

”Geenimanipulaatio on todellinen gigaluokan ympäristönsuojelu-ongelma, koska geenit muodostavat miltei kaikkia eliökunnan toimintoja ohjaavan järjestelmän. Jos ihminen manipuloi tätä ohjausjärjestelmää siirtämällä mielivaltaisesti geenejä lajista toiseen, voi elämää ylläpitävään luonnontalouden koneistoon tulla ennalta arvaamattomia ekofysiologisia häiriöitä -- kohtalokkain seurauksin.”

Ympäristönsuojelun emeritusprofessori Pekka Nuorteva, Luonnontutkija 5/2005

Geenikoivujen ympäristöriskit

FT Liisa Kuusipalo

kotiosoite: Notkolanrinne 3, 80140 Joensuu

puh. 050-547 6548, email liisa.kuusipalo@iki.fi

Kirjoittaja toimii lapsettomuuspoliklinikan solubiologina Pohjois-Karjalan keskussairaalassa. Hän on väitellyt Itä-Afrikan kalojen evoluutiobiologiasta v. 1999. Vuodesta 2002 hän on ollut jäsenenä Biotekniikan neuvottelukunnassa edustaen Luonnonsuojeluliittoa. Harrastukset laulu, näytteleminen, puutyöt ja hhh-maastajuoksu.

Kuvatekstit:

Kuva 1. Vanha käsitys: yksi yhtenäinen DNA pätkä eli geeni tuottaa vain yhtä lopputuotetta.

Kuva 2. Nykykäsityksen mukaan aitotumallisilla eliöillä geenien pätkät sijaitsevat DNA:ssa toistensa lomassa. RNA kopiota muokataan tarkoituksen mukaiseksi poistaen siitä valikoiden eri introneita. Yhden geenijakson perusteella voidaan valmistaa jopa tuhansia erilaisia proteiineja.

Kuva 3. Geneettisesti muunnellut koivut eristysaitauksessaan Joensuussa helmikuussa 2006. Aidan metallinen alaosa on kokonaan lumen peitossa, eikä suurisilmäinen (2,5 x 2,5 cm) verkko estä pikkunisäkkäiden liikkeitä.

Koivu on Suomen yleisin puulaji. Se on pioneerilaji joka kasvaa useimmissa biotoopeissa koko maassa. Koivulla on monia perinteisiä käyttötapoja joista tunnetuin on tuoksuva ja rentouttava vasta eli vihta.

Muuntogeenitekniikka nauttii Suomessa rahoittajien suosiota. Tämän vuoksi myös koivusta on kehitetty suurella rahalla siirtogeeninen muoto, kukkimaton koivu. Kehittelytyötä ei voi perustella vakavilla tautiongelmilla, lisäämisen vaikeuksilla tai kuluttajien toiveilla.

Metsäsertifikaatit eivät hyväksy geenimuunneltuja puita, eikä Suomen metsätalouden tärkein markkina-alue, Keski-Eurooppa, ole mitenkään geenimuuntelumyönteinen.

Geenitekniikka perustuu vanhentuneeseen tietoon

Aiemmin uskottiin, että yksi geeni tuottaa vain ja ainoastaan yhden ominaisuuden.

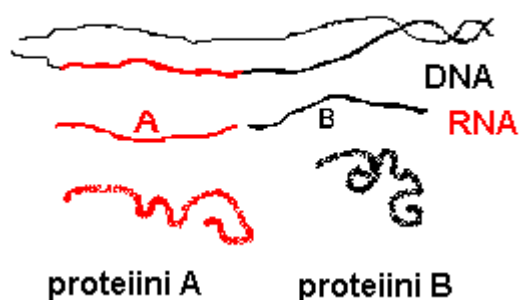
Ihmisellä on kuitenkin noin 100.000 geenituotetta eli proteiinia, geenejä on vain 25.000. Yksi geeni tuottaa monia eri tuotteita yhteisvaikutuksessa muiden kanssa.

”We can no longer say that a gene is a sequence of DNA that continuously and uniquely codes for a particular protein. However, this remains the central paradigm of molecular biology.”

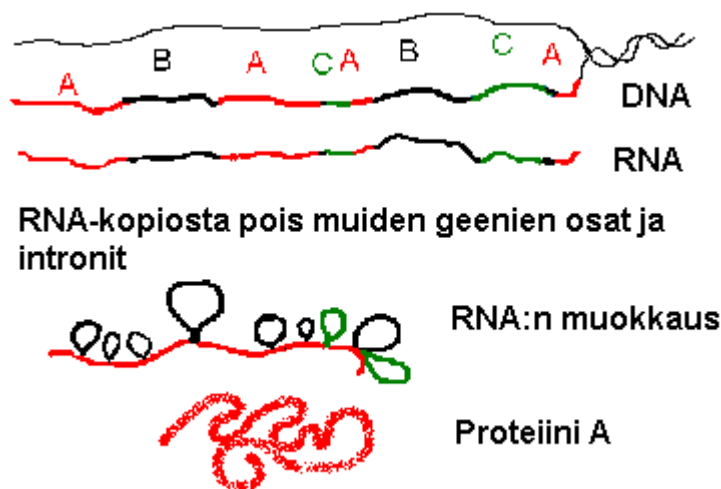
Tällä hetkellä käytössä oleva yliopistollinen genetiikan oppikirja Genes VIII, kirj. B. Lewin 2004.

Kuva 1. Vanha käsitys: yksi yhtenäinen DNA pätkä eli geeni tuottaa vain yhtä lopputuotetta.

Vanha teoria: yksi geeni, yksi tuote



Nykytiedon mukaan aiotumallisilla eli kasveilla ja eläimillä geenit sijaitsevat DNA:ssa pätkinä, joiden väliin jää introneita eli koodautumattomia alueita. Näiden koko merkitystä ei tunneta. Ainakin osa näistä alueista osallistuu geenien ilmenemisen säätelyyn, eli siihen kuinka usein ja missä elimistön soluissa geenit toimivat, sillä koodautumatonta DNA:ta on runsaasti monisoluisilla eliöillä.



Kuva 2. Nykykäsityksen mukaan aitotumallisilla eliöillä geenien pätkät sijaitsevat DNA:ssa toistensa lomassa. RNA kopiota muokataan tarkoituksen mukaiseksi poistaen siitä valikoiden eri introneita. Yhden geenijakson perusteella voidaan valmistaa jopa tuhansia erilaisia proteiineja.

Eri geenien pätkät sijaitsevat DNA:ssa toisensa lomissa (Lewin 2004). Kun geeniä luetaan proteiinin tuottamiseksi, syntyvästä RNA:ta poistetaan ne kohdat, joita ei tarvita. Geenin DNA:ta siis muokataan säädellysti. Tämän RNA:n muokkaustoiminnan ansiosta sama geeni voi tuottaa useita eri proteiineja, enimmillään jopa kymmeniä tuhansia eri versioita. Lisäksi jo hiivalla yksi geeni toimii yhteistyössä 3–8 muun geenin kanssa (Hartman et al. 2001). Geenitekniikassa luoduissa synteettisissä siirtogeeneissä ei ole normaaleihin geeneihin kuuluvia välialueita eli introneita, eikä muiden geenien osia, joten ne muistuttavat rakenteeltaan viruksia. Ei ole myöskään täysin yksiselitteistä, että DNA ja siinä näkyvät geenit olisivat ainoa perinnöllistä informaatiota säilyttävä rakenne. Siirtogeeniset mutantit lituruohot saivat jälkeläisiä, joiden perimä oli palautunut edeltävän sukupolven mukaisesti normaaliksi (Lolle et al. 2005). Proteiinisynteesille koituvat häiriöt eivät ole harmittomia, jos ajatellaan esimerkiksi hullun lehmän taudin aiheuttavia prioneja, epänormaalisti laskostuneita proteiineja, jotka monistavat itse itseään.

Siirtogeenisiin eliöihin lisätään uusi synteettinen geeni väkivaltaisesti ampumalla tai hyödyntämällä bakteereita tai viruksia. Uuden keinotekoisien geenin liittymiskohtaa ei voida määrätä, eikä nykytietämyksellä edes voida määrittellä kohtaa, joka olisi harmiton kohdealue geenin siirrolle (Lewin 2004, Snow et al. 2005). Liittyessään uusi geeni sotkee aikaisemman järjestyksen, ja vaikuttaa näin RNA:n ja proteiinien synteettiin niitä häiriten, ja aiheuttaen ennakoimattomia muutoksia kasvin aineenvaihdunnassa. (Lewin 2004, Snow et al. 2005).

Siirtogeenitekniikka itsessään on vielä alkeellista, eikä sen tuloksia voi ennakoida. Tuloksena voi olla uusien, jopa myrkyllisten aineiden syntymistä. Gm-riisi ei tuottanut sitä myrkyä mikä oli tarkoitus, mutta tappoi kuitenkin sitä syövät hyönteiset (Gahakwa 1999). Geeninsiirron seuraukset ovat yllättäviä, eivätkä kaikki jälkeläiset suinkaan ole samanlaisia, vaikka niissä onkin uusi geeni (Bregitzer et al. 1998). Esimerkiksi tupakkaan siirretty hemoglobiinigeeni sai aikaan nikotiinin tuotannossa 34 % lisäyksen (Holmberg 1997).

Emme pysty ennakoimaan geenin siirron vaikutuksia yksinkertaisimmassakaan eliöissä. Tutkijat ovat raportoineet vahingossa kehitetystä vaarallisesta, immuunivasteen murtavasta hiirirokkoviruksesta (Jackson et al. 2001). Geenimuunnettuja bakteerikantoja käytetään yleisesti vitamiinien ja entsyymien tuotantoon, mutta tämä vanhakin tekniikka sisältää riskejä. Tryptofaani on aminohappo, joka osallistuu serotoniinin tuotantoon, ja sitä on käytetty

USA:ssa ilman reseptiä nukahtamisen helpottamiseen. Bakteerissa geenitekniikalla tuotettu tryptofaani sisälsi 1990-luvulla myös aiemmin tuntematonta yhdistettä, kolmiulotteiselta rakenteeltaan poikkeuksellista tryptofaania, joka aiheutti eosinofilia-myalgia oireyhtymän (Klarskov et al. 2003). Jo erittäin pienet pitoisuudet, alle 0,01 % aiheuttivat tämän tuskallisen sairauden (Klarskov et al. 2003). Uuden 'lihaskipu ja valkosolurunsaus'-oireyhtymän ja geenimuunnellun tryptofaanin yhteys huomattiin sattumalta. Tautia epäiltiin mm. fibromyalgiaksi. Tämä geenimuuntelun synnyttämä aine tappoi USA:ssa 37 ja vammautti 1500 (Mayeno & Gleich 1994). Myrkkyasiantuntijat kehittävät näiden uusien aineiden löytämiseen vaadittavaa tekniikkaa myös Suomessa (Cellini et al. 2004, Kimber & Dearman 2002).

Geeninsiirto-menetelmän epätarkkuudesta kertoo se, että geenin siirrossa kulkeutuu mukana DNA:ta, jonka alkuperää ei tiedetä (Smith, Kilpatrick & Whitlam 2001). Siirtogeenin vaimentaminen on yleistä, eli jonkin ajan kuluttua siirretty geeni lakkaa toimimasta, vaikka se pysyykin kasvin soluissa. Erään tutkimuksen mukaan kaupallisissa soijalajikkeissa siirretty geenijakso on muutamassa vuodessa muuntunut erilaiseksi (Widels et al. 2001).

Muuntogeenisen kasvin tuottamiseen liittyy lisäksi kasvatus solukkoviljelmänä, ja tämä aktivoi kasvin perimässä olevat liikkuvat elementit eli retrotransposonit (Courtial et al. 2001), mikä lisää kasvin ominaisuuksissa ilmenevää muuntelua. Tämän vuoksi voidaan perustellusti sanoa, että geeninsiirto ei ole täsmäjalostusta.

Kasvi pyrkii puolustautumaan

Geeninsiirrossa hyödynnetään esim. aitosyöpä-kasvitautilia aiheuttavaa agrobacteriumia. Kasvissa tämä aiheuttaa puolustusreaktion. Kasvin pyrkiessä puolustautumaan virusmaista (Dalmay et al. 2000) siirtogeeniä vastaan, sen puolustusproteiinien tuotanto nousee (Kimber & Dearman 2002, Bernstein 2003). Tämä lisää allergiariskiä, sillä kasvikunnan puolustusproteiinit ovat myös yleisiä allergian aiheuttajia (Breiteneder & Ebner 2001). Suomen lukuisten koivuallergikkojen kannalta on ikävää, että koivuallergikoille kehittyy helposti myös soija-allergia, varsinkin jos soijaa nautitaan kovasti käsitellyssä muodossa (Mittag et al. 2004). Teollisiin ruokiin soijavalmisteita lisätään hyvin usein niiden prosessoinnin helpottamiseksi. Geenimuunneltu soija sisältää myös ainetta, jota tavallisessa soijassa ei ole, ja se kehittää immuunivasteeseen oman erityisen proteiinin immunoglobuliini E:n, kooltaan 25 kDa (Yum et al. 2005). USA:ssa elintarvikeketjuun vahingossa sotkeutunut gm-maissi Star Link aiheutti 51 yliherkkyystapausta, joissa tarvittiin lääkärin apua (Bernstein 2003). Toksikologit ottavat todesta näiden geenimuuntelun aiheuttamien uusien yhdisteiden syntymisen ja kehittävät analytiikkaa niiden havaitsemiseksi (Cellini et al. 2004, Kimber & Dearman 2002).

Kasvin puolustusaineet ovat karvaita ja pahanmakuisia. Jos niiden pitoisuudet laajalti lisääntyisivät Suomen koivuissa, sen vaikutus kaikkiin Suomen koivuista riippuvaisiin lajeihin voisi olla vakava. Kasvit erittävät valkuaisaineitaan myös ilmaan (Scheller 2001), joten vaikutuksen kohteeksi voi joutua, vaikka ei koivua ravintonaan käyttäisikään.

Virusmainen muuntogeeni siirtyy

Siirtogeenitekniikkaa vakuutellaan turvalliseksi, mutta turvallisuustestit ovat geenitekniikkaa kehittävien yhtiöiden tekemiä, joten yksityiskohdat ovat liikesalaisuuksia, eikä niitä ole julkaistu tieteellisen yhteisön arvioitaviksi. Tieteelliset julkaisut kertovat esimerkkejä siitä, että varovaisuuteen on syytä. Geenimuunnellusta kasvista siirtyy gm-ainesta maaperään ja sen bakteereihin (Nielsen et al. 2001) erittymällä juurista ja siitepölyn kautta (DeVries et al. 2003, Saxena et al. 2004) ja muuntogeeni säilyy maassa neljä vuotta (DeVries et al. 2003), Saksassa yli talven (Meier 2003). Gm-aines kestää kompostoinnin (Guan 2004).

Huolestuttavia ovat tiedot siitä, että syöttökokeessa hiirillä vierasta gm-DNA:ta on ruokailun jälkeen suolistobakteereissa, suolen soluissa, valkosoluissa, maksassa, sapessa ja munuaisissa. Aines kulkeutuu myös istukan läpi sikiöön. (Hohlweg et al. 2001).

Jos hiiri itse on geenimuunneltu, gm-ainesta siirtyy hiirestä suolen bakteereihin, samoihin, jotka elävät myös ihmisen suolessa (Gruzza et al. 1994). Suoliston mikrobien kontaminoituminen on arveluttavaa, sillä suoliston mikrobien monimuotoisuus on yhteydessä esim. allergisoitumiseen (Kalliomäki et al. 2001). Geenitekniikassa yleisesti muuntogeenin siirtäjänä käytetty *Agrobacterium* pystyy siirtämään geenejä myös ihmisoluihin (Kunik et al.

2001), ja toinen yleinen rakenne, kukkakaalin mosaiikkiviruksen promoottori toimii myös ihmissuolen soluissa (Myhre et al. 2006).

On myös julkaisuja siitä, että geenimuunnellun aineksen syöttäminen on tuottanut eläinkokeissa yllättäviä kuolemia ja suolistovaurioita, sekä häiriöitä immuunijärjestelmään (Fares & El-Sayed 1998, Taylor et al. 2003, Ewen & Pusztai 1999), joten asiantuntijat vaativat riippumattomia tutkimuksia turvallisuuden varmistamiseksi (Pryme & Lembcke 2003).

Geenit siirtyvät eliöstä toiseen

Geenien siirtoa on luonnossa tapahtunut kehityshistoriallisesti hyvinkin etäisten eliöiden välillä (Brown 2003). Geenit ovat kulkeutuneet myös kasveista maaperäbakteereihin (DeVries et al. 2004), kasvien loisiin (Davis & Wurdack 2004), parasiittimatoihin (Bird et al. 2003) sekä kasvien kesken (Bergthorsson et al. 2003), kukkakasveista paljassiemeniisiin (Won & Renner 2003), bakteereista kasveihin (Won & Renner 2003), maaperäbakteerien välillä (Lorenz et al. 1991, Dröge et al. 1998, Wilson et al. 2003), bakteereista eläimiin (Penalva et al. 1990), banaanikärpäsestä sen punkkiin (Houck & Clark 1991) ja ihmisen ihon bakteerien välillä (Dowson et al. 1990). On selvää, että näissä geeninsiirtymisissä geenien kuljettajana ei ole ollut siitepöly. Menetelmää ei tunneta, mutta tätä ilmiötä eli horisontaalista geenien siirtymistä on tutkittu vasta vähän aikaa. Sukulaisuus helpottaa geenien siirtymistä (Medrano-Soto et al. 2004, Brown et al. 2003), eli siirtyminen olisi helppoa esim. suomalaisten koivulajien välillä. Muuntogeeninen DNA voi siis levitä ympäristöön siirtogeenisestä koivuviljelmästä. Ainoa horisontaalisen geeninsiirron muoto, jota ihminen on kauemmin tutkinut, on antibioottiresistenssin kehittyminen ja leviäminen bakteerikannasta toiseen. Tämän ilmiön perusteella horisontaalinen geeninsiirto on hyvin yleistä ja evolutiivisesti nopeaa. Bakteereille ympäristössä oleva DNA on raaka-ainetta jota ne liittävät osaksi omaa perimäänsä (Meier & Wackernagel 2003) saadakseen uusia aineenvaihduntareittejä ja sopeutuakseen paremmin ympäristöoloihin (Springael & Top 2004). Bakteereilla horisontaalista geeninsiirtoa lisää valintapaine (Elsas & Bailey 2002) tai erityisen suotuisat kasvuolosuhteet (Dröge et al. 1998).

Ympäristövaikutuksia

Geneettisesti muunnellun eliön ekosysteemivaikutus voi olla suuri ja yllättävä, kuten on todettu kasviyhdyksillä (Vacher et al. 2004), gm-lohella (Devlin et al. 2004) ja japanilaisella medaka-kalalla (Muir & Howard 1999), monarkkiperhosella (Jesse & Obrycki 2000), riisipellon niveljalkaisilla (Liu et al. 2003) ja kasvien sienilajistolla (Gatch & Munkvold 2002). Esim. Amerikan ekologinen seura vaatii tiukkoja testejä ympäristövaikutusten selvittämiseksi. Ympäristölle aiheutuvia riskejä ovat mm. uusien hankalampien loisien, rikkakasvien ja taudinaiheuttajien kehittyminen, muulle eliöstölle aiheutuvat vahingot (maaeliöt, hyönteiset, linnut ja muut eläimet), haitalliset vaikutukset eliöyhteisöihin ja

peruuttamattomat menetykset lajistossa tai sen biodiversiteetissä (Snow et al. 2005). Muuntogeenisen eliön eristäminen luonnosta ei ole mahdollista enää sen jälkeen kun se on laskettu vapauteen (Snow et al. 2005).

Gm-pelloilla on alempi biodiversiteetti (Burke 2003). Geenimuunneltuja viljelykasveja syövät toukat eivät enää kelpaa sen luontaiselle pedolle (Hilbeck 2004), ja siitepölyä nauttivat ampiaiset kärsivät (Romeis 2003), joten gm-kasvit vaikuttavat koko ravintoketjuun. Biodiversiteettiin gm-koivuviljelmät vaikuttaisivat alentavasti, sillä ne ovat perimältään identtisiä klooneja.

Geneettisesti muunneltujen viljelykasvien vaikutukset viljelykäytäntöihin ovat olleet päinvastaiset kuin niiden piti olla, sillä USA:ssa hyönteismyrkkujen käyttö on gmo:en käyttöaikana lisääntynyt, eikä vähentynyt (Benbrook 2004).

Geneettinen saastuminen

Geneettinen saastuminen tarkoittaa tilannetta, jossa vieras DNA liittyy alkuperäiseen eliöstöön, kuten on käynyt esim. Meksikon maatiaismaisille (Quist 2001). Vierasta DNA:ta ei voi siilata tai puhdistaa pois. Vieras DNA voidaan tuhota vain tuhoamalla kaikki sen saastuttamat eliöt. Siksi geneettinen saastuminen on peruuttamaton tilanne, ja sen riski on otettava vakavasti.

Koivu on elintärkeä Suomen luonnolle

Suomessa koivu on elintärkeä ravintokohde monelle nisäkkäälle (hirvet, jänikset, peurat, hiiret ja myyrät), kanalinnuille (teeret, pyyt ja riekot) ja lukuisille pikkulinnuille: siemensyöjille kuten urpiaisille, vihervarpusille, peipolle, järripeipolle; tikoille, varsinkin valkoselkätikoille; hyönteissyöjille kuten kertuille, tiaisille, puukiipijöille, hippiäisille, kerttusille ja siepoille. Koivu on myös ehdoton ruokailukohde ravintoketjun alussa oleville hyönteisille kuten kirvoille, luteille, perhosille ja kovakuoriaisille. Muurahaisille ja hämähäkeille koivu on tärkeä ravinto- tai ruokailupaikka. Kasvualustana koivu on tärkeä sammalille, jäkälille ja naavoille, pesäpaikkana linnuille ja karikkeen tuottajana maaperälle ja sen eliöille eli koko metsän pohjalle. Koivun mykoritsasieniä on Suomessa paljon, herkullisimpina kantarelli ja koivunpunikitatti. Näitä sieniä hajottavat sienisääsket ja kuoriaiset päätyvät edelleen muiden ravinnoksi. Myös koivun puuaineksen hajottajia on lukuisia, niin kääpiä, ruosteita kuin homeitakin. Kokeen seurauksena altistuu valtava joukko luontomme eliöitä, koska koivu vaikuttaa lähes kaikissa suomalaisissa ravintoketjuissa.

Suljettu koe turvallinen

Jos halutaan todella tutkia vaikutukset näihin kaikkiin, kokeet on tehtävä suljetuissa keino-ekosysteemitiloissa, ei avoimissa aitauksissa altistaen koko ympäristö ja sen eliöt. Mallina voi

käyttää lloimantsin ilmastomuutoskammioita. Suljetun kokeen jälkeen vaikutukset näkyvät selvinä ja koe on turvallinen ympäristölle.

Kokeen tarpeettomuus ja riski

Kasvien geneettinen muuntelu on maailmalla edelleen kokeellinen tekniikka. Geneettisesti muunneltuja viljelykasveja on laajemmassa viljelykäytössä vain kolmessa maailman maassa (USA, Kanada ja Argentiina). Koko maailman maatalousmaasta on gm-kasveilla viljeltynä vain 1,3 % (FAO:n tilastoissa maatalousmaata 5,019 milj.ha, www.isaaa.org sivuilla gm-peltoja 67,7 milj.ha). Geneettisesti muunneltuja metsäpuita ei viljellä vielä missään, ja kenttäkokeitakin on vain muutama. Biotekninen mallipuu on poppeli (Hawkins et al. 2003), jota kasvatetaan laajalti Pohjois-Amerikassa, ja jonka genomi on pieni, vain 4 kertaa Arabidopsiksen genomia suurempi (Joint Genome Institute, Uumajan, Tukholman ja Iowan yliopistot). Koivun kasvatusta on pohjoismainen erikoisuus, joten mitään taloudellisia hyötyjä ei kokeesta ole näkyvissä.



Kuva 3. Geneettisesti muunnellut koivut eristysaitauksessaan Joensuussa helmikuussa 2006. Aidan metallinen alaosa on kokonaan lumen peitossa, eikä suurisilmäinen (2,5 x 2,5 cm) verkko estä pikkunisäkkäiden liikkeitä.

Aitauksessa pellolla tehtävässä viljelyssä kasvit ovat vuorovaikutuksessa koko Pohjois-Karjalan ekosysteemin kanssa. Avoimessa kokeessa vaikutuksia ei voi seurata, sillä aitauksilla ei voida sulkea pois lentäviä eläimiä. Helmikuussa lumipeite ulottuu metallilevyaidan yläpintaan, joten kiipeileviä pikkunisäkkäitä se ei estä. Eläinten pääsemistä tekemisiin geenimuunneltujen koivujen kanssa ei kokeen tekijöiden mukaan ole edes tarkoitus estää. Alkeellisiakaan altistuskokeita hyönteisillä tai myyrillä ei ole tehty ennen koivujen sijoittamista ulkoilmaan.

Kenttäkokeen tarkoitus ei ole luoda Suomeen tai muualle maailmaan sopivia klooniviljelmiä. Kokeen tekijät ajattelevat altistavansa herkän kasvihuonekoivun villille luonnolle ja seuraavansa taimien selviytymistä. He eivät ajattele altistavansa Suomen luontoa alkeelliselle ja arvaamattomalle geeniteknikalle. Jos kokeesta karkaa yksikin siirtogeenijakso villiin koivuun, josta se sattumalta löydetään, menee Suomelta maine puhtaan puuston maana. Koivumetsien ja suomalaisen metsätalouden imago muuttuu. Puhtaus ja koskemattomuus on menetetty.

Suomalaisen metsätalouden kannalta on sama, aiheuttaako karannut geeni mitään vaaraa luonnolle, jos se aiheuttaa Keski-Euroopan ostajien katoamisen. Suomen metsätalous ei ole kiinnostunut biodiversiteettiä alentavista kloonipuuviljelmistä, ja käytössä olevat metsäsertifikaatit FFCS/PEFC ja FSC ovat sanoutuneet irti gm-puista.

Kenttäkoe perustuu alkeelliseen ja arvaamattomaan tekniikkaan, ja siitä voi levitä keinotekoisista geneettistä ainesta ympäristöön. Kokeessa otetaan erittäin suuri riski, joka toteutuessaan aiheuttaisi suurta vahinkoa Suomen luonnolle ja maineelle.

Lähteet:

Benbrook, C.M. 2004: Genetically engineered crops and pesticide use in the United States: the first nine years. Technical paper 7. Bio Tech Info Net. Northwest Science and Environmental Policy center, Sandpoint Idaho, October 25, 2004.

Bergthorsson, U., Adams, K.L., Thomason, B., Palmer, J.D. 2003: Widespread horizontal transfer of mitochondrial genes in flowering plants. *Nature* 424:197--210.

Bernstein, J.A., Bernstein, I.L., Buccini, L., Goldman, L.R., Hamilton, R.G., Lehrer, S., Rubin, C., Sampson, H.A. 2003: Clinical and laboratory investigation of allergy to genetically modified foods. *Environ. Health Perspect.* 111(8):1114--1121.

Bird, D.M., Opperman, C.H., Davies, K.G. 2003: Interactions between bacteria and plant-parasitic nematodes: now and then. *Int. J. Parasit.* 33:1269--1276.

Bregitzer, P., Halbert, S.E., Lemaux, P.G. 1998: Somaclonal variation in the progeny of transgenic barley. *Theor. Appl. Gen.* 96:421--425.

- Breitender, H. & Ebner, C. 2001: Atopic allergens of food plants. *Curr.Opin.Allergy Clin.Immunol.* 2001 Jun;1(3):261--267.
- Brown, J.R. 2003: Ancient horizontal gene transfer. *Nature Reviews: Genetics* 4:121--132.
- Brown, E.W., Mammel, M.K., LeClerck, J.E., Cebula, T.A. 2003: Limited boundaries for extensive horizontal gene transfer among *Salmonella* pathogens. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100:15676--15681.
- Burke, M. 2003: GM crops may harm biodiversity. *Environmental Science & Technology* 37(23):425A--426A. Dec 2003.
- Cellini, F., Chesson, A. Colquhoun, I., Constable, A., Davies, H.V., Engel, K.H., Gatehouse, A.M.R., Kaerenlampi, S., Kok, E.J., Leguay, J-J.- Lehesranta, S., Noteborn, H.P.J.M., Pedersen, J., Smith, M. 2004: Unintended effects and their detection in genetically modified crops. *Food and Chemical Toxicology* 42(7):1089--1125.
- Courtial, B., Feuerbach, F., Eberhard, S., Rohmer, L., Chiapello, H., Camilleri, C., Lucas, H. 2001: Tnt1 transposition events are induced by in vitro transformation of *Arabidopsis thaliana*, and transposed copies integrated into genes. *Molecular Genetics and Genomics* 2001 Mar 265(1):32--42.
- Davis, C.C. & Wurdack, K.J. 2004: Host-to-parasite gene transfer in flowering plants: Phylogenetic evidence from Malpighiales. *Science* 305:676--678.
- Devlin, R.H., D'Andrade, M. Uh, M., Biagi, C.A. 2004: Population effects of growth hormone transgenic coho salmon depend on food availability and genotype by environment interactions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101(25):9303--9308.
- DeVries, J., Heine, M., Harms, K., Wackernagel, W. 2003: Spread of recombinant DNA by roots and pollen of transgenic potato plants, identified by highly specific biomonitoring using natural transformation of an *Acinetobacter* sp.. *Applied and environmental Microbiology* 69:4455--4462.
- DeVries, J., Herzfeld, T., Wackernagel, W. 2004: Transfer of plastid DANN from tobacco to the soil bacterium *Acinetobacter* sp. by natural transformation. *Molecular Microbiology* 53:323--334.
- Dowson, C.G., Hutchinson, A., Woodford, N., Johnson, A.P., George, R.C., Spratt, B.G. 1990: Penicillin resistant viridans streptococci have obtained altered penicillin-binding protein genes from penicillin-resistant strains of *Streptococcus pneumoniae*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87(15):5858--5862.
- Dröge, M., Pühler, A, Selbitschka, W. 1998: Horizontal gene transfer as a biosafety issue: A natural phenomenon of public concern. *Journal of biotechnology* 64(1):75--90.
- Elsas, J.D.van & Bailey, M.J. 2002: The ecology of transfer of mobile genetic elements. *FEMS microbiology ecology* 42:187--197.
- Ewen, S.W. & Pusztai, A. 1999: Effects of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine. *Lancet* 354(9187):1353--1354.

- Fares, N.H. & El-Sayed, A.K. 1998: Fine structural changes in the ileum of mice fed on endotoxin-treated potatoes and transgenic potatoes. *Natural Toxins* 6:219--233.
- Gahakwa, D., Maqbool, S.B., Fu, X., Sudhakar, D., Christou, P., Kohli, A. 1999: Transgenic rice as a system to study the stability of transgene expression: multiple heterologous transgenes show similar behaviour in diverse genetic backgrounds. *Theor. Appl. Genet.* 101:388--399.
- Gatch, E.W. & Munkvold, G.P. 2002: Fungal species composition in maize stalks in relation to European corn borer injury and transgenic insect protection. *Plant Disease* 86(10):1156--1162.
- Gruzza, M., Fons, M., Ouriet, M.F., Duval-Iflah, Y, Ducluzeau, R. 1994: Study of gene transfer in vitro and in the digestive tract of gnotobiotic mice from *Lactococcus lactis* strains to various strains belonging to human intestinal flora. *Microbial releases* 2(4):183--184.
- Guan, J., Spencer, J.L., Sampath, M., Devenish, J. 2004: The fate of a genetically modified *Pseudomonas* strain and its transgene during the composting of poultry manure. *Canadian Journal of Microbiology* 50(6):415--421.
- Hartman, J., Garvik, B., Hartwell, L. 2001: Principles for the buffering of genetic variation. *Science* 291:1001--1004.
- Hawkins, S., Leple, J.C., Cornu, D., Jouanin, L., Pilate G. 2003. Stability of transgene expression in poplar: A model forest tree species. *Annales of Forest Science* 60(5):427--438.
- Hilbeck, A. 2004: Implications of transgenic, insecticidal plants for insect and plant biodiversity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 4(1):43--61.
- Hohlweg, U. & Doerfler, W 2001: On the fate of plant or other foreign genes upon the uptake in food or after intramuscular injection in mice. *Mol. Genet. Genomics* 265:225--233.
- Holmberg, N., Lilius, G., Bailey, J.E. Buelow, L. 1997: Transgenic tobacco expressing *Vitreoscilla* haemoglobin exhibits enhanced growth and altered metabolite production. *Nature Biotechnology* 15(3):244--247.
- Houck, M.A. & Clark, J.B. 1991: Possible horizontal transfer of *Drosophila* genes by the mite *Proctolaelaps regalis*. *Science* 253:1125--1129.
- Jackson, R.J., Ramsay, A.J., Christensen, C.D., Beaton, S., Hall, D.F., Ramshaw, I.A. 2001: Expression of Mouse Interleukin-4 by a Recombinant Ectromelia Virus Suppresses Cytolytic Lymphocyte Responses and Overcomes Genetic Resistance to Mousepox. *Journal of Virology [J. Virol.]*. Vol. 75, no. 3, pp. 1205--1210. Feb 2001.
- Jesse, L.C.H. & Obrycki J.J. 2000: Field deposition of BT transgenic corn pollen: lethal effect on the monarch butterfly. *Oecologia* 2000(125):241--248.
- Kalliomäki, M., Salminen, S., Arvilommi, H., Kero, P., Koskinen, P., Isolauri E. 2001: Probiotics in primary prevention of atopic disease: a randomised placebo-controlled trial. *Lancet* 357(9262):1076--1079.
- Kimber, I. & Dearman, R.J. 2002: Approaches to assessment of the allergenic potential of novel proteins in food from genetically modified crops. *Toxicological Sciences* 2002 Jul, 68(1): 4--8.

- Klarskov, K., Johnson, K.L., Benson, L.M., Cragun, J.D., Gleich, G.J., Wrona, M., Jiang, X.R., Dryhurst, G. & Naylor, S. 2003: Structural characterization of case-implicated contaminant, "Peak X", in commercial preparations of 5-hydroxytryptophan. *J.Rheumatol.* 30(1):89--95.
- Kunik, T., Tzfira, T., Kapulnik, Y., Gafni, Y., Dingwall, C., Citovsky, V. 2001. Genetic transformation of HeLa cells by *Agrobacterium*. *PNAS USA* 98:1871--1887.
- Lewin, B. 2004: *Genes VIII*. 8th ed. of *Genes*. Upper Saddle River, NJ Pearson Prentice Hall 2004. 1027 s.
- Liu, Z-C., Ye, G-Y., Hu, C., Datta, S.K. 2003: Impact of transgenic indica rice with a fused gene of cry1Ab/cry1Ac on the rice paddy arthropod community. *Acta entomologica Sinica* 46(4):454--465.
- Lolle, S.J., Victor, J.L., Young, J.M., Pruitt, R.E. 2005: Genome-wide non-mendelian inheritance of extra-genomic information in *Arabidopsis*. *Nature* 434:505--509.
- Lorenz, M.G., Gerjets, D., Wackernagel, W. 1991: Release of transforming plasmid and chromosome DNA from two cultured soil bacteria. *Archives of Microbiology* 156:319--326.
- Mayeno, A.N. & Gleich, G.J. 1994: Eosinophilia-myalgia syndrome and tryptophan production: A cautionary tale. *Trends in Biotechnology* 12(9):346--352.
- Medrano-Soto, A., Morreno-Hagelsieb, G., Vinuesa, P., Christen, J.A., Collado-Vides, J. 2004: Successful lateral transfer requires codon usage compatibility between foreign genes and recipient genomes. *Mol. Biol. Evol.* 21:1884--1894.
- Meier, P. & Wackernagel, W. 2003: Monitoring the spread of recombinant DNA from field plots with transgenic sugar beet plants by PCR and natural transformation of *Pseudomonas stutzeri*. *Transgenic Research* 12:293--304.
- Mittag, D., Vieths, S., Vogel, L., Becker, W.M., Rihs, H.P., Helbling, A., Wuthrich, B., Ballmer-Weber, B.K. 2004: Soybean allergy in patients allergic to birch pollen: clinical investigation and molecular characterization of allergens. *J. Allergy Clin. Immunol.* 2004 Jan, 113(1): 148--154.
- Muir, W.M. & Howard, R.D. 1999: Possible ecological risks of transgenic organism release when transgenes affect mating success: Sexual selection and the Trojan gene hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96(24):13853--13856.
- Myhre, M.R., Fenton, K.A., Eggert, J., Nielsen, K.M. and Traavik, T. 2006: The 35S CaMV plant virus promoter is active in human enterocyte-like cells. *European Food Research and Technology* 222(1--2):185 – 193.
- Nielsen, K.M., Elsas, J.D. van, Smalla, K. 2001: Dynamics, horizontal transfer and selection of novel DNA in bacterial populations in the phytosphere of transgenic plants. *Annales of Microbiology* 51:79--94.
- Nuorteva, P. 2005: Kiljuhanhet ja geenimanipulaatio. *Luonnon tutkija* 5/2005: 196--199.

- Penalva, M.A., Moya, A., Dopazo, J., Ramon, D. 1990: Sequences of isopenicillin N synthetase genes suggest horizontal gene transfer from prokaryotes to eukaryotes. *Proc. Royal Soc. London, Series B: Biological Sciences* 241:164--169.
- Pryme, I.F. & Lembcke, R. 2003: In vivo studies on possible health consequences of genetically modified food and feed – with particular regard to ingredients consisting of genetically modified plant materials. *Nutrition and Health* 17:1--8.
- Quist, D. & Chapela, I.H. 2001: Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414:541--543.
- Romeis, J. 2003: Consumption of snowdrop lectin (*Galanthus nivalis* agglutinin) causes direct effects on adult parasitic wasps. *Oecologia* 134(4):528--536. March 2003.
- Saxena, D., Stevart, C.N., Altosaar, I., Shu, Q., Stotzky, G. 2004: Larvicidal Cry proteins from *Bacillus thuringiensis* are released in root exudates of transgenic *B. thuringiensis* corn, potato, and rice, but not of *Bt. th. canola*, cotton and tobacco. *Plant Physiol. Biochem.* 42(5): 383--387.
- Scheller, E. 2001: Amino acids in dew – origin and seasonal variation. *Atmospheric environment* 35:2179--2192.
- Smith, N., Kilpatrick, J.B. & Whitelam, G.C. 2001: Superfluous transgene integration in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 20(3):215--249.
- Snow, A.A., Andow, D.A., Gepts, P., Hallerman, E.M., Power, A., Tiedje, J.M., Wolfenbarger, L.L. 2005: Genetically engineered organisms and the environment: Current status and recommendations. *Ecological Society of America Report. Ecological Applications* 15(2): 377--404.
- Springael, D. & Top, E.M. 2004: Horizontal gene transfer and microbial adaptation to xenobiotics: new types of mobile genetic elements and lessons from ecological studies. *Trends in Microbiology* 12:53--58.
- Taylor, M.L., Hartnell, G.F., Riordan, S.G., Nemeth, M.A., Karunanandaa, K., George, B., Astwood, J.D. 2003: Comparison of broiler performance when fed diets containing grain from Roundup Ready (NK603), Yield Gard x Roundup Ready (MON810 x NK603), non transgenic control, or commercial grain. *Poultry Science* 2003 Mar 82(3):443--453.
- Vacher, C. Weis, A.E., Hermann, D., Kossler, T., Young, C., Hochberg, M.E. 2004: Impact of ecological factors on the initial invasion of Bt transgenes into wild populations of birdseed rape (*Brassica rapa*). *Theor. Appl. Genet.* 109(4):806--814.
- Widels, P., Taverniers, I., Depicker, A., Bockstaele, E. van, Loose, M. de 2001: Characterisation of the Roundup Ready soybean insert. *European Food Research and Technology* 213(2):107--112. Aug 2001.
- Wilson, M.S., Herrick, J.B., Jeon, C.O. Hinman, D.E., Madsen, E.L. 2003: Horizontal transfer of *phnAc* dioxygenase genes within one of the phenotypically and genotypically distinctive

naphtalene-degrading guilds from adjacent soil environments. *Applied and environmental Microbiology* 69:2172--2181.

Won, H. & Renner, S.S. 2003: Horizontal gene transfer from flowering plants to *Gnetum*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 100:10824--10829.

Yum, H.Y., Lee, S.Y., Lee, K.E., Sohn, M.H., Kim, K.E. 2005: Genetically modified and wild soybeans: an immunological comparison. *Allergy Asthma Proc.* May--Jun, 26(3):210--216.