

Kuinka muuntogeenisten kasvien hyväksymismenettelyjä tulisi kehittää?

Dosentti Osmo Kuusi
Aalto yliopisto, Turun yliopisto
What Futures Oy
osmo.kuusi@utu.fi

EU:n komission vuoden 2010 yhteenveto GMO-turvallisuuteen kohdistuvista tutkimuksista

- “The main conclusion to be drawn from the efforts of more than 130 research projects, covering a period of more than 25 years of research and involving more than 500 independent research groups, is that biotechnology, and in particular GMOs, are not *per se* more risky than e.g. conventional plant breeding technologies.” (EC 2010) .
- EU rahoitti turvallisuutta arvioivia hankkeita noin 300 milj. €:lla 1982 - 2010

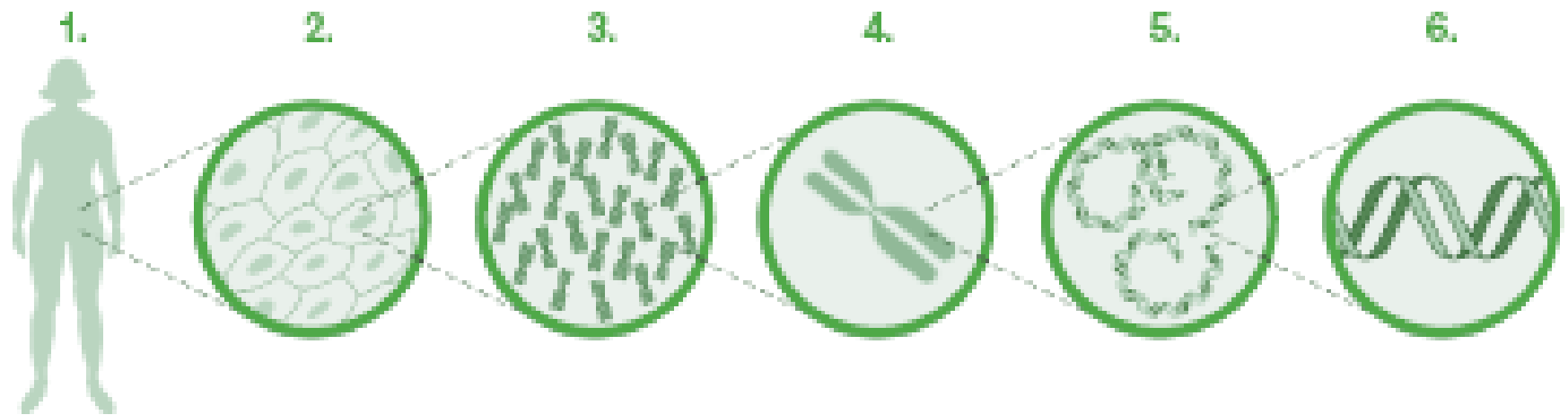
Geenimuuntelun hyväksymisen umpisolmu

- Kertyneestä turvallisuuteen liittyvästä tiedosta huolimatta asenteet ovat tiukassa
- Esimerkiksi Snellman Oy mainosti vastikään näyttävästi, ettei se käytä rehuna geenimuunneltua soijaa
- Erityisen vahva argumentti on edelleen kaltevan pinnan eli ns. “slippery slope argument”
- Käsittelin kaltevan pinnan argumenttia ja muita geeniturvallisuuteen liittyviä kysymyksiä laajahkosti vuonna 2004 julkaitussa kirjassani Geenitieto kuuluu kaikille (Edita 2004)

Kuinka käsitellä vaarallisen luisun pelkoa?

- Toimitaan “luonnollisesti” eli vastaavalla tavalla kuin evoluutio on kehittänyt uusia organismeja
- “Luonnottomien” ratkaisujen hyväksymisen kynnys pidetään korkealla, ennen kuin niiden vaikutusten luonne ymmärretään hyvin
- Seurataan haittoja, joita varsinkin “luonnottomimmat” ratkaisut ovat aiheuttaneet

Kuva 1: Solu on elämän perusyksikkö



1. Ihminen koostuu soluista. Kehossamme on ainakin 230 eri solutyyppiä ja yli sata triljoonaa solua.
2. Ihmisen jokaisessa solussa on tuma, paitsi veren punasoluissa.
3. Parien kromosomit ovat peräisin molemmilta vanhemmilta.
4. Jokaisessa tumassa on 46 kromosomia. Ne ovat järjestyneet pareiksi, paitsi sukusolujen X ja Y -kromosomit.
5. Kromosomit koostuvat toisiinsa tiukasti kietoutuneista dna-rihmoista.
6. Geenit ovat DNA:n eri pituisia pätkiä. Ne sisältävät ohjeet, joilla elmistö valmistaa soluille proteiineja. Proteiinit pitävä solut ja sitä myötä ihmisen elossa. Proteiineja valmistaa noin 30 000 geeniä.

Lisääntyvä geenitieto

- DNA:n tehokkaan läpiluvun ohella perustiedon kertymistä kuvaa tietopankkien tiedot organismien vaikuttaviksi tunnistetuista lyhyistä DNA-jaksoista, expressed sequence tags EST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)
- Painopiste siirtymässä vaikuttavien jaksojen tunnistamisesta niiden vuorovaikutusten selvittämiseen tietotekniikkaan perustuvalla bioinformatiikalla.
- Olennaista on, että tiedetään yhä tarkemmin mihin löydetty tai siirretty vaikuttava DNA genomissa sijoittuu

| Tunnistetut expressed sequence tags (EST) | 2005 | 2009 |
|---|---------|---------|
| Poppelipuut mm. haapa (<i>Populus</i>) | | 587 000 |
| Kuuset (<i>Picea</i>) | | 530 000 |
| Männyt (<i>Pinus</i>) | | 504 000 |
| <i>Pinus taeda</i> (loblollymänty) | 177 000 | 443 000 |
| <i>Populus tremula</i> ja <i>P. tremuloides</i> (haapa ja Amerikan haapa) | 110 000 | 336 000 |
| <i>Picea glauca</i> (valkokuusi) | 55 000 | 331 000 |
| <i>Picea sitchensis</i> (sitkankuusi) | 12 000 | 283 000 |
| <i>Populus balsamifera</i> (palsamipoppeli) | 115 000 | 137 000 |
| <i>Populus deltoides</i> | 15 000 | 71 000 |
| Eukalyptukset (<i>Eucalyptus</i>) | | 60 000 |
| <i>Pinus pinaster</i> (rannikkomänty) | 18 000 | 30 000 |
| <i>Picea engelmannii</i> (englanninkuusi) | 12 000 | 28 000 |
| <i>Picea abies</i> (Suomen metsien kuusilaji) | | 15 000 |
| <i>Populus euphratica</i> | 13 000 | 14 000 |
| Koivut (<i>Betula</i>) | | 18 000 |
| <i>Betula pendula</i> (rauduskoivu) | 2 500 | 11 000 |
| <i>Pinus sylvestris</i> (Suomen metsien mäntylaji) | 1 500 | 6 500 |
| <i>Eucalyptus grandis</i> (pääasiassa viljelty eukalyptuslaji) | 1 500 | 6 000 |

1990-luvun epätarkka geeninsiirto

- Vielä 1990-luvulla perinnöllisen aineksien siirto perustui DNA-aineksen hyvin satunnaiseen sijoittumiseen. Perinteissä geeninsiirrossa sijoittuminen varmistettiin antibiootin (kanamysiini) kestävyuden apugeenillä.
- Antibiootilla käsitellyssä viljelmässä ovat pystyneet kasvamaan vain ne solut, joissa geenimuunnos on onnistunut.

Sinkkisorminukleaasien lupaus

- Sinkki-sorminukleaasi (zink finger nucleases) menetelmällä on mahdollista asettaa tietty DNA –jakso tarkasti haluttuun paikkaan kasvin perimässä
- Uusilla menetelmillä muuntaminen onnistuu myös jo niin paljon suuremmalla prosenttiosuudella (vuoden 2010 vaiheilla 4 %), että erilliset valinnan apugeenit tulevat ajan myötä jäämään pois käytöstä tarpeettomina.

ZFP Design in a Nutshell



ZFs are protein domains which bind to specific 3 base pair DNA sequences.

Altering the amino acid sequence in the ZF changes its DNA binding specificity.



A series of zinc finger protein domains are custom engineered to bind to a target DNA sequence.

The addition of a functional domain provides specific DNA modification features.



Functional Domain

Cleavage
Activation
Repression

6-finger protein creates an 18 base pair recognition module

Mahdollisuus tuottaa ”oikoreittiä” käyttäen risteyttämällä syntyviä tuloksia

- Kun tunnetaan tarkasti kahden risteytymään kykenevän organismin perimät – esimerkiksi viljelty huonosti ruttoa kestävä peruna ja ruttoa hyvin kestävä villiperuna - voidaan ennakoida että rutonkestävyyttä lisäävän geenin siirto on mahdollista, mutta erittäin hankalaa risteyttämällä.
- Kun tiedetään millaista siirtoa tavoitellaan se voidaan tehdä DNA-ainesta siirtämällä

Nina V. Fedoroff and Roger Beachy (2011):
**Facilitating Market Access for GE Crops
Developed Through Public Sector Research**

- New methodologies in development and testing that results in the highly specific modification of plant genes without creating a transgenic plant
- This technology is based on synthetic proteins that fuse a well-characterized synthetic sequence-specific DNA-binding protein to a nuclease domain that cleaves double-stranded DNA (Shukla et al. 2009 ; Mahfouz et al. 2011)
- These methods, and perhaps others, will permit the production of plants with highly specific genetic changes, but containing no recombinant DNA.

Federoff and Beatchy (2011) continue:
p.388

- Those plants are like those resulting from spontaneous mutation or mutations induced by cell culture, chemicals or radiation, except that the changes are far more precise, altering only the intended target sequences in the genome.
- Such plants should not be regulated as transgenics.

Vielä on toki vaikeita ongelmia

- ”Mendelistinen punaisten kukkien maailma” on varsin kaukana todellisen maailman geneettisen säätelyn systeemisestä monimutkaisuudesta
- Bioinformatiikkaa tarvitaan esimerkiksi sen selvittämiseen kuinka geenit RNA:nsa ja tuottamiensa entsyymien avulla säätelevät toistensa toimintaa eli toisten geenien ilmenemistä (ekspressiota)

Erityiskohtelu muunnoksille, joille ei esitetä omistusvaatimuksia

- Yksi keskeinen kritiikki GMO:ta kohtaan on ollut suurten yritysten ja varsinkin Monsanto:n vallan lisääntyminen.
- Itse asiassa juuri hyväksyttämisen kalleus on vahvistanut suurten monopoliasemaa. Maissimuunnoksen hyväksymiskustannuksiksi on arvioitu 6-15 milj.\$ (Kalaitzandonakes et al. 2007)
- Risteyttämällä periaatteessa tavoitettavissa olevat ominaisuudet erityisen kevyellä menettelyllä, jos ei mistusoikeusvaatimusta

Geenimuuntelu osana Suomen globaalia biopolitiikkaa

- Keväällä 2010 päättyneessä eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan Metsät-ravinto-vesi –hankkeessa käsiteltiin varsin laajasti kasvinjalostuksen tulevia mahdollisuuksia ratkaista maailman keskeisiä ongelmia.
- Loppuraportti Kuusi, Kurppa ja Pakkasvirta (2010): Löytöretkiä biopolitiikkaan
www.eduskunta.fi/tulevaisuusvaliokunta/julkaisut
- Hanke tehtiin tulevaisuusvaliokunnan valmistautumisena vastaamaan valtioneuvoston ilmastopoliittiseen tulevaisuusselontekoon. Vastaus valmistui helmikuussa 2011

Esikuvaksi intialainen M.S. Swaminathan

- Kutsuttu 1960- ja 1970-lukujen Vihreän vallankumouksen isäksi Intiassa– oli keskeinen lyhytkortisten vehnän ja riisin käyttöönoton edistäjä. Näillä torjuttiin Intiaa uhannut nälänhätä.
- Gandilainen ajattelija, joka 1960-luvulla perusti Intiaan 2000 malliviljelmän verkoston ja on tutkimuslaitoksensa kautta edelleen erittäin merkittävä vaikuttaja
- Hänen aloitteestaan käynnissä pienviljelijöitä voimauttava hanke Intiassa nimellä ”Evergreen revolution”, Ikivihreä vallankumous.
- Käytetään mahdollisimman tehokkaasti uusinta bio- ja geeniteknistä tietoa paikallisten kasvilajien kehittämiseksi.

Ekotalous

Keskeisenä lähtökohtana on suuren väestömäärän mielekäs työllistyminen pienimuotoiseen viljelyyn alle 100 ha tiloille tai tuotanto-osuuskuntiin.

Geenimuuntelu ei ole sallittua ja estetään luotattavilla turvajärjestelyillä muunnellun ”geenisaasteen” leviäminen viljelmille

Paikallisten kasvien ja eläinten moninaisuuden hyödyntäminen

Biodiversiteetin suojelu ja vieraslajien sekä niiden perinnöllisen aineksen leviämisen ehkäisy

Paikalliset ja perinteiset tuotantomenetelmät sekä Sellaiset viljelymenetelmät, missä ei käytetä kemiallisia kasvinsuojeluaineita ja lannoitteita tai niiden käyttö on vähäistä. Ammattitaitoista käyttöä edistetään neuvonnalla.

Valvotaan erityisesti, ettei tuotteissa ole niiden puhtautta vaarantavia jäämiä.

Ikivihreä evergreen vallankumous

Keskeisenä lähtökohtana on suuren väestömäärän mielekäs työllistyminen pienimuotoiseen viljelyyn alle 100 ha tiloille tai tuotanto-osuuskuntiin.

Käytetään mahdollisimman tehokkaasti uusinta bio- ja geenitekniistä tietoa paikallisten kasvilajien kehittämiseksi. Kasveja kehitetään geenimuuntelulla palvelemaan ensisijaisesti paikallisten kuluttajien tarpeita ja toissijaisesti vientiä varten.

Tehokkaan neuvonnan avulla varmistetaan, että maaperä ylläpidetään viljelykelpoisena, ravinnekierrat ovat hallittuja, kastelu käyttää tehokkaasti vesiresursseja ja kasvatettaviksi on valittu sopivat lajikkeet.

Muodostetaan kehitysmaihin kylätasolle ulottuvat koulutuksen ja neuvonnan verkostot julkisesti rahoitettujen tutkimus- ja kehittämiskusten johdolla. Myös kehittyneiden maiden ravinnontuotannon verkostoitumista tehostetaan.

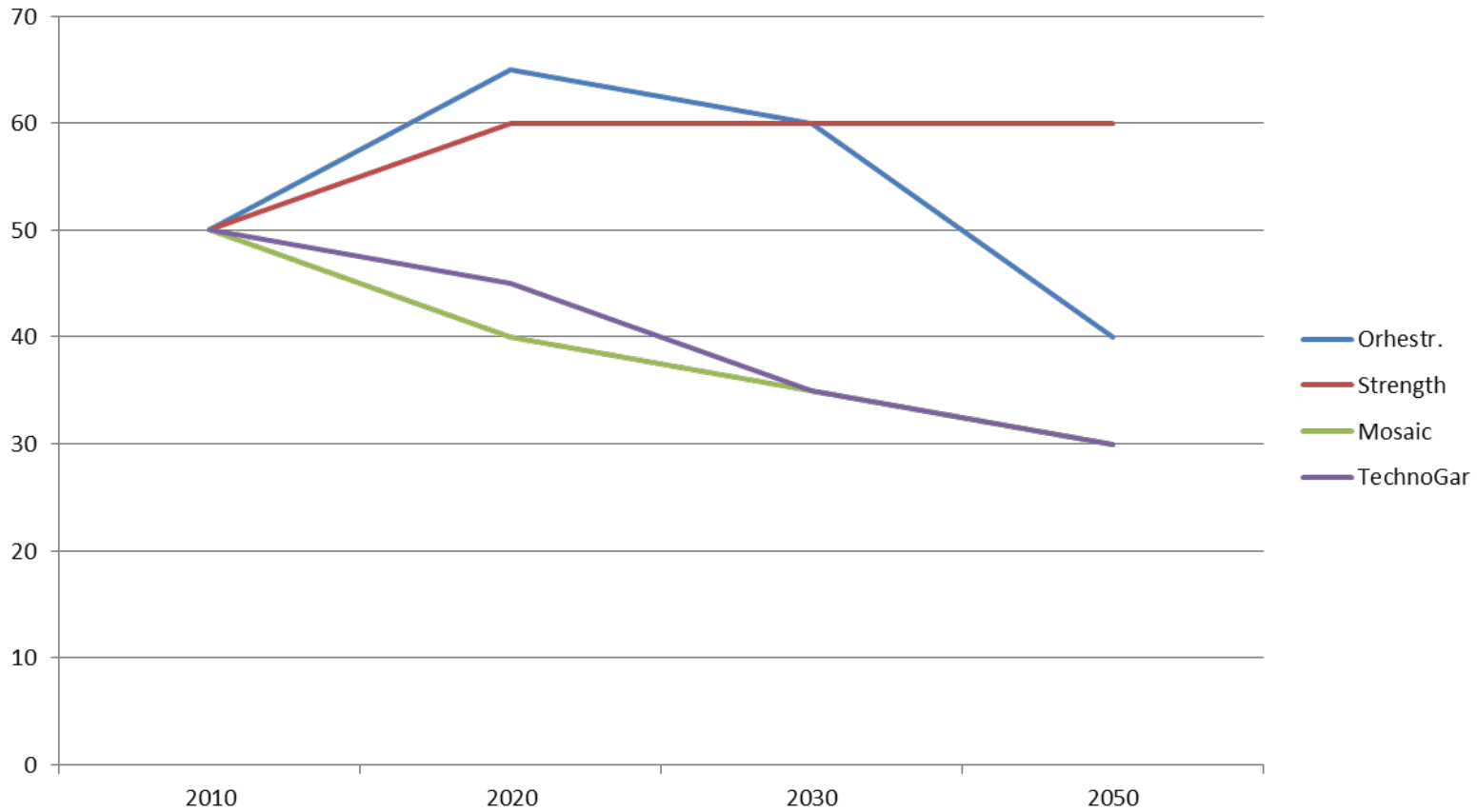


Figure 5. Share of agribusiness model in the updated Millennium Ecosystem Assessment scenarios in the tropical and subtropical areas of the world

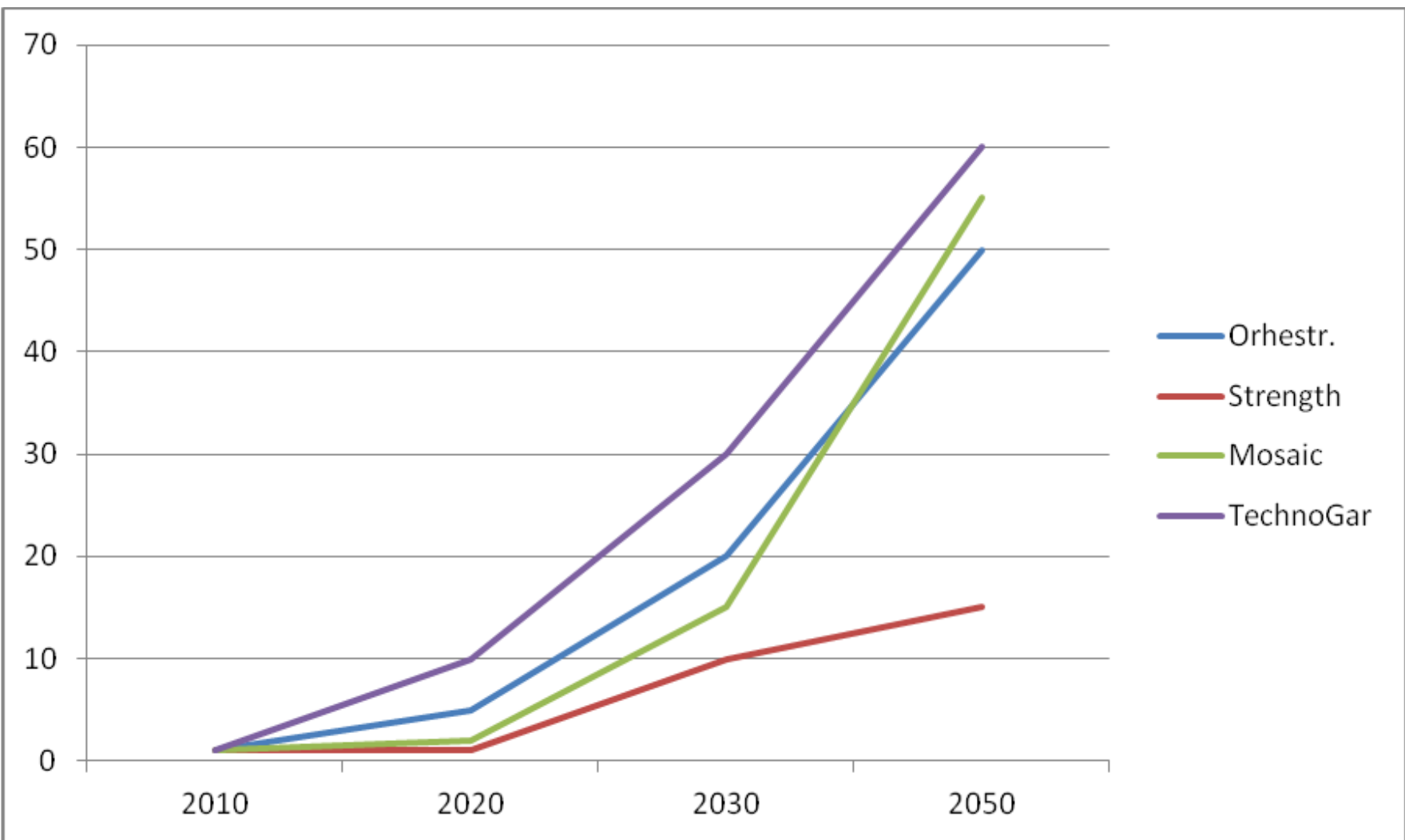


Figure 7. Share of Evergreen Revolution model in the updated Millennium Ecosystem Assessment scenarios in the tropical and subtropical areas of the world

[11](#) Ei tuohyönteinen *Acyrtosiphon pisum*, mistä 303 000 EST -jaksoa

| | |
|--|---------------------------------|
| Maissi (<i>Zea mays</i>) | 4 449 000 (Zea: 4 461 000) |
| Riisi (<i>Oryza sativa</i>) | 1 875 000 (Oryza: 3 665 000) |
| Soija (<i>Glycine max</i>) | 1 789 000 (Glycine: 1 841 000) |
| Vehnä (<i>Triticum aestivum</i>) | 1 156 000 (Triticum: 1 205 000) |
| Rapsi (<i>Brassica napus</i>) | 747 000 (Brassica: 1 889 000) |
| Tomaatti (<i>Solanum lycopersicum</i>) | 638 000 (Solanum: 1 090 000) |
| Ohra (<i>Hordeum vulgare</i>) | 607 000 (Hordeum: 610 000) |
| Puuvilla (<i>Gossypium</i>) | (<i>Gossypium</i> 455 000) |
| Peruna (<i>Solanum tuberosum</i>) | 390 000 (Solanum: 1 090 000) |
| Rypsi (<i>Brassica rapa</i>) | 386 000 (Brassica: 1 889 000) |
| Kyyhkyherne (<i>Cajanus cajan</i>) | 89 000 (Cajanus: 89 000) |
| Kaura (<i>Avena sativa</i>) | 29 000 (Avena: 84 000) |
| Ruis (<i>Secale cereale</i>) | 20 500 (Secale: 21 000) |
| Herne (<i>Pisum sativum</i>) | 16 500 (Pisum: 18 500) |
| Sinimailanen (<i>Medicago sativa</i>) | 15 000 (Medicago: 473 000) |
| Kahvi (<i>Coffea arabica</i>) | 7 000 (Coffea: 65 000) |
| Jatrofa (<i>Jatropha curcas</i>) | 2 500 (Jatropha: 2500) |
| Bataatti (<i>Ipomoea batatis</i>) | 1 (Ipomoea: 1) |