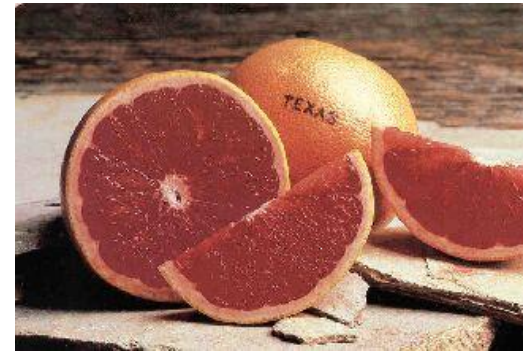


GMO-ABC

Markku Keinänen
Itä-Suomen yliopisto

Kasvinjalostuksen menetelmiä

- Risteytys ja valinta
- Mutaatiojalostus
- Lajien väliset risteytykset



Verigreippi 'Rio Red'

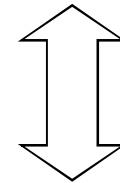
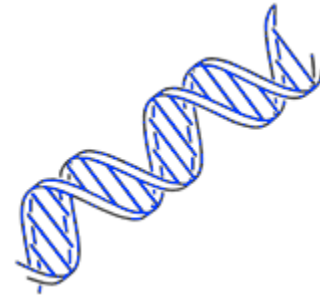


Ruisvehnä

Geenitekniikka kasvinjalostuksessa

Molekyyli-genetiikka

Geenien eristäminen ja niiden toiminnan selvittäminen



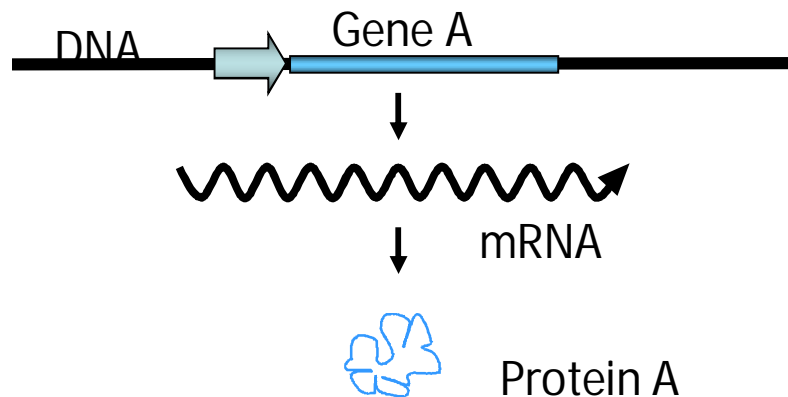
Geeninsiirtomenetelmät

Solukkoviljelytekniikoiden soveltaminen



Geeninsiirrolla avulla kasveihin voidaan lisätä uusia ominaisuuksia

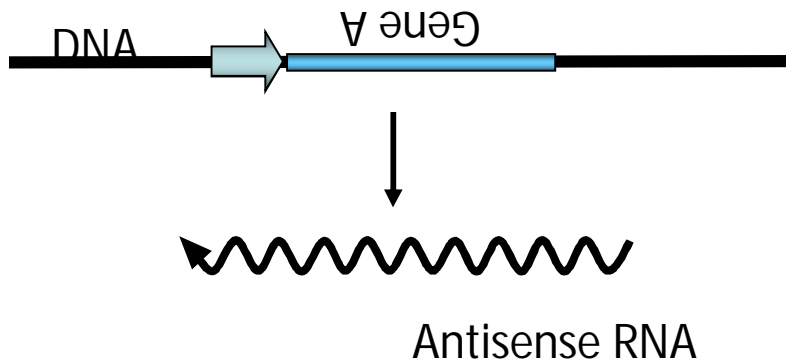
Geneettinen koodi on universaali



'Kultaiseen riisiin' muodostuu β -karoteenia. Riisiin on siirretty geenejä narsissista ja bakteerista.

...ja poistaa vanhoja

'Antisense RNA' pysäyttää geenitoiminnan



Valkoiset gerberat on johdettu punaisesta siirtämällä kasviin yksi gerberan omista väriainesynteesiin osallistuvista geeneistä 'antisense' asennossa.

Maatalouteen liittyvien bioteknisten edistysaskelien kehittyminen

Teknologia	Ajanjakso	Biotekniikan edistysaskeleet
Perinteinen	noin 10 000 eaa.	Luonnon antimien käyttö ravinnonlähteenä, maanviljelyn alku, ensimmäiset kotieläimet, valintajalostus alkaa (kasvimateriaalin lisäys, eläinten jalostus).
	noin 3 000 eaa.	Oluen pano, juuston teko, viinin käyttäminen
Tavanomainen (perinteinen)	1800-luvun loppu	Gregor Mendel havaitsi perinnöllisyyden pääsäännöt (julkaisu 1865) ja loi tavanomaisen (suunnitellun) jalostuksen perustan.
	1930-luku	Hybridimaissin kaupalliset lajikkeet
	1940-luvulta 1960-luvulle	Keinotekoinen mutageneesi, solukkoviljelytekniikat ja kasvien lisääminen solukosta (regenerointi). Havainto, että perimän siirtyminen mikrobin välillä aiheuttaa ominaisuuksien muuttumisen (transformaatio ja transduktio). Watson ja Crick selvittivät DNA:n rakenteen 1953. Siirtyvien geenien tunnistaminen (hyppivät geenit, transposonit).

Maatalouteen liittyvien bioteknisten edistysaskelien kehittyminen

Teknologia	Ajanjakso	Biotekniikan edistysaskeleet
Moderni	1970-luku	Geenien siirto eliöiden välillä yhdistelmä-DNA-tekniikan avulla. Kasvibiotekniikan käyttö kasvinjalostuksessa (alkionpelastaminen, protoplastifuusiot). Keinohedelmöitys eläinjalostuksessa.
	1980-luku	Insuliini, ensimmäinen geenitekniikan avulla tuotettu tuote, tuli markkinoille. Solukkoviljelytekniikan käyttö kasvien massatuotannossa. Alkionsiirto eläintuotannossa. Ensimmäinen muuntogeeninen kasvi 1983. Ensimmäiset muuntogeenisten kasvien kenttäkokeet Suomessa 1980–1990-luvun vaihteessa.
	1990-luku	Perimän yksilöllisten ominaisuuksien hyödyntäminen eliöiden tunnistamisessa (geneettiset sormenjäljet). Ensimmäinen muuntogeeninen elintarvike, FlavrSavr-tomaatti, myyntiin. Muuntogeenisten viljelykasvien laajamuotoinen kasvatus 1990-puolivälistä alkaen. Geenitekniikalla tuotetut rokotteet ja hormonit. Eläinten kloonaminen (Dolly-lammas, 1997).
	2000-luku	Menetelmät genomien toiminnan hahmottamiseen kokonaisuutena: genomiikka, proteomiikka, metabolomiikka, bioinformatiikka.

Esimerkkejä tulevaisuuden muuntogeenisten kasvien sovelluksista

Sovellus	Ominaisuus	Esimerkki kohdekasvista
Parantunut satoisuus	kuivuudenkestävyys suolankestävyys alumiininkestävyys taudinkestävyys	maissi riisi riisi, maissi, papaija peruna
Parantunut ravintoarvo	A-vitamiinin korkeampi pitoisuus kohotettu rautapitoisuus vähentyneet toksiinit täkkelyskoostumus uusi rasvahappokoostumus	riisi, sinappi riisi kassava ohra, vehnä öljykasvit kuten rapsi, kookospähkinä
Parantuneet ominaisuudet	värimuutokset, makumuutokset	kukat (sininen ruusu), tomaatti
Lääketieteelliset sovellukset	rokotteiden tuotto	banaani, peruna, tomaatti, tupakka
Teollisuuden raaka-aineet	biohajoava muovi muokattu täkkelys biopolttoaineet (alkoholi)	maissi maissi, peruna ¹⁾ sokeriruoko
"Itsesäätävät" kasvit	geenivirran esto	rapsi, koivu ²⁾
Ympäristönparannus, saastuneen maaperän puhdistaminen (biosanitaatio; bioremediaatio)	elohopea kadmium	lituruoho tupakka

Muuntogeenisten viljelykasvien tuotanto

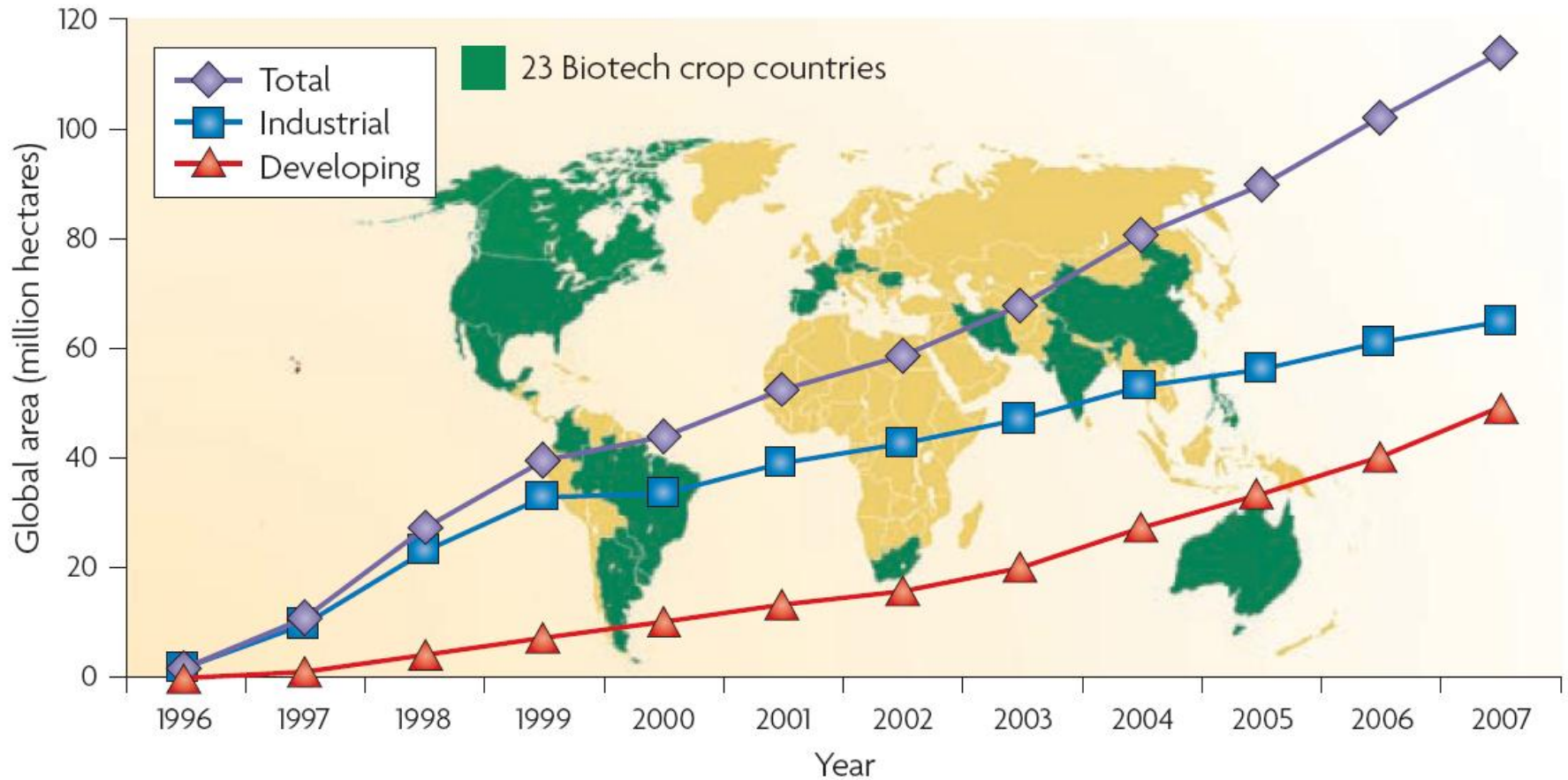
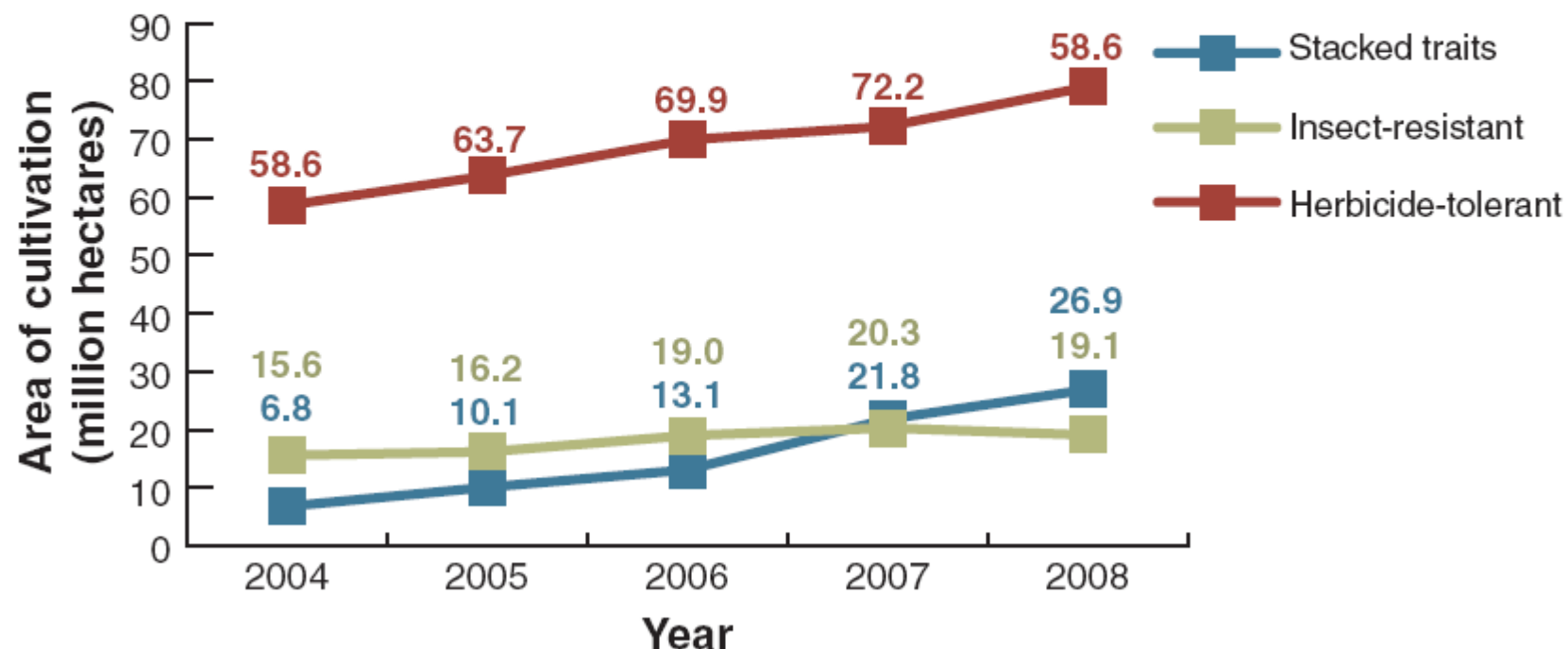


Figure 1 | **Global distribution of transgenic crop production, 1996–2007.** Data for this figure is taken from REF. 82.

Global area by transgenic trait

Stacked traits continued to grow in 2008, with 10 countries planting ~27 million hectares.

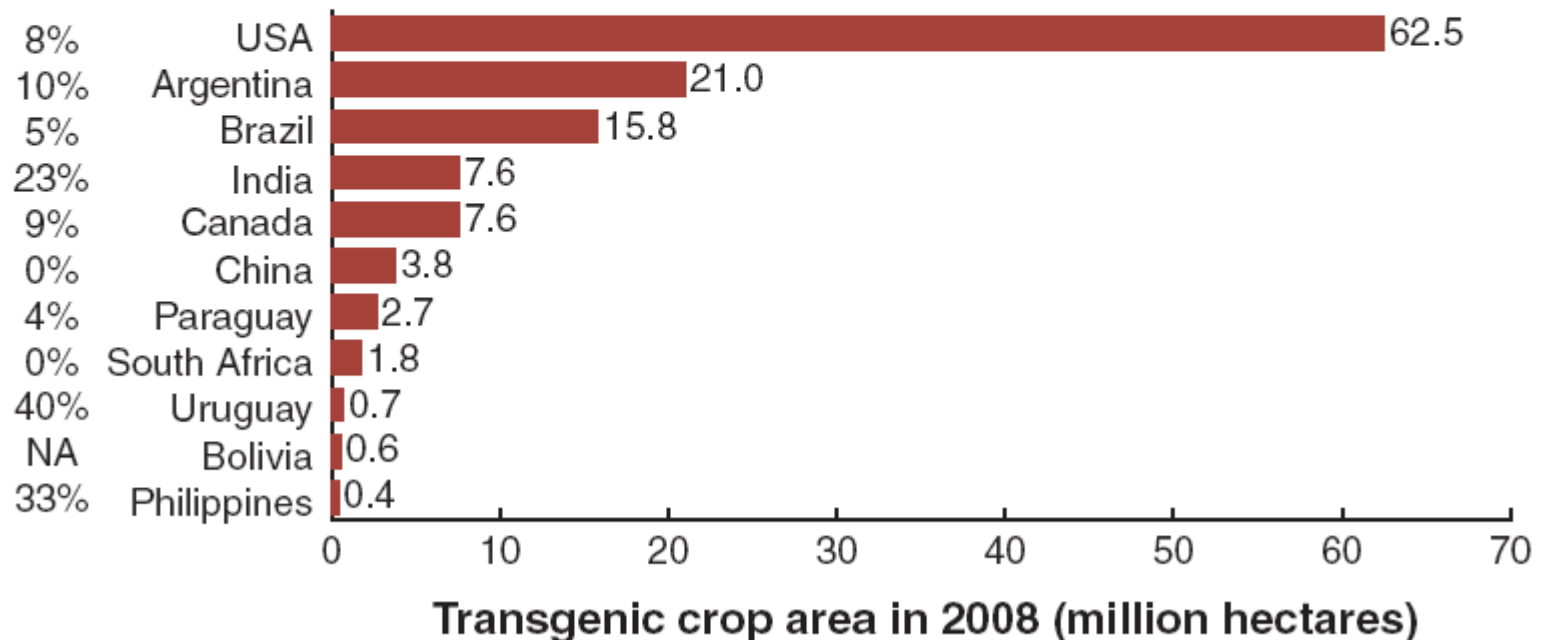


Source: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications

Global area of biotech crops by country

Bolivia became the ninth South American country to plant transgenic crops; India's GM acreage continued to grow, equalling Canada's.

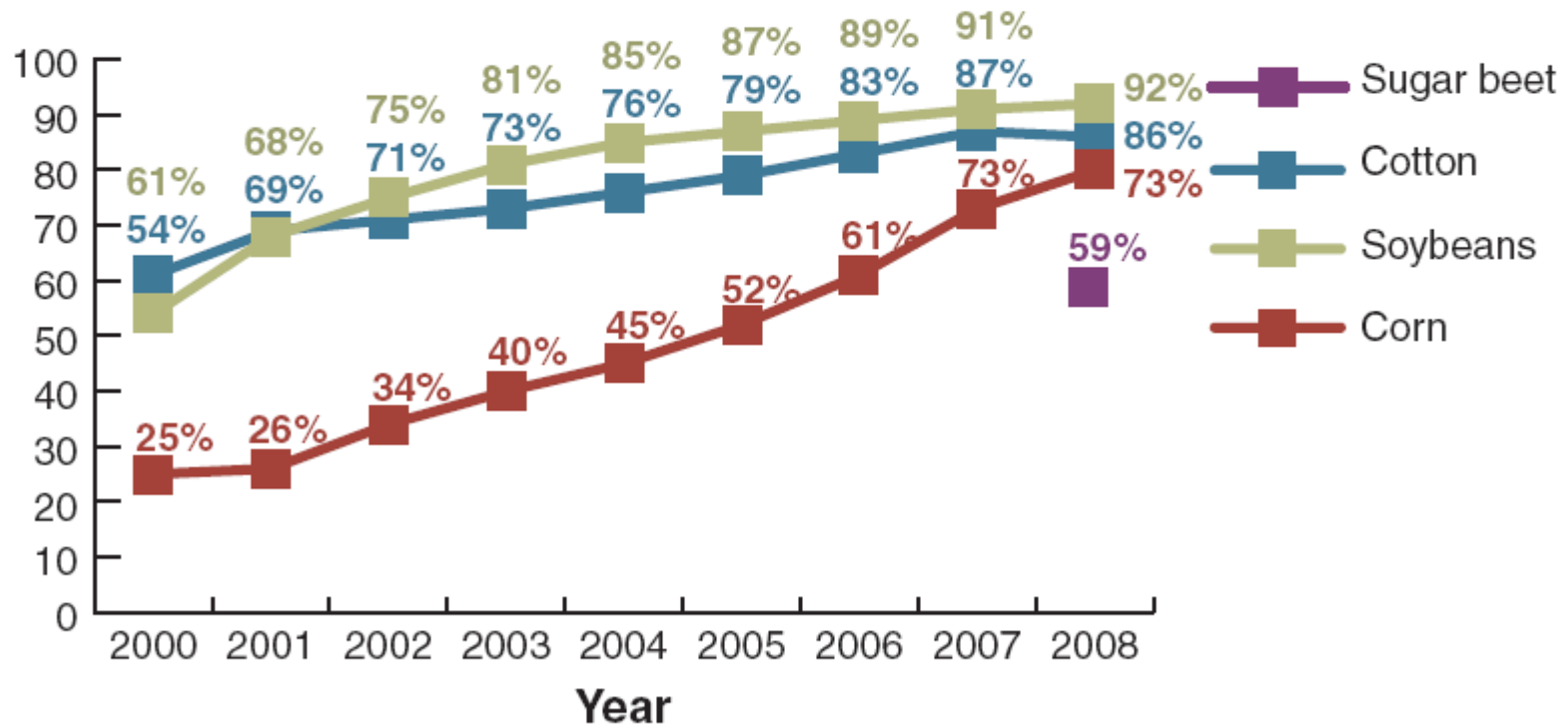
Percentage change
since 2007



Source: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications

Transgenic crops as a share of total US crops

Herbicide-tolerant sugar beet constituted 59% (258,000 hectares) of the US crop in its first year of adoption.



Source: National Agricultural Statistics Service

Europe's anti-GM stance to presage animal feed shortage?

VOLUME 25 NUMBER 10 OCTOBER 2007 **NATURE BIOTECHNOLOGY**

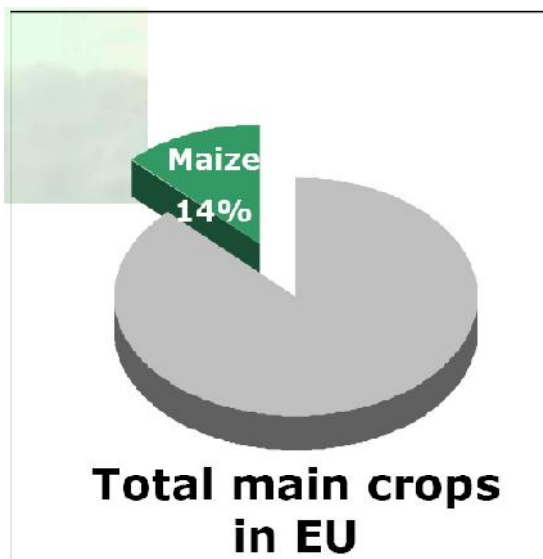
Table 1 Deviation from baseline net production (%)

Sector	Medium scenario ^a		Worst-case scenario ^b	
	2009	2010	2009	2010
Pork	-0.90%	-1.80%	-29.30%	-34.70%
Poultry	-1.70%	-2.60%	-29.20%	-43.90%
Beef	0.00%	0.00%	-1.10%	-2.10%

^aMedium scenario assumes GM soybeans not approved by EU cultivated in US and Argentina. ^bWorst-case scenario assumes EU-nonapproved GM soybeans cultivated in US, Argentina and Brazil. Source: European Commission's Directorate-General for Agriculture and Rural Development.

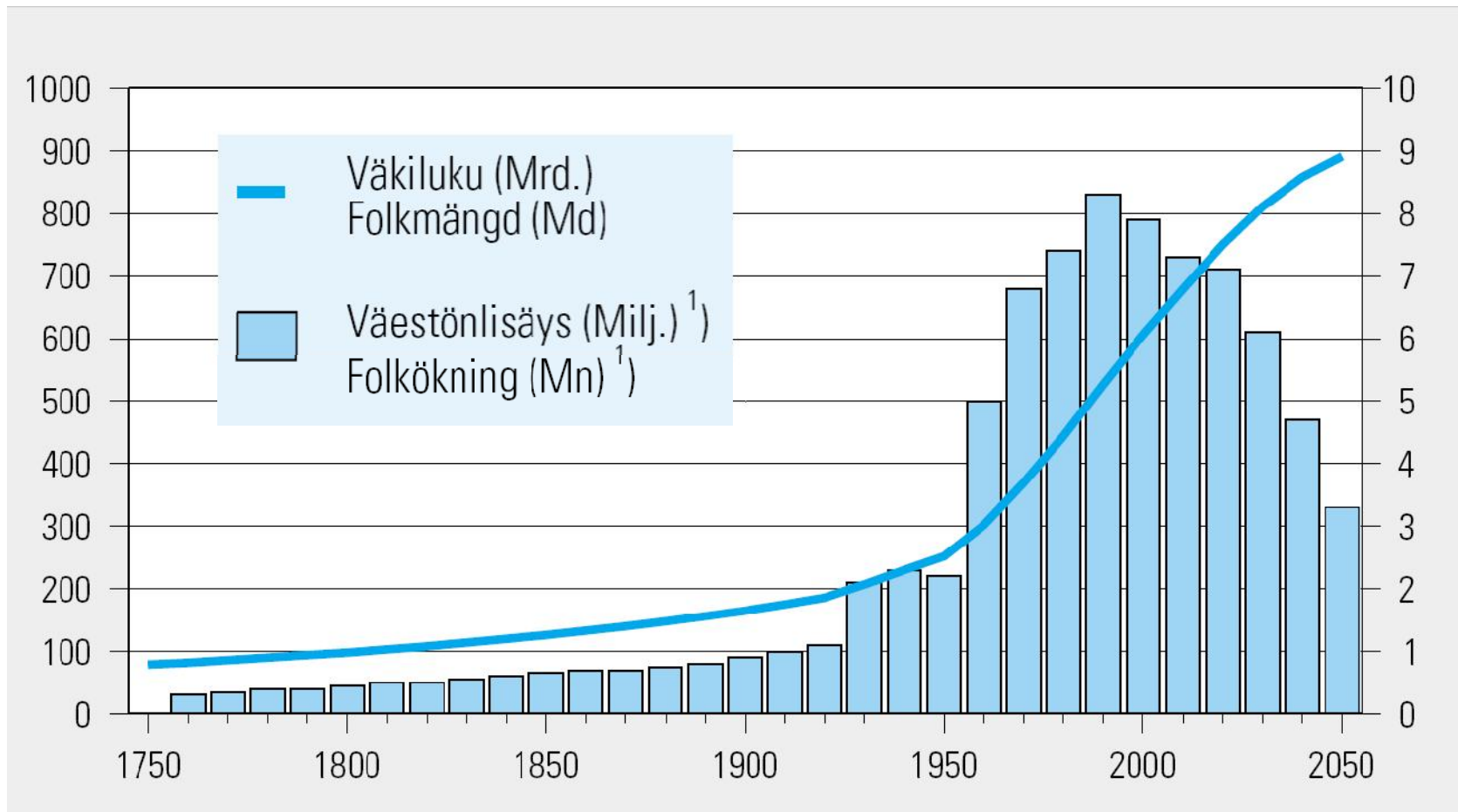
EU:ssa viljelyssä yksi GM-viljelykasvi: Bt-maissi

- Pääasiallisten viljelykasvien kokonaistuotantoala EU:ssa 92,4 milj. ha
- Maissin viljelyala 13,2 milj ha
- Maissista 1% GM-maissia
- Syynä maissikoisa (European corn borer)



Maailman väestön kehitys 1750-2050

- Jos väestönlisäys vähenee olennaisesti, niin väkiluku kasvaa nykyisestä 6,7 miljardista 9,2:een miljardiin vuoteen 2050 mennessä
- Jos väestö lisääntyy nykyistä tahtia, vuonna 2050 väkiluku olisi 12 miljardia



Riittääkö ruoka?

- Tällä hetkellä maapallolla tuotettava ruoka riittäisi kaikille, jos se jaettaisiin tasan
 - 1990 ruokaa tuotettiin 2700 kcal/henk (ja syötiin 2000 kcal/henk)
- 50 vuoden kuluttua meitä voi olla kaksi kertaa enemmän

Viljelykelpoinen maa-ala vähenee

- Väestön kasvu ja elintason nousu aiheuttavat maankäytön muutoksia: rakentaminen
- Eroosio, aavikoituminen ja suolaantuminen
 - Pelkästään suolaantumisesta johtuen jo yli 12 miljoonaa ha peltoalaa muuttunut viljelykelvottomaksi
- Kasteluveden puute
 - Maataloudessa käytetään 2/3 kaikesta makeasta vedestä

Miten ruoan tuotanto voidaan kaksinkertaistaa?

- Tällä hetkellä n. 1600 miljoonaa ha maapinta-alasta viljelyssä
- Tuottavimmat alueet on jo valjastettu maataloudelle
- Lisäalan raivaaminen (metsiltä) ei ole mahdollinen vaihtoehto

Satotason nostaminen välttämätöntä

- Kuivuuden ja suolan kestävät kasvit
- Tautien ja tuhoeläinten kestävyys
- Kaikki käytössä olevat keinot hyödynnettävä – mukaan lukien GM-jalostus

Esimerkkejä kehitteillä olevista sovelluksista: GM-kenttäkoheet Yhdysvalloissa 2005

Phenotype category	Number of applications
Herbicide tolerance	3820
Insect resistance	3250
Product quality	2497
Agronomic properties	1099
Virus resistance	886
Other*	673
Fungal resistance	661
Marker gene	627
Bacterial resistance	115
Nematode resistance	32

Onko GM-kasvien viljelystä haitallisia seurauksia ympäristölle?

Useita satoja tieteellisiä tutkimuksia GM-kasvien viljelyn seurauksista muille eliöille ja eliöyhteisöjen monimuotoisuudelle:

- Ei haitallisia vaikutuksia
- Perinteisten lajikkeiden välinen vaihtelu suurempaa kuin muuntogeenitekniikan aiheuttama
- Tämä ei tarkoita sitä, etteikö haitallisia vaikutuksia voisi ilmetä: esimerkkinä muuntogeenien leviäminen GM-kasvien lähisukulaisiin tai perinteisiin viljelylajikkeisiin
- Rinnakkaiselo erityisesti luomun kanssa ongelmallista

Ongelmallinen valvonta: esimerkkinä herbisidiresistenssi

- Glyfosaattia kestävä maissi
 - Laaja riskianalyysi
- Atratsiinia kestävä maissi
 - Ei erityismääräyksiä



Risk Class	GM herbicide resistant (regulated in the EU)	Upgraded non-GM herbicide resistant (not regulated in the EU)
Change in persistence or invasiveness of the crop	Risk possible	Risk possible
Gene flow by pollination to weeds and feral plants	Risk possible	Risk possible
Reduced efficacy of weed control	Risk possible	Risk possible
Effect on wildlife biodiversity	Risk possible	Risk possible
Effect on soil and water	Risk possible	Risk possible

GM-soijarehu on turvallista eläimille ja ihmisille

- Muuntogeeninen rehusoija hyväksyttiin EU:ssa 1996
- hyväksymistä edelsivät laajat tutkimukset, joissa GM-soijarehua syötettiin hiirille, rotille, siipikarjalle, sioille, lehmille ja kaloille
- mitään haittavaikutuksia ei ole havaittu

- EU-lainsäädännön mukaan jo hyväksytyt muuntogeeniset rehut ja elintarvikkeet arvioidaan uudelleen uusimman tutkimustiedon valossa 10 vuoden välein
- Muuntogeenisten rehujen ja elintarvikkeiden turvallisuus testataan tarkemmin kuin minkään muiden vastaavien tuotteiden
- GM-soijaa tutkitaan edelleen aktiivisesti, mm. koska Monsanto on hakenut sille viljelylupaa EU:ssa

Pitäisikö GM-rehulla tuotettu liha merkitä?

- Nykyinen EU-asetus vuodelta 2003 ei tätä edellytä
- meppi Satu Hassi ja kansanedustaja Heidi Hautala (vihr.):
"Suomen esitettävä EU:lle pakollisia merkintöjä GM-rehulla tuotettuihin elintarvikkeisiin"
- kansanedustaja Anne Kalmarin (kesk.) lakialoite (104 kansanedustajaa) geenitekniikkalain muuttamisesta:
"Muuntogeenisten tuotteiden ja tuotteiden, joiden elinkaaren aikana on käytetty muuntogeenisiä organismeja, markkinoille saattamisen kaikissa vaiheissa pakkaus-merkinnässä tai tuotteen mukana olevassa asiakirjassa on oltava maininta "Tämä tuote sisältää muuntogeenisiä organismeja tai raaka-aineen tuotantoon on käytetty geenimuunneltua rehua", jollei muualla toisin säädetä."

Pitäisikö GM-rehulla tuotettu liha merkitä?

- lihasta on mahdotonta tietää, onko eläin syönyt GM-rehua
 - merkinnän paikkansapitävyyttä ei voi päätellä tuotteesta
- mm. MTK on ehdottanut vapaaehtoista merkintää
 - jos jäljitettävyyys varmistettaisiin samoin kuin luomutuotteilla, kuka maksaa kustannukset?
- Suomeen tuodaan ulkomailta lihaa, sekä muita elin-tarvikkeita ja tuotteita, joiden "elinkaaren aikana on käytetty muuntogeenisiä organismeja"
 - vaadittaisiinko näihinkin merkinnät?

Mitä Kalmarin lakialoitteesta seuraisi?

Muuntogeenisillä organismeilla tuotetaan nykyään mm.

- lääkkeitä (myös luomutuotannossa eläimille)
- vitamiineja
- teollisia entsyymejä
- rehuihin lisättäviä aminohappoja
- elintarviketuotteiden valmistukseen käytettäviä lisäaineita

Vaikea arvioida, mitä eläinperäisiä elintarvikkeita ei olisi tarpeen merkitä?

- myös muita: juusto, mehut, elintarvikejalosteet yleensä

Muuntogeenisten kasvien oletetut hyödyt

- Muuntogeenisistä sovellutuksista maataloudessa ovat tähän mennessä hyötäneet niitä kehittäneet yritykset ja elintarviketeollisuuden tuotantoketju, mukaanlukien viljelijät
- Kuluttujan kannalta hyöty ei ole ollut ilmeistä
 - tuotteen hinta?
 - vähemmän torjunta-ainejäämiä?

Muuntogeeniset viljelykasvit viljelijän kannalta

- Viljelijät viljelevät muuntogeenisiä kasveja vain jos kuluttajatkin sitä haluavat
 - kuluttaja ei välttämättä hyljeksi muuntogeenisiä elintarvikkeita, jos hinta on sopiva
- Viljelyn pitää olla kannattavaa
 - viljelystä ei saa aiheutua huomattavaa lisätyötä tai kustannuksia, joita ei saa takaisin tuotteen hinnassa
- Tuotantomuotojen erilläänpidosta aiheutuu kustannuksia:
 - eristysetäisyydet
 - erilliset laitteet ja varastot
 - kuka maksaa?

Milloin muuntogeenisiä viljelykasveja voitaisiin viljellä Suomessa?

Ennustaminen on vaikeaa, varsinkin tulevaisuuden:

- Maatilan Pirkka 1/99: muuntogeeninen sokerijuurikas, rypsi ja peruna 3-5 vuoden sisällä

Valistuneita (?) arvauksia (MK, esitelmästä v. 2008):

Muuntogeeniset tuotteet tulevat oletettavasti kolmessa vaiheessa:

- ensimmäisenä jokin muu kuin elintarvike (seuraavan viiden vuoden aikana)
- myöhemmin elintarvikkeet, joissa muuntogeenisiä ainesosia (5-10 vuoden kuluessa)
- 2010: tärkkelysperuna (BASF)

Tärkkelysperuna: esimerkkejä netin keskustelupalstoilta

“gm-tärkkelysperunaa on jo pakattu tavanomaisen ruokaperunan myyntisäkkeihin markkinoinnin parantamiseksi.”

”Koululaiset ovat kertoneet ummetuksen lisääntyneen ja immuniteetin laskeneen gm-perunan seurauksena.”

Mitä muuntogeenisiä viljelykasveja Suomessa viljeltäisiin?

- Suomessa paikallinen kasvinjalostus tärkeää, koska valtaosa Pohjoismaiden ulkopuolella jalostetuista lajikkeista ei sovellu meillä viljeltäväksi
- Tällä hetkellä maailmassa viljeltävät muuntogeeniset lajikkeet eivät lupaaavia Suomen oloissa
 - Tärkkelysperuna odottaa viljelylupaa EU:ssa
 - kehitetty Ruotsissa
- Ilmastonmuutos voi muuttaa tilannetta, mutta
 - Kylmiä jaksoja jatkossakin Suomessa enemmän kuin Keski-Euroopassa
 - Päivän pituus ei muutu

Toisaalta,

- Suomessa lähes kaikki viljelykasvit ovat tulokkaita, eikä niillä meillä ole risteytyviä lähisukulaisia: siirtogeenien leviäminen luontoon epätodennäköistä
- Valoisa kasvukausi voi olla etu ns. toisen sukupolven sovelluksissa, kuten erityistarkoituksiin viljeltävissä, terveysvaikutteisia tai muuten hyödyllisiä yhdisteitä sisältävissä lajikkeissa (ei lähivuosina)

Mitä muuntogeenisiä viljelykasveja Suomessa viljeltäisiin?

Suomessa kokeiltu useita eri sovelluksia:

- mallasohra
 - valmiina oluen valmistuksessa tarvittavaa entsyymiä
- öljyksi puristettava rapsi
 - torjunta-aineen kestävyys
 - rasvahappokoostumusta muutettu
- peruna
 - Y-viruksen vastustuskyky
 - perunaruton vastustuskyky
 - tärkkelyspitoisuuden kasvattaminen (Boreal Kasvinjalostus, kenttäkoe 2004-2008)
- sokerijuurikas
 - torjunta-aineen kestävyys

Kiitos.

Mitä Suomeen tuotava GM-soija on?

- Muuntogeeniseen rehusoijaan on lisätty geeni, jonka toiminnan seurauksena kasvi kestää glyfosaattirikkakasvihävitettä (yksi tuotenimi Roundup)
- Glyfosaatti estää kasvissa välttämättömien aromaattisten aminohappojen tuottamiseen liittyvän entsyymin toiminnan
- Gm-soijaan on siirretty vastaavaa entsyymiä tuottava geeni bakteerista, koska siihen glyfosaatti ei vaikuta
- Ihmisellä vastaavaa entsyymiä ei ole, koska emme valmista aromaattisia aminohappoja itse, vaan saamme ne ruuasta (esim. naudanlihasta)

Kun sika syö geenirehua

GEENI EI SIIRRY KASVISTA ELÄIMEEN.

Elimistöön voi joskus kulkeutua pilkkoutuneita dna:n rippeitä sellaisista geeneistä, joita on ruoassa aivan erityisen paljon. Esimerkiksi jäänteitä viherhiukkasten geeneistä, joita kasvisoluissa on lukuisina kopioina, on löytynyt kasvinsyöjäeläinten elimistöstä. Sen sijaan kokonaisten, toimivien kasvigeenien pääsystä elimistöön ei ole näyttöä. Yhdenkään tutkitun eläimen perimästä ei ole löytynyt kasvilta saatua geeniä, joten tällaista geenien siirtymistä ei ilmeisesti ole tapahtunut koko evoluutiohistorian aikana.

Kun sika syö geenirehua

RUOANSULATUS HAJOTTAÄ GEENIT.

Mahalaukussa ja suolessa geenien dna hajoaa pätkiksi ja perusrakennelosikseen, nukleotideiksi. Muokattu dna ei eroa ruoansulatuksen kannalta mitenkään kaikesta muusta ruoassa olevasta dna:sta. Sitä on aina ollut ruoassa runsaasti, ja siksi eläinten ja ihmisten ruoansulatus on tottunut hajottamaan sen.

VIERAS DNA TUHOUTUU.

Elimistön solut tuottavat entsyymejä, joiden nimenomainen tehtävä on vieraan dna:n hävittäminen.