteytymä
  - oktoploidi: kromosomiluku on kahdeksankertainen
- u Rapsi puolestaan on kahden eri kaalikasvilajin risteytymä
  - josta saatiin terveellinen vasta 60-luvulla rikkomalla yksi luonnon geeni

# Paimen- ja keltamatara risteytyvät helposti

---

*Galium mollugo*

risteytymiä

*G. verum*



- rento, valkokukkainen
- rehevillä niityillä

- pysty, tuoksuva
- kuivilla kedoilla

✓ Ihmistoiminta toi lajit toistensa  
läheisyyteen



# Karukka on karviaisen ja mustaherukan risteytymä

---



J.Tammisola ©

- u Perinteisesti jalostuksessa saadaan vapaasti yhdistää lajikkeeseen kahden eri kasvilajin kaikki tuhannet geenit
- u Jos taas kasviin tuodaan tuosta geenipuurosta puhdistettuna vain yksi, tarkasti tunnettu geeni
  - nykyaikaisten, hallitumpien menetelmien avulla
- u ...laukeavat lainsäädännön raskaat ja kalliit vaatimukset

F [www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf](http://www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf)



# 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.

\* Euroopan Kasvinjalostustutkijoiden Liitto

Ihmisarvoinen työ  
= turvallinen työ

Turvallisuus ja  
terveys työssä



✓ Onko tämä →

Ø ...”viljelyn runoutta”?

– Mae-Wan Ho:  
”koneet veivät  
runouden  
maanviljelystä”

Ø ...(bio)tekniikkaa vastustavan  
järjestön logo (RAFI, nyk. ETC Group)?

Ø ...vai terveyttä turmeleva työasento,  
jonka Kalifornian maatyöläiset ovat  
saaneet kielletyksi?\*



*Kuka kyykyttää... ?*

# Työsuojelua...

---

\*Vastaus kompakysymykseen:

- ✓ Ei toki näin romanttisesti ole selkää turmeltu Kaliforniassa enää nykypäivänä
- ✓ Kielletyksi saatiin näet rikkaruohojen käsinharaus
  - luomuisäntien äänekkäästä vastarinnasta huolimatta
- ✓ Sitä sentään tehtiin laitteella ja selkää hieman vähemmän rikkovassa työasennossa...

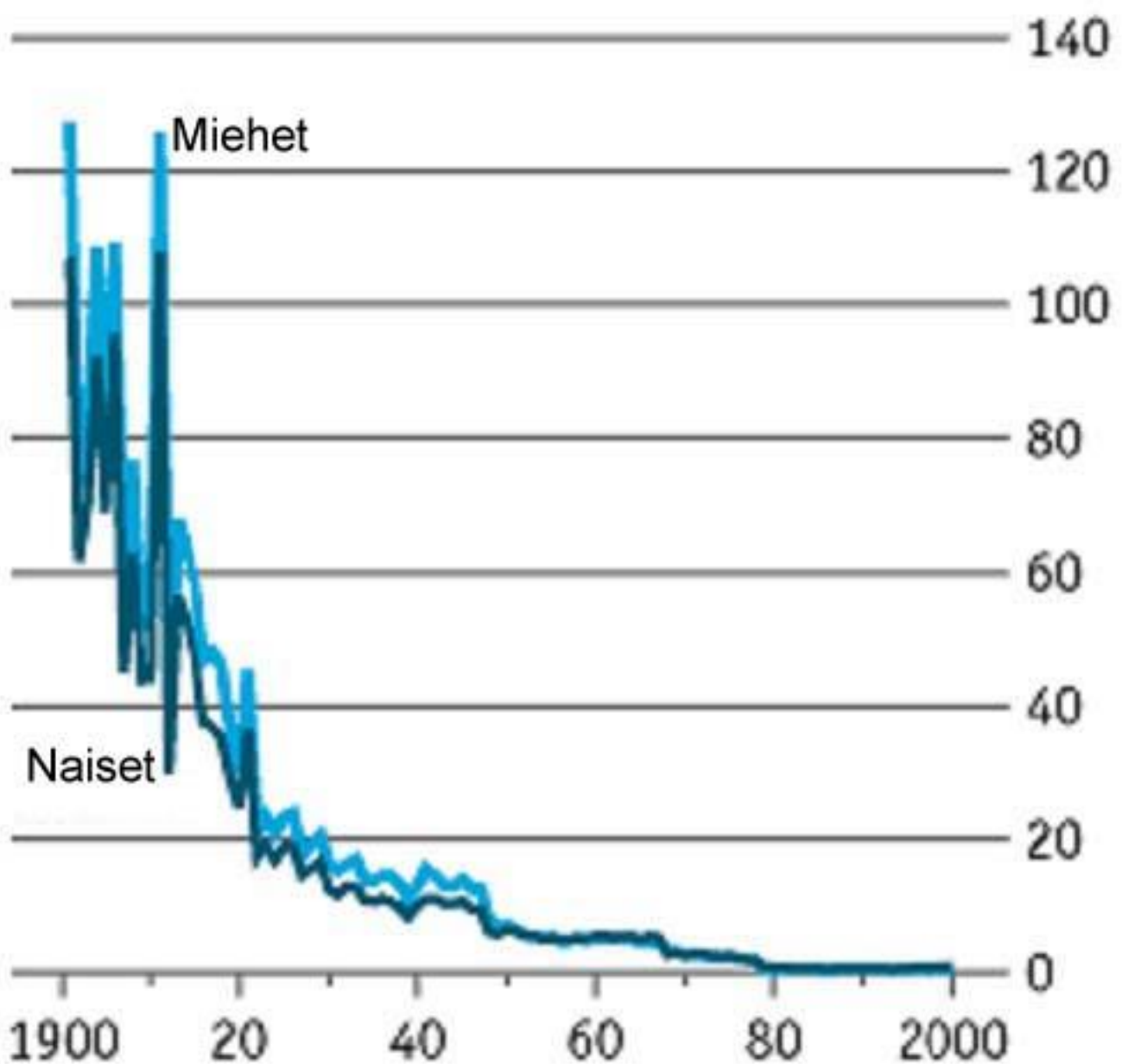
# Vanhat hyvät kalevalaiset ajat?

- u Lönnrot määrättiin 1831 runonkeruumatkoiltaan Helsinkiin
  - 2% helsinkiläisistä kuoli koleraan...
  - ...ja sitä juhlittiin lääketieteen voittona
- u Lääkäri Elias Lönnrotin
  - esikoispoika Elias kuoli pienenä aivokalvontulehdukseen
  - vanhin tytär Maria ystävineen kuoli nuorena keuhkotautiin
  - tytär Ida toipui keuhkotaudista
  - tytär Elina kuoli 18-vuotiaana kurkkumätään
  - nuorin tytär Tekla kuoli keuhkotautiin 18-vuotiaana
  - kasvattipoika Kustaa rakastui palvelustyttöön ja teki itsemurhan
  - vaimo Maria menetti kuulonsa ja kuoli keuhkotautiin 45-vuotiaana

F [www.finlit.fi/elias/el\\_ties2.htm](http://www.finlit.fi/elias/el_ties2.htm)

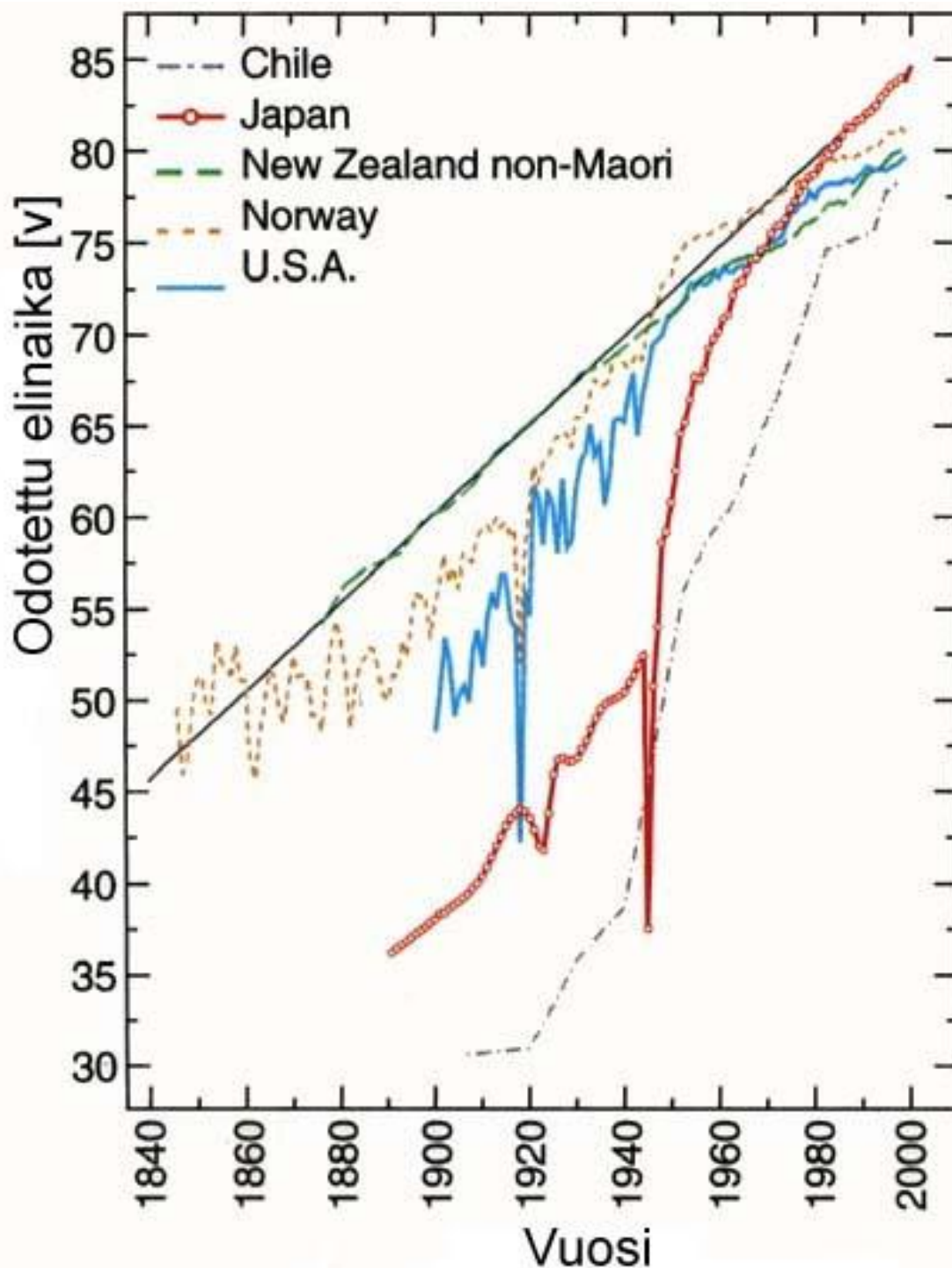
# Ennen ruoka tappoi

Kuolleisuus suolistoinfektioihin  
per 100,000 population, England & Wales



Lähde: Office for National Statistics

## Eliniän nopea kehitys — ennen olisit jo vainaa...



ö Tiede: kunnon lääkkeet, parempi ruoka ja asuminen...



## Keskustelu viljapöörteistä jatkuu...



(East Field 1996)