



KASVIGEENITEKNIikka RAVINNONTUOTANNOSSA

Ahti Salo, Veli Kauppinen ja Mikko Rask

TIIVISTELMÄ

MITÄ KASVIGEEENITEKNIikka ON?

Kasvigeenitekniikka on kasveihin kohdistuvaa geenitekniikkaa, jonka avulla kasvinjalostuksessa voidaan tehdä geeninsiirtoja yli laji- ja eliörajojen. Geeninsiirroilla kasveille pyritään antamaan tavoiteltuja ominaisuuksia, joita ovat muun muassa vastustuskyky hyönteisiä, torjunta-aineita tai tauteja vastaan sekä muunnetut laatuominaisuudet, kuten esimerkiksi öljykasvien parannettu rasvahappokoostumus.

MIKSI KASVIGEEENITEKNIikka ON AJANKOHTAINEN?

Kasvigeenitekniikka on tällä hetkellä monestakin syystä ajankohtainen:

1. Syksyllä 1998 eduskunnan käsiteltäväksi tulee komission muutosehdotus direktiivistä 90/220/ETY, joka koskee geenitekniikalla muunnettujen kasvien tarkoituksellista levittämistä ja markkinoille saattamista. Direktiiviä on sovellettu EU:ssa syksystä 1991. Sen toiminna on kuitenkin nähty puutteita, jotka koskevat muun muassa riskien arvioinnin epäyhtenäisyyttä, sovellusalueen rajoituksia koskevien tulkintaeroja ja ilmoitusmenettelyjen hitautta.
2. On mahdollista, että Suomen markkinoille tulee tulevaisuudessa geenitekniikalla muunnetuista organismeista (GMO) valmistettuja elintarvikkeita. Geenitekniikalla muunnettujen eli *siirtogeenisten* kasvien viljely on EU:n ulkopuolella nopeasti laajenemassa, ja EU:n markkinoille ravintokasveista on hyväksytty siirtogeeninen maissi, rapsi, soija ja salaattisikuri.
3. Siirtogeeniset kasvit ovat olleet kiistanalaisia. Kesäkuussa 1998 Sveitsissä vietiin kansanäänestykseen aloite, jonka hyväksyminen olisi olennaisesti kieltänyt kaiken geenitekniikan toiminnan; äänestäjistä 65 % vastusti aloitteen hyväksymistä. Helmikuussa 1997 Itävalta ja Luxemburg kielsivät EU:n markkinoille hyväksytyn *Bt*-maissin käytön alueellaan. Tiedekomiteita kuultuaan komissio esitti näiden kieltojen purkamista, mutta muodollisesti asian käsittely on edelleen kesken.

MITÄ KASVIGEENITEKNIikka MERKITSEE KASVINJALOSTUKSESSA?

Mihin kasvinjalostus perustuu?

Kasvinjalostus, samoin kuin luonnon evoluutiokin, perustuu *perinnölliseen muunteluun* ja *valintaan*. Kasvigeenitekniikka lisää kasvinjalostuksen käytettävissä olevan perinnöllisen muuntelun määrää, koska geeninsiirtojen avulla kasveille voidaan antaa sellaisia ominaisuuksia, jotka perustuvat muista organismeista peräisin olevien geenien toimintaan. Jos esimerkiksi perunaan siirretään geeni, joka tuottaa koloradokuoriaiselle myrkyllistä valkuaisainetta, voidaan jalostustyön tuloksena kehittää koloradokuoriaisen kestävä peruna.

Mitä ominaisuuksia geeninsiirrot antavat kasveille?

Tärkeimpiä geeninsiirroilla annetuista ominaisuuksista ovat

- *hyönteiskestävyys* eli *-resistenssi*, jolloin kasvi tuottaa jollekin tuholaishyönteiselle myrkyllistä valkuaisainetta
- *herbisidi-* eli *torjunta-ainekestävyys*, jolloin kasvi kestää jonkin verran rikkakasvihävitteen tehoainetta, jota tällöin voidaan käyttää kasvin viljelyksillä rikkaruohojen torjumiseksi
- *tautikestävyys*, jolloin kasvilla on vastustuskyky jotakin taudinaiheuttajaa, esimerkiksi virusta vastaan
- *muuttuneet laadulliset ominaisuudet*, kuten esimerkiksi parantunut ravintoainekoostumus (esimerkiksi enemmän monitydyttämättömiä rasvahappoja sisältävä rapsi).

Tutkimus- ja kehitystyön kohteena on muitakin ominaisuuksia, kuten parempi kylmän, suolaisuuden tai kuivuuden kestävyys.

Miten geenejä siirretään?

Geenejä voidaan siirtää kasveihin 1) *siirtovektoreilla*, jotka ovat kasvisoluun tunkeutuvia virus- tai bakteeriperäisiä geenirakenteita ja 2) *geenipommituksella*, jossa DNA siirretään soluun fysikaalisin keinoin, esimerkiksi sekoittamalla DNA pienten metallipartikkelien kanssa, jotka sitten ammutaan kasvisoluun. Kummassakaan siirtotapahtumassa ei etukäteen tiedetä, asettuuko geeni kasvin kromosomistoon, mihin kohtaan se mahdollisesti asettuu ja toimiiko se toivotulla tavalla. Onnistuneiden geeninsiirtojen tuloksena saadut kasvit on tämän takia tunnistettava, minkä jälkeen niistä voidaan kehittää kaupallisia lajikkeita käyttämällä perinteisen kasvinjalostuksen menetelmiä.

Mihin kasveihin geenejä on siirretty?

Ensimmäinen geeninsiirto kasveilla tehtiin tupakkaan vuonna 1983. Vuoteen 1992 mennessä geenejä oli siirretty kaikkiin tärkeimpiin kasvilajeihin, muun muassa vehnään, oh-

raan, rukiiseen, perunaan, riisiin ja soijaan. 1990-luvun kuluessa siirtogeenisillä kasveilla tehtyjen kenttäkokeiden lukumäärä on kasvanut nopeasti: vuoteen 1997 mennessä kenttäkokeita oli tehty 25 000, joista noin 72 % USA:ssa ja 15 % EU/EFTA-maissa. Eniten kokeita tehtiin maisilla, rypsilä, perunalla, tomaatilla ja soijalla. Vuonna 1997 Suomessa tehtiin seitsemän kenttäkoetta. Kasveina niissä olivat ohra, sokerijuurikas, rypsi, peruna, kuusi, mänty ja rauduskoivu.

Mitä siirtogeenisiä kasveja on viljelyssä?

Vuonna 1997 markkinoille oli hyväksytty 48 erilaista siirtogeenistä kasvilajiketta, joiden yhteenlaskettu viljelypinta-ala oli noin 12,8 miljoonaa hehtaaria. Eniten viljeltiin siirtogeenistä soijaa (5,1 milj. ha), maissia (3,2 milj. ha), tupakkaa (1,6 milj. ha) ja puuvillaa (1,4 milj. ha). Laajinta viljely oli USA:ssa (8,1 milj. ha), joskin myös Kiinassa (1,8 milj. ha) ja Argentiinassa (1,4 milj. ha) viljely oli merkittävää. EU:ssa siirtogeenisiä kasveja ei vuonna 1997 ollut kaupallisessa viljelyssä, mutta tänä vuonna siirtogeenisen maissin viljely alkaa muun muassa Ranskassa.

Miten kasvigeenitekniikka eroaa perinteisestä kasvinjalostuksesta?

Koska kasvit risteytyvät vain sukulaistensa kanssa, niin risteytysten avulla perinnöllistä muuntelua voidaan kasvinjalostuksessa lisätä vain niillä ominaisuuksilla, joita näillä sukulaisilla on. Risteytyksissä kasviin siirtyy halutun ominaisuuden antavien geenien lisäksi myös muita geenejä, joita on risteytyksen jälkeen karsittava aikaavievien takaisinristeytysten avulla.

Toinen tapa lisätä perinnöllistä vaihtelua on mutaatioiden tuottaminen esimerkiksi säteilytyksellä tai kemiallisilla myrkyillä, joita molempia on perinteisessä kasvinjalostuksessa käytetty kauan. Tällöin mutaatiot ovat kuitenkin sattumanvaraisia, ja lajikkeiden kehittäminen edellyttää lukuisten mutaatioiden tuottamista sekä huolellista valintaprosessia halettujen ominaisuuksien tunnistamiseksi ja edelleen jalostamiseksi.

Kasvigeenitekniikalla kasvinjalostuksen käytössä olevaa perinnöllistä vaihtelua voidaan lisätä siirtämällä kasveihin geenejä organismeista, joiden kanssa kasvit eivät normaalisti risteydy. Näin geeninsiirrot 1) lisäävät niiden ominaisuuksien määrää, joita kasveille voidaan antaa sekä 2) nopeuttavat kasvinjalostusta, koska kasveihin ei siirry muita, epätoivottuja ominaisuuksia antavia geenejä, jotka olisi poistettava takaisinristeytyksillä. Koska siirtogeenisillä kasveilla voi olla uusia ominaisuuksia, niiden terveys- ja ympäristövaikutusten katsotaan edellyttävän erityisarviointia.

MITEN KASVIGEEENITEKNIikkaAN SUHTAUDUTAAN?

Kasvigeenitekniikan sovellukset rikkovat perinteisen kasvinjalostuksen rajoja. Tästä syystä esille on noussut kysymyksiä siitä, ovatko geeninsiirrot oikeutettuja ja hallitaanko kasvaneisiin mahdollisuuksiin liittyvät terveys- ja ympäristöriskit.

Miten suomalaiset suhtautuvat kasvigeenitekniikkaan?

Geenitekniikan katsotaan tarjoavan mahdollisuuksia elämänlaadun parantamiseen, mutta samalla se herättää enemmän epävarmuutta ja moraalisia kysymyksiä kuin monet muut teknologiat (tietotekniikka, uudet materiaalit). Geenitekniikan sovellusten hyväksynnän edellytyksenä pidetään hyödyllisyyttä, jonka nimissä riskejä ollaan valmiita jossain määrin hyväksymään. Toisaalta moraaliset näkökohdat voivat toimia hyödyistä ja riskeistä riippumattomana hylkäämisperusteena.

Loka-marraskuussa 1996 toteutetun Eurobarometri-selvityksen valossa suomalaiset suhtautuvat geenitekniikkaan maa- ja elintarviketaloudessa hieman eurooppalaista keskitasoa myönteisemmin. Viljakasvien viljelyssä suomalaisista 80 % piti geenitekniikkaa hyödyllisenä, 31 % riskialttiina, 70 % moraalisesti hyväksyttävänä ja 72 % edistämisen arvoisena. Vastaavasti elintarviketuotannossa 69 % suomalaisista piti geenitekniikkaa hyödyllisenä, 40 % riskialttiina, 58 % moraalisesti hyväksyttävänä ja 59 % edistämisen arvoisena.

Termit *bioteknologia* ja *geenitekniikka* mielletään Suomessa eri tavoin: Suomessa uskotaan kaikista EU-maista vahvimmin bioteknologiaan elämän laadun parantajana, kun taas geenitekniikkaan suhtaudutaan Itävallan jälkeen varauksellisimmin.

Miten hyvin geenitekniikkaa tunnetaan Suomessa?

Suomalaisten tieto geenitekniikan biologisista perusteista on jonkin verran eurooppalaista keskiarvoa parempi, mutta ei usein kuitenkaan riittävän hyvä perustellun kannan muodostamiseksi. Tiedon tason nostaminen tukee bio- ja geenitekniikan sovellusten arviointia ja mielipiteen muodostamista, mutta ei ole välittömässä yhteydessä sovellusten hyväksyntään.

Keihin kasvigeenitekniikkaa koskevassa tiedotuksessa luotetaan?

Kasvigeenitekniikka koskevassa tiedotuksessa luotetaan EU:ssa eniten ympäristö-, kuluttaja- ja maanviljelijäjärjestöihin, kun taas luottamus viranomaisiin ja etenkin teollisuuteen ja poliittisiin järjestöihin on vähäinen. Monista muista EU-maista poiketen Suomessa pidetään yliopistoja ja korkeakouluja luotettavimpina tiedon lähteinä.

Mitä eettisiä näkökohtia kasvigeenitekniikkaan liittyy?

Kasvigeenitekniikan eettisessä tarkastelussa voidaan kysyä, 1) onko geenien siirtäminen luonnollista tai oikeutettua sinänsä, ja 2) johtavatko geeninsiirrot ja niihin perustuvat sovellukset seurauksiin, jotka ovat ristiriidassa yleisesti hyväksytyjen eettisten periaatteiden kanssa. Erilaisten eettisten periaatteiden huomioonottaminen - joita ovat muun muassa luonnon kunnioittaminen, kuluttajien itsemääräämisoikeuden turvaaminen, vahingontuottamisen kieltäminen, yhteiskunnallisen hyödyn maksimointi ja oikeudenmukaisuuden edistäminen - voi jäsentää ja tukea sovelluksia koskevaa keskustelua.

MITÄ TERVEYSVAIKUTUKSIA SIIRTOGEEINISILLÄ KASVEILLA ON?

Osa kasvigeenitekniikan sovelluksista tähtää myönteisten terveysvaikutusten edistämiseen. Tällaisia ovat muun muassa lääkeaineina käytettävien vasta-aineiden tuottaminen kasveissa sekä monityydyttämättömien rasvahappojen määrän lisääminen. Mahdollisista terveyshaitoista esillä ovat olleet siirtogeenisten kasvien allergeenisuus, antibioottiresistenssin lisääntyminen suoliston bakteereissa sekä haitallisten yhdisteiden syntyminen.

Voivatko siirtogeeniset kasvit aiheuttaa allergiaa?

Siirtogeeninen kasvi voi olla allergiaa aiheuttava, jos siihen siirretään *allergeeniä* eli allergiaa aiheuttavaa valkuaisainetta tuottava geeni. Sovellettavien hyväksyntä- ja valvontamenettelyjen puitteissa kasvigeenitekniikan ei kuitenkaan katsota lisäävän allergiariskiä, koska allergiageenien siirtoa vältetään ja tuotteilta edellytetään tarvittaessa tuotemerkintöjä. Geeninsiirtojen ei myöskään katsota lisäävän uusien allergeenien syntymisriskiä, koska tuotteista on tehtävä allergiatestit, jos siirtogeeninen kasvi tuottaa valkuaisainetta, jota ei ole ennen käytetty ravinnossa.

Voivatko siirtogeeniset kasvit lisätä antibioottiresistenssiä?

Siirtogeenisten kasvien jalostamisessa käytetään yleisesti antibioottiresistenssigeenejä, jotka helpottavat onnistuneiden geeninsiirtojen tunnistamista. On esitetty, että nämä geenit saattaisivat lisätä kehon bakteerien antibioottiresistenssitasoa. Nykyisen tutkimustiedon valossa siirtogeenisten kasvien antibioottiresistenssigeeneillä ei ole varteenotettavaa terveydellistä merkitystä, koska niiden siirtyminen suoliston bakteereihin on äärimmäisen epätodennäköistä ja suoliston bakteereista huomattavan suuri osa sisältää antibioottiresistenssigeenejä jo entuudestaan. Antibioottiresistenssigeenien käytöstä pyritään kuitenkin eroon muun muassa siksi, että ne rajoittavat siirtogeenisten kasvien jatkojalostusta.

Voiko siirtogeenisissä kasveissa syntyä ennakoimattomia yhdisteitä?

Geeninsiirtojen tuloksena kasveissa saattaa ilmetä ennakoimattomia sekundäärivaikutuksia, jotka johtuvat muun muassa geenin sijainnista kasvin perimässä sekä sen vaikutuksista kasvin muihin geeneihin. Nämä pääosin kasvinjalostuksen valintavaiheen aikana karsiutuvat sekundäärivaikutukset voivat johtaa uusien yhdisteiden syntymiseen. Tähän mennessä sekundäärivaikutusten ei ole havaittu synnyttävän uusia myrkyllisiä yhdisteitä, ja toksikologien käsityksen mukaan siirtogeenisiin elintarvikkeisiin sovellettava turvallisuusarviointi johtaisi niiden havaitsemiseen.

Miten siirtogeenisten kasvien turvallisuudesta pyritään varmistumaan?

Siirtogeenisten kasvien elintarviketurvallisuuden arviointi perustuu ns. *olennaisen vastaavuuden periaatteeseen*. Periaatteen mukaan yleisesti turvallisina pidetyt ja elintarvikkeina jo käytössä olevat kasvit tarjoavat vertailukohdan, jonka perusteella päätelmiä siirtogeenisten kasvien elintarviketurvallisuudesta voidaan tehdä. Kansainvälisten asiantuntijajärjestöjen mukaan periaatteen soveltaminen takaa, että siirtogeenisistä kasveista valmistetut elintarvikkeet ovat ainakin yhtä turvallisia kuin vastaavat tavanomaiset elintarvikkeet.

MITÄ YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA SIIRTOGEEENISILLÄ KASVEILLA ON?

Siirtogeenisten kasvien ympäristövaikutuksiin liittyy epävarmuuksia, koska niiden laajamittaisesta viljelystä on kokemuksia vasta lyhyeltä ajalta. Myönteisenä vaikutuksena hyönteisresistenttien kasvien viljelyn on todettu vähentävän kemiallisten torjunta-aineiden käyttöä. Mahdollisista ympäristöhaitoista tärkeimpinä pidetään siirtogeenisten kasvien esiintymistä rikkakasveina, siirtogeenisten kasvien risteytymistä villien sukulaistensa kanssa ja torjunta-aineita kestävien kasvien tai hyönteisten leviämistä.

Ympäristövaikutukset perustuvat siihen, miten siirretyt ominaisuudet muuttavat kasvin kykyä selvitä luonnon valintapaineessa ja miten nämä ominaisuudet vaikuttaisivat ympäristössä silloin, jos niitä vastaavat geenit leviäisivät luontoon esimerkiksi villilajien kanssa tapahtuvien risteytymisten kautta.

Voivatko siirtogeeniset kasvit levitä rikkaruohoina?

Edellytyksenä siirtogeenisen kasvin leviämiseen rikkaruohona on, että se pystyy selviämään luonnossa ilman ihmisen hoitoa. Jos siirretty geeni ei paranna kasvin kilpailuetua luonnossa, ei siirtogeeninen kasvi myöskään leviä rikkaruohona sen helpommin kuin muillakaan menetelmillä jalostetut kasvit. Hyönteis- ja tautiresistenteillä lajikkeilla on jonkin verran kilpailuetua tavanomaisiin lajikkeisiin verrattuna.

Voivatko geenit siirtyä toisiin kasveihin?

Jos siirtogeenisellä kasvilla on luonnossa viljejä sukulaisia, se voi risteytyä näiden kanssa, jolloin siirretty geeni voi samalla levitä villikasveihin. Suomessa geenien leviämistä villikasveihin rajoittaa se, että useimmat maatalouskasvit eivät täällä menesty luonnossa eikä niillä myöskään ole luonnossa lähisukulaisia, joiden kanssa ne voisivat risteytyä. Tärkeimpinä poikkeuksina ovat hukkakaura sekä rypsi, joka esiintyy eräillä muilla viljelmillä rikkakasvina.

Voivatko hyönteiset kehittyä siirtogeenisille kasveille vastustuskykyisiksi?

Muun muassa puuvillaan ja maissiin on siirretty *Bacillus thuringiensis*-bakteerin toksineja tuottavia geenejä, joiden tuloksena puuvilla ja maissi ovat saaneet vastustuskyvyn puuvilla- ja maissikoisaa vastaan. Ajan mittaan *Bt*-lajikkeiden laajamittainen viljely voi johtaa *Bt*-toksiineja kestävien hyönteiskantojen kehittymiseen. Tätä on pidetty siirtogeenisten kasvien merkittävimpänä ympäristöriskinä. Jos resistenttejä hyönteiskantoja syntyy, torjunta-aineina käytettyjen *Bt*-toksiinivalmisteiden teho näitä kantoja vastaan heikkenee. *Bt*-toksiinivalmisteita käytetään etenkin luonnonmukaisessa viljelyssä.

HYÖDYTTÄÄKÖ KASVIGEEENITEKNIikka KEHITYSMAITA?

Vuoteen 2010 mennessä maailman väestö kasvaa lähes seitsemään miljardiin. Kasvu tapahtuu lähes yksinomaan kehitysmaissa, joissa maatalouden tuottavuuden kasvu on eroosion, hyvälaatuiseen viljelymaan vähyyden ja ravinnepöyhyyden seurauksena alentunut. Useiden kansainvälisten tutkimuslaitosten mukaan kasvavaan ravinnontarpeeseen vastaaminen edellyttää jatkuvaa teknologista kehitystä maataloudessa.

Kehitysmaissa kasvigeenitekniikka tarjoaa periaatteellisia mahdollisuuksia satotasojen nostamiseksi ja viljelyvarmuuden parantamiseksi. Kasvigeenitekniikan tutkimus on kuitenkin keskittynyt lähinnä kehittyneisiin teollisuusmaihiin, eivätkä monikansalliset yritykset panosta voimaperäisesti kehitysmaiden ongelmien ratkaisua palvelevien sovellusten kehittämiseen.

Kasvigeenitekniikan vaikutukset kehitysmaissa riippuvat keskeisellä tavalla maatalouden sosiaalisista ja taloudellisista rakenteista (omistussuhteet, viljelijöiden koulutustaso, varallisuuden jakaantuminen, infrastruktuuri). Köyhimmät viljelijät eivät hyödy kasvigeenitekniikasta ensimmäisinä, koska siirtogeeniset kasvit edellyttävät tavanomaista enemmän resurssointia muun muassa rojaltilmaksuina.

MIKÄ ON KASVIGEENITEKNIIKAN TALOUDELLINEN MERKITYS?

Siirtogeenisten kasvien laajamittainen viljely alkoi Pohjois-Amerikassa vuonna 1996, joten pitkäaikaista kokemusta taloudellisten vaikutusten arvioinnin perustaksi ei ole. Arviointi on vaikeaa myös siksi, että 1) siirtogeenisiin lajikkeisiin tuodaan jatkuvasti uusia ominaisuuksia ja 2) tuottavuuden parantamiseen liittyvien taloudellisten hyötyjen jakautuminen riippuu elintarvikeketjun eri toimijoiden välisistä neuvottelu- ja kilpailu-asetelmista. Pitkällä aikajänteellä haitalliset ympäristövaikutukset - kuten esimerkiksi resistenttien hyönteiskantojen kehittyminen - voivat eräiden kasvien kohdalla vähentää niitä hyötyjä, jotka liittyvät siirretyn geenin kasville antamiin ominaisuuksiin.

Mitä kokemuksia siirtogeenisten kasvin viljelystä on saatu?

Pohjois-Amerikassa vuosina 1996-97 saatujen kokemusten valossa siirtogeenisten kasvien viljely on johtanut noin 5-20 % parempaan tuottavuuteen. Koska perinteisessä kasvinjalostuksessa jo muutaman prosentin sadonlisäystä pidetään suurena, on tässä kysymys merkittävästä, myös maatalouden kilpailukykyyn vaikuttavasta lisäyksestä. Pääsääntöisesti viljelijät ovat olleet siirtogeenisiin lajikkeisiin tyytyväisiä, koska siirtogeenisten kasvien viljelypinta-ala kasvoi lähes viisinkertaiseksi vuosina 1996-97.

Mitä kokemuksia Suomessa on saatu?

Useissa tapauksissa siirtogeeniset kasvit luultavasti lisäisivät maatalouden tuottavuutta. Koska tauti-, rikkakasvi- ja tuholaishaitat ovat Suomessa pienempiä kuin eteläisemmissä maissa, olisivat siirtogeenisistä kasveista saavutettavat edut täällä kuitenkin jonkin verran vähäisempiä. Kenttäkokeita Suomessa on tehty muun muassa siirtogeenisellä sokerijuurikkaalla, josta vuoden 1997 tulosten valossa voitaisiin saada noin 5 % suurempi sato samalla kun torjunta-ainekustannukset alentuisivat noin 60-75 %:lla. Toisaalta siirtogeenisen sokerijuurikkaan kylvösiemen olisi kalliimpaa.

Miten siirtogeenisten kasvien viljely on yleistymässä?

Siirtogeenisten kasvien viljely on yleistymässä nopeasti etenkin USA:ssa, Meksikossa, Argentiinassa ja Kiinassa. Vuonna 1998 siirtogeenisten kasvien viljelypinta-ala on maailmassa noin 26 milj. hehtaaria, ja vuonna 2000 se kasvaa arviolta 60 milj. hehtaariin, josta Euroopan osuus on noin 1 %. Siirtogeenisten lajikkeiden markkinoiden arvellaan kasvavan 2-3 miljardista dollarista vuonna 2000 noin 20 miljardiin dollariin vuonna 2010.

Mikä on siirtogeenisten kasvien merkitys kotimaisessa elintarviketuotannossa?

Vaikka siirtogeeniset kasvit voivat parantaa maatalouden tuottavuutta, niin maatalouden kilpailukyvyyn kannalta niillä on paljon vähäisempi merkitys kuin esimerkiksi EU:n yhteisellä maatalouspolitiikalla.

Useimpien kasvien Suomessa viljeltävät lajikkeet on jalostettava kotimaassa, koska suuret monikansalliset yritykset eivät lähde kehittämään Suomen pohjoiseen ilmastoon ja pienille markkinoille suunnattuja lajikkeita. Nämä lajikkeet olisi tyypillisesti kehitettävä joko kotimaisen tutkimus- ja kehitystyön tuloksina tai hankkimalla ulkomaisilta yrityksiltä geenejä ja siirtogeenisiä kasveja kotimaisen kasvinjalostuksen käyttöön. Poikkeuksena on muun muassa sokerijuurikas, jonka ulkomaisia lajikkeita otetaan Suomessa lajikekokeiden jälkeen sellaisenaan käyttöön.

Geenitekniikalla muunnetun ja muuntamattoman kasviaineksen erillään pitäminen on maataloilla viljelyteknisistä syistä vaikeaa. Elintarviketeollisuudessa merkintävelvoitteiden edellyttämä GMO:iden erottelu vaatii tuotanto- ja kuljetustoimintojen sopeuttamista.

Aivan keskeistä GMO-elintarvikkeiden tulevaisuudelle Euroopassa on se, miten kuluttajat niihin suhtautuvat. Jos kuluttajat hyväksyvät GMO-elintarvikkeet, on luultavaa, että maatalous ja elintarviketeollisuus tulevat niitä tarjoamaan.

Vaikuttavatko siirtogeeniset kasvit elintarvikkeiden hintaan?

Siirtogeenisten kasvien parempi tuottavuus saattaa aikanaan alentaa eräiden elintarviketeollisuuden käyttämien kasviraaka-aineiden hintoja. Näin on erityisesti maissin ja soijan kohdalla, joiden siirtogeenisten lajikkeiden viljely on USA:ssa jo nyt laajaa.

Tuottavuuden vaikutukset elintarvikkeiden hintoihin jäävät kuitenkin paljon pienemmiksi, koska 1) monien elintarvikkeiden loppuhinnasta raaka-aineiden osuus on varsin alhainen ja 2) kasvigeenitekniisiä sovelluksia tarjoavat yritykset voivat pidättää itsellään osan tuottavuuden lisäyksestä. Jos esimerkiksi siirtogeenisen rapsin tuottavuuslisäys välittyisi täysimääräisenä tästä rapsista valmistetun margariinin hintaan, voisi tämä margariini olla muutaman prosentin tavallista edullisempaa.

On arveltu, että Euroopassa GMO:ita sisältämättömistä elintarvikkeista voi syntyä oma markkinasegmenttinsä. Tämän segmentin tuotteet saattavat olla hieman muita kalliimpia, muun muassa siksi, että GMO:ita sisältämättömän kasviraaka-aineen hankintakustannukset USA:sta ovat suuremmat tavanomaiseen raaka-aineeseen verrattuna.

MITÄ NÄKÖKOHTIA KASVIGEEENITEKNIIKAN SÄÄNTELYYN LIITTYY ?

Kasvigeenitekniikan sääntelyn ulottuvuuksia ovat muun muassa terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäiseminen, kasvigeenitekniikkaa soveltavan elinkeinotoiminnan seuranta ja valvonta, sisämarkkinoiden toiminnan edistäminen sekä kuluttajan oikeuksien turvaaminen.

Miten kasvigeenitekniikkaa säännellään?

Tärkeimmät kasvigeenitekniikan koskevat säädökset EU:ssa ovat 1) direktiivi 90/219/ETY, joka koskee geenitekniikalla muunnettujen mikro-organismien suljettua käyttöä, 2) direktiivi 90/220/ETY, joka koskee geenitekniikalla muunnettujen organismien tarkoituksellista levittämistä ja markkinoille saattamista sekä 3) Euroopan parlamentin ja komission uuselintarvikeasetus n:o 258/97, joka kattaa GMO:ista koostuvat tai niitä sisältävät elintarvikkeet. Suomessa geenitekniikkadirektiivit on sovitettu osaksi kansallista sääntelyä geenitekniikkalailla 377/1995 sekä geenitekniikka-asetuksella 821/1995.

Sääntelyn lähtökohtana on *varovaisuusperiaate*, jonka mukaan tutkimus- ja kehitystoiminta sekä tuotteiden markkinoille saattaminen edellyttävät aikaisemman tiedon ja kokemuksen pohjalta tehtävää etukäteisarviointia sekä tämän arvioinnin nojalla myönnettävän luvan saamista. Varovaisuusperiaatteella pyritään ehkäisemään terveyteen tai ympäristöön mahdollisesti kohdistuvat haitat.

Elokuun 1998 alussa direktiivin 90/220/ETY puitteissa EU:n markkinoille oli hyväksytty 14 GMO-tuotetta. Uuselintarvikeasetuksen puitteissa siirtogeenisistä kasveista valmistetuja elintarvikkeita ei ollut hyväksytty EU:n markkinoille, mutta käsiteltävänä oli kymmenkunta hakemusta.

Mitkä viranomaiset Suomessa vastaavat sääntelyn toimeenpanosta?

Geenitekniikkadirektiivien mukainen toimivaltainen viranomainen on sosiaali- ja terveysministeriön yhteydessä toimiva geenitekniikan lautakunta, jossa on edustajat kauppa- ja teollisuusministeriöstä, maa- ja metsätalousministeriöstä, sosiaali- ja terveysministeriöstä ja ympäristöministeriöstä. Lautakunnassa on lisäksi eettistä asiantuntemusta.

Uuselintarvikeasetuksen osalta toimivaltainen elin on kauppa- ja teollisuusministeriön yhteydessä toimiva uuselintarvikelautakunta, jossa on asiantuntemusta muun muassa ravitsemustieteen, lääketieteen, toksikologian, elintarvikekemian, elintarviketeknologian, mikrobiologian, biotekniikan, geenitekniikan ja elintarvikehallinnon alalta. Uuselintarvi-

kelautakunnan on kuultava geenitekniikan lautakuntaa GMO-elintarvikkeita arvioidessaan.

Mitä kokemuksia direktiivin 90/220/ETY soveltamisesta on saatu?

Jäsenvaltioilla on ollut muun muassa erilaisten hallintokulttuurien, ympäristön ekologisten erojen sekä direktiivin sovellusala ja riskien arvioinnin periaatteita koskevien tulkintaerojen vuoksi erilaisia käsityksiä siitä, miten aiemmasta toiminnasta kertynyttä tietoa ja kokemusta voidaan yksittäisissä tapauksissa tulkita. Yhtä tapausta lukuunottamatta erimielisyydet ovat johtaneet aikaa vievän sääntelykomiteamenettelyn käyttöön GMO-tuotteiden markkinoille saattamista koskevien ilmoitusten käsittelyssä.

Miten komissio ehdottaa direktiiviä muutettavaksi?

Komissio antoi direktiivin 90/220/ETY muutosehdotuksen helmikuussa 1998. Keskeisiä eroja muutosehdotuksessa ovat muun muassa lupien määräaikaistaminen, riskien arviointiperiaatteiden täsmentäminen ja jäsenvaltioiden aseman vahvistaminen komiteamenettelyssä. Muutosehdotus velvoittaisi viranomaiset avoimempaan tiedottamiseen sekä vaatisi toiminnanharjoittajan laatimaan suunnitelman GMO:iden välittömien ja välillisten vaikutusten monitoroimiseksi. Se ei kuitenkaan yksilöi, kuinka avoimempi tiedottaminen tehtäisiin, miten esitetyt huomiot käsiteltäisiin tai millä tavalla GMO-tuotteita käytännössä monitoroitaisiin.

Miten GMO-elintarvikkeet merkitään?

Toukokuussa 1998 neuvosto antoi asetuksella EY 1139/98 säännökset EU:n markkinoille hyväksytyjen siirtogeenisen ja maissin merkitsemiseksi. Säännösten mukaan siirtogeenisestä soijasta (maissista) valmistettuihin elintarvikkeisiin on liitettävä maininta ”valmistettu geenitekniikalla muunnetusta soijasta (maissista)”. Säännökset eivät salli mainintaa ”saattaa sisältää GMO:ita”, mutta maininta ”ei sisällä GMO:ita” sallitaan vapaaehtoisena merkintänä. Komissio katsoo käytännön luovan pohjaa tuleville uusielintarvikeasetuksen mukaisille merkinnöille.

Mitkä ovat jäsenvaltioiden toimivallan rajoitteet?

Kasvigeenitekniikan sääntely on EU:ssa pitkälle harmonisoitu. Ellei jäsenvaltiolla ole esittää uutta, tuotteiden terveys- tai ympäristövaikutuksia koskevaa tieteellistä näyttöä, sen mahdollisuudet rajoittaa EU:n markkinoille hyväksytyjen GMO-tuotteiden käyttöä ovat vähäiset. Esimerkiksi helmikuussa 1997 Itävalta ja Luxemburg kielsivät siirtogeenisen *Bt*-maissin käytön alueellaan direktiivin 90/220/ETY 16 artiklan suojalausekkeeseen nojalla vedoten muun muassa luonnonmukaisen viljelyn toimintaedellytyksiin.

Syyskuussa 1997 komissio ehdotti sääntelykomitealle em. kieltojen kumoamista. Koska ehdotuksen hylkäämiseksi tarvittavaa yksimielisyyttä ei syntynyt sääntelykomiteassa eikä neuvostossa, Itävallan ja Luxemburgin tulisi direktiivin hallintomenettelyn mukaan perua *Bt*-maissia koskevat kieltonsa. Muodollisesti asian käsittely on kuitenkin edelleen kesken ja se saattaa tulla Euroopan tuomioistuimen käsiteltäväksi. Eduskunta on ottanut keväällä 1998 asiaan kantaa toteamalla, että jäsenvaltioilla tulee olla oikeus soveltaa yhteisötasoa tiukempia ympäristösäädöksiä.¹

Koska kasvigeenitekniikan sääntely on harmonisoitu, voidaan Suomessa sovellettavaa sääntelyä kehittää vain vaikuttamalla yhteisötasolla sovellettavaan sääntelyyn. Direktiivin 90/220/ETY osalta tilaisuus tähän tarjoutuu syksyllä 1998, kun sen muutosehdotuksen kansallinen käsittely alkaa.

¹ Ks. ympäristövaliokunnan lausunto YmVL 7/1998 vp ja maa- ja metsätalousvaliokunnan lausunto MmVL 9/1998 vp.

ESIPUHE

Joulukuussa 1997 eduskunnan tulevaisuusvaliokunta antoi VTT:n teknologian tutkimuksen ryhmälle toimeksiannon kasvigeenitekniikkaa käsittelevän teknologia-arviointiselvityksen laatimisesta. Toimeksiannon taustalla oli kesällä 1997 laadittu esiselvitys², jonka pohjalta käytyjen keskustelujen perusteella varsinaisen teknologia-arvioinnin tekeminen nähtiin tarpeelliseksi. Arvioinnin laatimista puolsi aiheen ajankohtaisuus: EU:n geenitekniikkalainsäädäntö on paraikaa uudistettavana, sisämarkkinoille on tuotteena hyväksytty kymmenkunta geenitekniikalla muunnettua kasvia ja EU:n uuselintarvikeasetuksen puitteissa on käsiteltävänä useita tuotehakemuksia, jotka koskevat geenitekniikalla muunnettuja organismeja (GMO) sisältäviä elintarvikkeita. Niin ikään geenitekniikan tiimoilta on käyty jatkuvaa, huolestuneitakin äänenpainoja sisältänyttä keskustelua.

Tämä selvitysraportti rajautuu ensisijaisesti kasvigeenitekniikan käyttöön maataloudessa ja elintarviketuotannossa. Rajauksen taustalla on näkemys siitä, että suomalainen kuluttaja kohdannee kasvigeenitekniikan luultavimmin juuri elintarvikkeissa. Kasvigeenitekniikan muut ja myöhemmin toteutuvat sovellusalueet - joita on esimerkiksi lääkeaineiden valmistuksessa, metsäpuiden jalostuksessa ja erikoiskemikaalien tuotannossa - on näin jätetty vähemmälle huomiolle.

Selvityksen keskeisimpänä tavoitteena on antaa käsitys kasvigeenitekniikan periaatteista, nykyisistä ja tulevista sovelluksista sekä näiden mahdollisista vaikutuksista. Selvitys pyrkii tarjoamaan taustatietoa keskustelun tueksi: se ei pyri ottamaan kantaa, eikä se myöskään linjaa toimenpide-ehdotuksia tai tarkastele kasvigeenitekniikan tutkimus- ja kehitystyötä maatalous- tai innovaatiopolitiikan näkökulmasta.

Raportti jakautuu seitsemään lukuun. Luvussa 1 luodaan katsaus kasvinjalostukseen ja kasvigeenitekniikkaan yhtenä sen menetelmistä. Luvussa 2 esitellään geenitekniikasta tehtyjen mielipidetutkimusten tuloksia ja eritellään kasvigeenitekniikan eettisen arvioinnin kannalta relevantteja periaatteita. Luvuissa 3 ja 4 tarkastellaan kasvigeenitekniikan terveys- ja ympäristövaikutuksia. Kehitysmaiden ravintohuoltoon liittyviä erityisnäkö-

² Salo ja Kauppinen (1997).

kohtia käsitellään luvussa 5, ja taloudellisia vaikutuksia käsitellään luvussa 6. Luvussa 7 esitellään kasviteknologian sääntelyä ja valvontaa sekä tarkastellaan käynnissä olevaa teknologiadirektiivien uudistustyötä. Kunkin luvun alussa on lyhyt, muutamia ydinkohtia sisältävä tiivistelmä. Näihin tiivistelmiin perehtymällä raportin keskeisestä sisällöstä saa nopeasti yleiskäsityksen.

Selvitystyön aikana tekijät ovat saaneet arvokasta tukea ohjausryhmältä, johon ovat kuuluneet puheenjohtaja Martti Tiuri, jäsenet Tuula Haatainen, Tuulikki Hämäläinen, Riitta Korhonen, Erkki Pulliainen, Pentti Tiusanen ja Markku Vuorensola sekä sihteeri Ulrica Gabrielsson. Ohjausryhmän lisäksi tekijät haluavat esittää lämpimän kiitoksensa myös niille monille asiantuntijoille, jotka ovat tukeneet selvitystyötä antamalla haastatteluja tai esittämällä raporttiluonnokseen kommentteja, täydennyksiä ja täsmennyksiä (ks. liite 4). Mahdolliset virheet ja puutteellisuudet ovat yksinomaan tekijöiden vastuulla.

Kasviteknologia on monitahoinen modernin biotekniikan osa-alue, jolla yleisesti arvioidaan olevan kauaskantoisia vaikutuksia. Tällä hetkellä näitä vaikutuksia ei ole helppo ennakoida, sillä ne riippuvat tekniikan kehityksen lisäksi myös kuluttajien asenteista ja odotuksista, sovellettavasta sääntelystä, elintarvikeketjun toimijoiden kilpailuasetelmista sekä kauppa-, maatalous- ja innovaatiopolitiikasta. Näihin kaikkiin liittyy epävarmuuksia. Siksi kasviteknologia on poikkeuksellisen monitahoinen aihepiiri, johon paneutumista tämä raportti osaltaan tukee.

SISÄLLYS

1. KASVINJALOSTUKSEN VAIHEITA	1
Biologisia peruskäsitteitä	2
Biotekniikka ja geenitekniikka	5
Kasvinjalostuksen historiaa	6
Kasvinjalostuksen periaatteet	8
Jalostusmenetelmiä	9
Risteytysjalostus	9
Polyploidiajalostus	10
Mutaatiojalostus	11
Hybridijalostus	11
Resistenssijalostus	12
Jalostusohjelman vaiheita	12
Geenitekniikka kasvinjalostuksessa	14
Geenien siirtäminen	16
Kenttäkokeet	20
Markkinointiluvat	24
Tekniset kehitysnäkymät	26
Tavoiteltavat ominaisuudet	27
Satoisuuden nostaminen	28
Laatuominaisuuksien parantaminen	31
Lajikevalikoiman kasvu	32
2. KANSALAISTEN ARVOT JA ASENTEET	34
Käsityksiä geenitekniikasta	35
Mielipidetutkimuksia	36
Tiedon taso	38
Odotukset	39
Hyväksyntä	40
Luottamus	43
Eettinen tarkastelu	46
Eettisten ongelmien luonne	48
Luonnollisuus ja luonnottomuus	49
Seurausten eettinen arviointi	53
3. TERVEYSVAIKUTUKSET	59
Lähtökohtia	60
Allergiaa aiheuttavat elintarvikkeet	62
Ruoka-aineallergian kehittyminen	62
Allergeenit siirtogeenisissä kasveissa	64
Antibioottiresistenssi	65

Toksiinit siirtogeenisissä kasveissa	69
Ennakoimattomat sekundäärivaikutukset	71
Elintarviketurvallisuuden varmistaminen	73
4. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	76
Lähtökohtia	77
Siirtogeeniset kasvit rikkakasveina	79
Geenien leviäminen villikasveihin	80
Uudet virukset	83
Antibioottiresistenssi	84
Maaperän ekosysteemit	85
Rikkakasvihävitteiden käyttö	86
<i>Bt</i> -toksiinit siirtogeenisissä kasveissa	87
<i>Bt</i> -bakteerin ja toksinien historiaa	88
<i>Bt</i> -toksiinit hyönteismyrkkyinä	89
<i>Bt</i> -resistenssin kehittyminen	90
Keinoja <i>Bt</i> -resistenssin kehittymisen hidastamiseksi	91
5. KEHITYSMAIDEN RAVINTOHUOLTO	95
Ravinnontuotannon ja -tarpeen kasvu	96
Ravinnontuotannon reunaehdoja	97
Kasvigeenitekniikka ja satoisuuden lisäys	98
Esimerkkejä kasvigeenitekniikasta kehitysmaissa	101
Kasvibioteekniikan tutkimus kehitysmaissa	103
Sosiaalisia näkökohtia	105
6. TALOUDELLISET VAIKUTUKSET	109
Arvioinnin vaikeudet	110
Siirtogeenisten kasvien viljely 1996-97	113
Kokemuksia siirtogeenisistä kasveista	115
Soija	115
Maissi	116
Rapsi	117
Tupakka	117
Puuvilla	117
Kokemusten analyysi	118
Siirtogeeniset kasvit Suomessa	119
Sokerijuurikas	119
Rypsi ja rapsi	120
Peruna	122
Ilmastollisia erityistekijöitä	122
Siirtogeenisten kasvien viljelyn laajentuminen	123
Elintarvikeketjun sidosryhmät	125
Siementuottajat ja torjunta-aineteollisuus	125

Maanviljelijät	127
Rehu- ja elintarviketeollisuus	128
Jakelu ja kauppa	129
Kuluttajat	130
7. KASVIGEEENITEKNIIKAN SÄÄNTELY	134
Sääntelyn rakenne	136
EU:n direktiivit ja asetukset	138
Yleistä	138
Suljettu käyttö	139
Tarkoituksellinen levittäminen ja markkinoille saattaminen	140
Uuselintarvikeasetus	145
Geenitekniikan sääntely Suomessa	148
Viranomaiset	149
Geenitekniikkalaki ja -asetus	149
Uuselintarvikeasetus	150
Direktiivin 90/220/ETY muuttaminen	150
Kokemuksia direktiivin toinnasta	150
Direktiivin 90/220/ETY uudelleen tarkastelu	154
Euroopan parlamentin mietintö	155
Komission ehdotus direktiivin 90/220/ETY muuttamisesta	156
Arvioita muutosehdotuksesta	160
Rehulaki	163
Patentointi	164
Merkintäkäytännöt	166
Sääntelyn kehittyminen	166
Valvonta ja kehitysnäkymät	169
Kansallisen sääntelyn rajat: esimerkkinä Itävalta	170
Siirtogeenisen maissin kieltäminen	170
Jäsenvaltioiden toimivallan rajoitteet	171
GMO:iden sääntely ja yhteisölainsäädäntö	174
8. LOPPUHUOMIOITA	175
LÄHDELUETTELO	177
LIITE 1. TERMISTÖÄ	184
LIITE 2. LYHENTEET	191
LIITE 3. INTERNET-LÄHTEITÄ	192
LIITE 4. HAASTATELLUT JA KOMMENTOIJAT	194

1. KASVINJALOSTUKSEN VAIHEITA

1. Luonnon evoluutio ja kasvinjalostus perustuvat molemmat kahteen perustahtumaan: *perinnölliseen muunteluun* ja *valintaan*. Kun evoluutiossa elinkel- poisimpien yksilöiden valinta perustuu vallitseviin ympäristöolosuhteisiin so- peutumiseen, niin kasvien jalostustoiminnassa ihminen valitsee tarkoituksiinsa parhaiten sopivat yksilöt ja järjestää näille mahdollisuuden kasvaa ilman mui- den yksilöiden kanssa käytävää kilpailua. Tieteellisen perustan kasvinjalostuk- selle antoivat Darwinin evoluutioteoria ja Mendelin perinnöllisyyskokeet 1800- luvulla.
2. Kasvien, eläinten ja ihmisten vanhemmiltaan saama geneettinen perimä sijait- see solun kromosomien DNA:ssa. Geenit ovat kromosomeissa sijaitsevia DNA-jaksoja, jotka ohjaavat valkuaisaineiden tuotantoa. Ihmisen elimistössä valkuaisaineita ovat esimerkiksi happea kuljettava hemoglobiini, mikro-orga- nismeja vastaan tuotettavat vasta-aineet sekä solun kemiallisia reaktioita sää- televät entsyymit. Valkuaisaineet ovat eri organismeissa rakenteeltaan varsin samanlaisia: esimerkiksi sian ja ihmisen soluissa happea sitova valkuainen on rakenteeltaan 95 %:sti sama, ja kasveilla on tavattu hemoglobiinia, joka on 50-60 %:sti samanlaista kuin nisäkkäillä.
3. *Bioteekniikka* pyrkii luonnon- ja insinööritieteitä yhdistämällä tuottamaan elä- vien organismien toimintaan perustuvia tuotteita ja palveluja. *Geeniteekniikka* on bioteekniikan osa-alue, joka perimää muuntamalla tähtää elävien organis- mien, solujen sekä näiden osien käyttömahdollisuuksien parantamiseen. Bio- tekniikalla on vanhat perinteet esimerkiksi viinin ja oluen valmistuksessa, kun taas geeniteekniikka perustuu vuonna 1953 tehtyyn DNA:n rakenteen määrittä- miseen sekä 1970-luvulta lähtien kehitettyihin geeninsiirtomenetelmiin. *Kasvi- geeniteekniikka* on kasveihin kohdistuvaa geeniteekniikkaa.
4. Geeninsiirrot perustuvat siihen, että kasviin siirrettävä geeni tuottaa kasvissa samaa valkuaisainetta kuin siinä organismissa, josta geeni on peräisin. Gee- nin-siirtoihin perustuva kasvinjalostus eroaa perinteisestä kasvinjalostuksesta

siten, että yksittäisiä geenejä voidaan siirtää kasviin yli lajirajojen. Tästä johtuen geeninsiirrot 1) nopeuttavat kasvinjalostusta, koska uusia ominaisuuksia haettaessa kasviin ei siirry muita, epätoivottuja ominaisuuksia, jotka edellyttäisivät aikaavievää karsimista, ja 2) ne lisäävät olennaisesti niiden ominaisuuksien määrää, joita kasveille voidaan antaa.

5. Tärkeimpiä tähän mennessä kehitetyistä kasvigeenitekniikan sovelluksista ovat

1) *hyönteisresistenssi*, jolloin kasvi tuottaa jollekin tuholaishyönteiselle myrkyllistä valkuaisainetta; 2) *herbisidi-* eli *kasvinsuojeluaaineresistenssi*, jolloin kasvi kestää jotakin rikkakasvien torjunta-ainetta, jota tällöin voidaan tarvittaessa käyttää ko. kasvin viljelyksillä; 3) *tautiresistenssi*, jolloin kasvilla on vastustuskyky jotakin taudinaiheuttajaa, esimerkiksi virusta vastaan, ja 4) *muuttuneet laadulliset ominaisuudet*, kuten esimerkiksi muunnettu ravintoainekoostumus (esimerkiksi enemmän monitydyttämättömiä rasvahappoja sisältävä soija).

6. Ensimmäiset geeninsiirrot kasveihin tehtiin vuonna 1983. Sittemmin siirtogeenisillä kasveilla tehtyjen kenttäkokeiden lukumäärä on kasvanut ripeästi. Siirtogeenisten lajikkeiden kaupallinen viljely on parina viime vuorokauden laajentunut nopeasti etenkin USA:ssa, Keski- ja Etelä-Amerikassa sekä Kiinassa. Euroopassa suhtautuminen siirtogeenisiin kasveihin on ollut varauksellisimpaa, eikä EU:ssa ollut vielä vuonna 1997 siirtogeenisiä lajikkeita kaupallisessa viljelyksessä. Vuonna 1998 siirtogeenisen maissin viljely on alkanut muun muassa Ranskassa.

BIOLOGISIA PERUSKÄSITTEITÄ

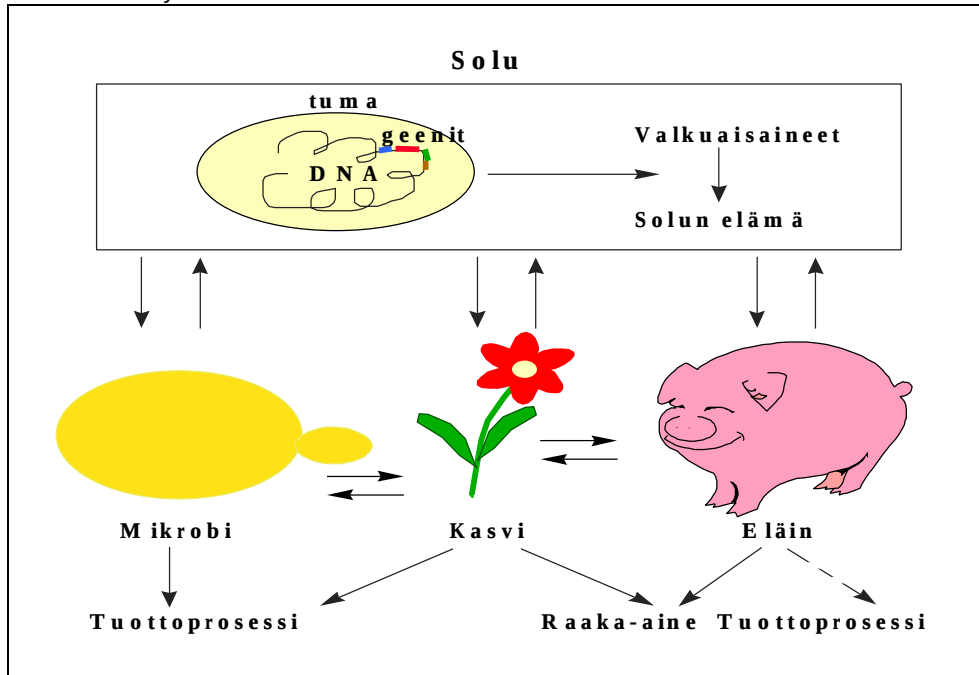
Kaikki kasvit, eläimet ja useimmat mikrobit³ koostuvat *soluista*. Soluja erottaa toisistaan ohut kalvo, jonka tehtävänä on säännellä soluun tulevien ja sieltä poistuvien ainesosien kulkua. Kasvisoluilla on tämän kalvon ulkopuolella lisäksi huomattavasti paksumpi soluseinä, joka suojelee kasvisolua sekä antaa kasville rakenteellista lujuutta.

Useimpien solujen keskiosassa on *tuma*. Tumassa sijaitsevat *kromosomit*, jotka ovat ohuita valkuaisaineesta ja deoksiribonukleiinihaposta eli *DNA*:sta koostuvia rihmoja. Vuonna 1953 F. Crick, R. Franklin, J. Watson ja M. Wilkins osoittivat, että DNA on rakenteeltaan kaksoiskierre, jossa neljä emäsmolekyyliä - adeniini, sytosiini, guaniini ja

³ Mikrobit ovat pieneliöitä, joiden näkemiseen tarvitaan mikroskooppi. Mikrobeja ovat mm. bakteerit, virukset, yksisoluiset levät, hiivat ja homeet sekä mikroskooppisen pienet monisoluiset organismit; ks. liite 1.

tymiini - ovat pareittain toisiinsa kytkeytyneinä sokeri- ja fosfaattiyhdisteiden muodostaman tukirangan välissä. Organismien vanhemmiltaan perimä geneettinen tieto sisältyy DNA:han⁴, se on siis "koodattu" DNA:n emäsparien keskinäiseen järjestykseen.

Kuva 1.1 Eliöyhteisön osia



Proteiinit eli valkuaisaineet säätelevät solun toimintaa. Ihmisen elimistössä valkuaisaineita ovat muun muassa hemoglobiini, joka kuljettaa verenkierrassa happea, mikro-organismien hyökkäyksiä vastaan tuotettavat vasta-aineet ja syljessä esiintyvä amylaasi, joka aloittaa ruoansulatuksen. Niin ikään valkuaisaineita ovat kaikki entsyymit, jotka ohjaavat solun kemiallisia reaktioita, niin kemiallisten yhdisteiden valmistamista kuin hajottamista. Kaiken kaikkiaan solut tuottavat tuhansittain erilaisia valkuaisaineita, joilla kullakin on oma tehtävänsä. Eri organismien valkuaisaineet ovat rakenteeltaan usein varsin samanlaisia. Esimerkiksi sian ja ihmisen soluissa happea sitova valkuainen on rakenteeltaan 95 %:sti sama, ja kasveilla on tavattu hemoglobiinia, joka on 50-60 %:sti samanlaista kuin nisäkkäillä. Bakteereilla ja ihmisellä on monia aineenvaihdunnan valkuaisaineita, jotka ovat yli 50 %:sti rakenteellisesti samoja.

Geeni on kromosomissa oleva DNA-jakso, joka ohjaa yhden valkuaisaineen tuottamista⁵. Valkuaisaineen tuottaminen - tai koodaaminen - perustuu siihen, että DNA:n sisältämä

⁴ Viruksilla geneettinen tieto on toisinaan ribonukleiinihapossa eli RNA:ssa.

⁵ Tuottaminen tapahtuu entsyymien avulla ns. proteiinisynteesissä, jossa DNA:n emäsparijärjestys siirtyy ribonukleiinihappojen (RNA) välityksellä soluliman ribosomeihin, missä RNA:n järjestys ohjaa aminohappojen yhdistämistä valkuaisaineeksi.

emäsjärjestys ohjaa *aminohappojen*, valkuaisaineiden ainesosien, yhdistymistä valkuaisaineiksi. Tämä valkuaisaineiden koodaamismekanismi on kaikissa organismeissa samanlainen. Geenien lukumäärissä on sen sijaan eroa. Eniten geenejä on kasveilla ja nisäkkäillä (ks. taulukko 1.1). Kromosomien geenit muodostavat *perimän* (genomin) eli sen geneettisen materiaalin, jonka organismi on vanhemmiltaan perinyt.

Taulukko 1.1 Karkeita arvioita eri organismien perimän koosta⁶

<i>Laji</i>	<i>Geenien lukumäärä</i>
Perunan Y-virus	8
Influenssavirus	10
Kolibakteeri	2 000
Hiiwa	5 000
Kärpänen	8 000
Lituruoho	20 000
Peruna	100 000
Ihminen	100 000

Eri yksilöiden perimässä on usein huomattavia eroja. Näitä eroja syntyy 1) yksittäisten geenien muunnosten eli *mutaatioiden* kautta sekä 2) *suvullisessa lisääntymisessä*, jossa jälkeläiset saavat kummaltakin vanhemmaltaan puolet perimästään. Kasveilla verraten yleistä on myös kasvullinen lisääntyminen, jolloin jälkeläisillä on samanlainen perimä kuin vanhemmalla. Tätä käytetään hyväksi monistuksessa eli kloonauksessa, jossa kasveja lisätään versoista tai pistokkaista.

Eräitä poikkeuksia lukuunottamatta⁷ vain samaan lajiin kuuluvat yksilöt pystyvät lisääntymään keskenään, jolloin niiden geenit välittyvät jälkeläisille eri tavoin yhdisteltyinä. Geenejä siirtyy luonnossa jonkin verran myös lajien välillä. Esimerkiksi *Agrobacterium*-maabakteeri siirtää omia geenejään isäntakasviin ja pakottaa tämän tuottamaan bakteerille hyödyllisiä aineita. Vaikka maabakteeri voikin tällöin elää kasvissa, johtaa tapahtuma kuitenkin kasvisolun virheelliseen toimintaan ja sen lisääntymiskyvyn loppumiseen. Myös virukset - jotka aiheuttavat muun muassa vilustumissairauksia - lisääntyvät siirtämällä omat geeninsä isäntäsoluun ja pakottamalla tämän tuottamaan lisää viruspartikkeleita, kunnes solu kuolee.

⁶ Taulukko on muokattu esityksestä Somersalo et al. (1998).

⁷ Tällainen on esimerkiksi hevosen ja aasin risteytymisen tuloksena syntyvä muuli. Yleensä eläinlajien väliset risteytymät eivät ole lisääntymiskykyisiä. Kasveilla lisääntymiskykyiset risteytymät ovat yleisempiä.

Nykykäsityksen mukaan kaikki korkeampien organismien solut sisältävät muista organismeista peräisin olevaa DNA:ta ja muitakin osia. Soluhengityksessä tarpeellisten ns. mitokondrioiden oletetaan aikoinaan olleen bakteereita, jotka ovat asettuneet toisen solun sisään. Merkkinä aiemmasta itsenäisyydestä niillä on muun muassa omaa DNA:ta ja omat kalvorakenteet. Samoin kasvien viherhiukkasten oletetaan aikoinaan olleen sinileviä, jotka ovat siirtyneet toisen solun sisään.

Geenirakenteiden samankaltaisuuden perusteella tutkijat olettivat, että kun geeni siirretään uuden isäntäsolun perimään, se saattaa toimia siellä valkuaisainetta tuottavana koordina samalla tavalla kuin isäntäsolussa. Mikrobeilla tämä oletus osoitettiin oikeaksi 1970-luvun alussa, jonka jälkeen mikrobeilla tehtävät geeninsiirtokokeet ja tutkimukset alkoivat nopeasti yleistyä. Ensimmäisiin sovelluksiin kokeet johtivat 1970-luvun lopulla, kun sokeritaudin hoidossa tarvittavaa insuliinia ryhdyttiin tuottamaan bakteereissa.

BIOTEKNIikka JA GEENITEKNIikka

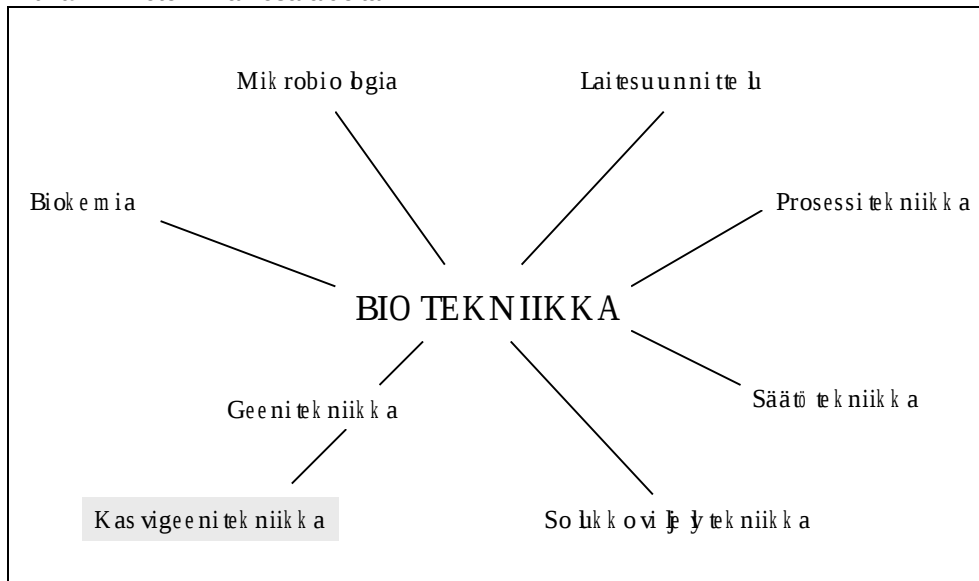
Bioteekniikalla tarkoitetaan sellaista luonnon- ja insinööritieteiden yhdistämistä, joka tähtää elävien organismien toimintaan perustuvien tuotteiden ja palvelujen tuottamiseen. *Geeniteekniikka* on bioteekniikan osa-alue, jossa perimää muuntamalla pyritään parantamaan elävien organismien, solujen sekä näiden osien käyttömahdollisuuksia. Käytännössä näiden termien käyttö on usein varsin horjuvaa, ja tiedotusvälineissä etenkin bioteekniikka-termiä saatetaan käyttää myös silloin, kun tarkoitetaan pelkästään geeniteekniikkaa.

Bioteekniikan käytöllä on pitkä historia, sillä ihminen on vuosituhansien ajan hyödyntänyt mikrobeja muun muassa oluen, juustojen ja viinien valmistuksessa. Geeniteekniikka sen sijaan perustuu organismien perimän tuntemiseen, ja siihen perustuvia sovelluksia on ollut olemassa 1970-luvulta lähtien.

Kasvigeeniteekniikka on kasveihin kohdistuvaa geeniteekniikkaa. Termillä tarkoitetaan usein vain kasveihin tehtävää geeninsiirtoa, joskin kasvigeeniteekniikan menetelmiä käytetään kasvinjalostuksessa sellaisissakin yhteyksissä, joissa geenejä ei siirretä. *Kasvibioteekniikka* tarkoittaa geeniteekniikkaa ja sen ohella käytettäviä solukkoviljelytekniikoita kasvinjalostuksessa. Kasvibioteekniikan avulla kasvinjalostuksessa voidaan muun muassa tuottaa uutta geneettistä vaihtelua, lyhentää peräkkäisten sukupolvien tuottamiseksi tarvittavaa aikaa, nopeuttaa homotsygotian syntymistä (jolloin kasvilla on samanlaiset geenit molemmilta vanhemmiltaan) sekä tuottaa kasvinklooneja ja viruksettomia taimia.⁸

⁸ Tigerstedt (1986).

Kuva 1.2 Biotekniikan osa-alueita



Kasvigeenitekniikan tärkeimmät sovelluskohteet ovat kasvinjalostuksessa. Seuraavassa luodaan lyhyt katsaus kasvinjalostuksen historiaan ja menetelmiin.

KASVINJALOSTUKSEN HISTORIAA

Maanviljelyn ja samalla myös kasvien jalostamisen katsotaan alkaneen noin 9000-10000 vuotta sitten Kaakkois-Turkin Karadag-vuorten⁹ seudulla. Täällä ns. hedelmällisen puolikuun keskellä otettiin käyttöön monien nykyisinkin viljeltävien kasvien kantamuodot¹⁰. Esimerkiksi vehnän kantamuoto on syntynyt muutaman geenin *mutaation*¹¹ ja villiheinalajien välisen risteytymisen tuloksena. Muutamassa sadassa vuodessa metsästäjä-keräilijöistä maanviljelijöiksi ryhtyneet asukkaat alkoivat vehnän lisäksi viljellä herneitä, linsejä ja ruista. Lähiseuduilla alettiin hyödyntää viinirypäleitä, oliiveja ja ohraa.

Samoihin aikoihin perunoiden ja papujen viljely alkoi Perussa, riisi otettiin käyttöön Indokiinassa ja kurpitsa Keski-Amerikassa. Noin 6000 eKr. sokeriruokoa viljeltiin Uudessa Guineassa, banaaneja ja kookospähkinöitä Indonesiassa sekä maissia ja pippuria Meksikossa.¹² Vähitellen viljeltävien kasvit ominaisuudet ovat kehittyneet paremmiksi: vielä

⁹ Tähtinen (1998).

¹⁰ Somersalo et al. (1998).

¹¹ *Mutaatio* on geenissä tai kromosomissa tapahtuva äkillinen rakenteellinen muutos (ks. sanasto).

¹² Reiss ja Straughan (1996).

7000 vuotta sitten maissin tähkät olivat noin 2,5 cm pitkiä, ajanlaskun alussa niiden pituus oli noin 10 cm, ja nykyään maissin tähkät saattavat olla yli 30 cm pituisia.¹³

Ensimmäisten alkukantaisten viljelijöiden vehnäsadot olivat joitakin satoja kiloja hehtaarilta. Satojen parantamiseksi viljelijät keräsivät parhaiten tuottavien kasviyksilöiden siemenet seuraavan vuoden kylvösiemeneksi. Tämä valintaprosessi toistui vuosisatojen ajan, ja siitä on mainintoja jo roomalaisten *Virgiliuksen*, *Columellan* ja *Varron* teoksissa. Toiminta ei kuitenkaan ollut määrätietoista kasvinjalostusta, sillä kasvien perinnöllisyyden ymmärtämiseen ei ollut edellytyksiä. Esimerkiksi kasvien siitossuhteista päästiin selville vasta vuonna 1694, jolloin *Camerariuksen* asiaa käsittelevä teos *De sexu plantarum epistola* ilmestyi. Varsinkin peltokasvien määrätietoinen jalostustyö oli vähäistä ennen 1800-lukua.

Ensimmäiset keinotekoiset risteytykset eri kasviyksilöiden välillä teki *Koelreuter* Saksassa vuonna 1759, ja vuonna 1787 englantilainen *Knight* teki vehnä- ja hernelajeilla ensimmäiset kasvien jalostamiseen tähtäävät risteytykset. Skotlantilainen *Schirreff* kehitti 1820-luvulla ns. yksilöjalostuksen, joka on edelleen kasvinjalostuksessa yleisessä käytössä. Yksilöjalostuksessa valitaan tarkoituksellisesti erityyppisiä kasviyksilöitä, jotka risteytetään keskenään mahdollisimman suuren vaihtelun aikaansaamiseksi. Jalostustapaa kehitti edelleen muun muassa ruotsalainen *Hj. Nilsson*, joka toimi Ruotsissa vuonna 1886 perustetun Ruotsin kylvösiemenyhdistyksen johtajana.

Kasvien käytännöllinen jalostustyö kehittyi varsin pian sen jälkeen, kun perinnöllisyyden perusteista ja organismien kehittymisestä esitettiin ensimmäiset hypoteesit ja teoriat. Itävaltalainen *G. Mendel* teki 1850- ja 1860-luvuilla kuuluisat risteytystutkimuksensa, kaikkiaan 10 000 eri koetta, joiden tulokset julkaistiin vuonna 1866. Vuonna 1859 *Ch. Darwin* julkaisi teoksensa *Lajien synty*. Tilastomatemaattiset menetelmät kasvien jalostustyöhön toi englantilainen *Galton* 1880-luvulla.

Varsinkin saksalaisten jalostajien keskuudessa Darwinin teoria hyväksyttiin nopeasti kasvinjalostuksen tieteelliseksi perustaksi. Mendelin risteytyslait jäivät sen sijaan huomiotta melkein viideksikymmeneksi vuodeksi. Ne otettiin käyttöön vasta tämän vuosisadan alussa.

¹³ OPECST (1998).

KASVINJALOSTUKSEN PERIAATTEET¹⁴

Luonnon evoluutio ja kasvinjalostus perustuvat molemmat kahteen perustapahtumaan: *perinnölliseen muunteluun* ja *valintaan*. Luonnon evoluutiossa elinkelpoisimpien yksilöiden valinta perustuu vallitseviin ympäristöolosuhteisiin sopeutumiseen, eikä evoluutiolla näin ole mitään erityistä jalostuksellista päämäärää. Kasvien jalostustoiminnassa ihminen sen sijaan valitsee tarkoituksiinsa parhaiten sopivat yksilöt, esimerkiksi satoisimmat kasvit, ja järjestää näille viljelyolosuhteiden avulla mahdollisuuden kasvaa ilman muiden yksilöiden kanssa käytävää kilpailua.

Ihminen on kehittänyt kasvien keinotekoiseksi risteyttämiseksi menetelmiä, joiden avulla kahden mielenkiintoisen ja lupaavan yksilön perimät voidaan yhdistää. Näin kasvinjalostus tuottaa lajikkeita, jotka ovat mahdollisimman hyödyllisiä ihmiselle, mutta jotka eivät yleensä pysty tulemaan toimeen luonnossa, jossa ne joutuvat kilpailemaan elintilasta alkuperäisten luonnon ehdoilla valikoituneiden kasvien kanssa.

Kasveissa on kahdenlaista *luonnollista muuntelua*: 1) ympäristön aiheuttamaa *ei-perinnöllistä muuntelua* ja 2) kasvien geenistössä esiintyvää *perinnöllistä muuntelua*. Ei-perinnöllinen muuntelu voi olla laajaa, mutta lajikkeiden kehittämisessä se ei johda pysyviin parannuksiin. Vaikka esimerkiksi jonkun puhtaan hernelajikkeen viljelyssä saatujen palkojen koossa saattaa olla suuriakin eroja, ei suurten palkojen erottaminen omiksi linjoikseen välttämättä tuota seuraavissa sadoissa sen enempää suuria palkoja kuin ensimmäinen sato.

Perinnöllinen muuntelu puolestaan johtuu perintötekijöiden uudelleenjärjestäytymisestä tai yksittäisten geenien muunnoksista eli *mutaatioista*. Tavallisesti kasvilla on kutakin geeniä kaksi kappaletta, joista toinen on peräisin isältä, toinen äidiltä. Jos nämä vastin geenit ovat samanlaisia, on kasvi *homotsygootti* ko. geenin suhteen.

Kun muuntunut geeni on lajikkeessa homotsygoottisena, vastaava ominaisuus ilmenee samanlaisena myös seuraavissa sukupolvissa. Näin esimerkiksi herneen suuripalkoisuus siirtyy sukupolvesta toiseen, jos suuripalkoisuuden aiheuttava geeni (tai geenit) ovat lajikkeessa homotsygoottisina. Edellytyksenä on, että suuripalkoisuusgeeneissä tai niiden järjestäytymisessä ei tapahdu uutta perinnöllistä muuntelua, ja että lajike ei risteydy muiden lajikkeiden kanssa.

Muuntelua voi syntyä lähes rajattomasti. Jos risteytetään kaksi yksilöä, jotka eroavat toisistaan kymmenen ominaisuuden suhteen, niin toisessa jälkeläispolvessa voi teoriassa

¹⁴ Ks. Sauli (1947), Kivi ja Tigerstedt (1975), Kivi (1983).

olla jo 60 000 erilaista perimärakenneyhdistelmää. Risteytymien ohella myös mutaatiot aiheuttavat kasveilla paljon muuntelua. Kaiken kaikkiaan kasvin perimä näyttää olevan muuntumiselle altis: lähisukuisten kasviryhmien kromosomit voivat olla erikokoiset ja suurin osa niistä saattaa olla ”turhaa” DNA:ta, joka ei osallistu valkuaisaineiden tuottamiseen.¹⁵

JALOSTUSMENETELMIÄ

Valinta on keskeinen työvaihe jokaisessa kasvinjalostusohjelmassa, joskaan itsenäisenä jalostusmenetelmänä sitä ei enää juuri käytetä.¹⁶ Valintajalostuksessa liikkeelle lähdetään hyvin monista, joskus sadoistatuhansista perimältään erilaisista yksilöistä. Kustakin sukupolvea valitaan jatkoon aina vain muutamia ehdottomasti parhaat yksilöt. Prosessi toistetaan ja varmistetaan käytännön kokemuksella vuosi vuoden jälkeen, kunnes pari parasta linjaa ehkä kelpuutetaan lajikekokeisiin asti. *Ylläpitojalostuksessa* jalostaja huolehtii valinnan avulla viljelyyn tulossa olevien tai jo markkinoille tuotujen lajikkeiden tyyppipuhtauden ja geneettisen rakenteen pysyvyydestä (ks. myös kuva 1.3).

Risteytysjalostus

Risteytysjalostus on jalostusmenetelmistä yleisin. Se perustuu siihen, että toisistaan paljon poikkeavia vanhemmaisyyksilöitä risteytetään keskenään, jolloin jälkipolvissa esiintyy paljon uusia perimätyyppejä. Risteytyksissä pyritään yhdistämään vanhempien arvokkaita ominaisuuksia ja karsimaan niiden heikkouksia. Esimerkkejä luonnossa tapahtuneista, lajien välisistä risteytymistä syntyneistä kasveista ovat vehnä, tomaatti, mansikka ja soija. Tunnettuja keinotekoisesti aikaansaatuja lajiristeytymiä ovat esimerkiksi ruisvehnä, jonka ruotsalaiset ja saksalaiset kasvinjalostajat kehittivät 1940-luvulla, sekä nektariini, joka on persikan ja luumun risteytymä.

Risteytysten avulla kasvinjalostuksessa voidaan hyödyntää myös muilla menetelmillä, kuten esimerkiksi *bio-* tai *geenitekniikalla* aikaansaatu muuntelu kasvin perimässä. Jälkeläispopulaation rakennetta voidaan ohjata myös valitsemalla risteytysvanhemmiksi tietynlaisia lajikkeita tai muotoja. Monien ristipölytteisten lajien (esimerkiksi ruis) viljeltävät lajikkeet ovat tällaisia lähisukuisten perimätyyppien muodostamia seospopulaatioita.

Kaikkia mahdollisia yhdistelmiä ei risteyttämällä saada syntymään, vaan mahdollisuudet uusiin ominaisuuksiin ovat rajalliset. Syyt ovat biologisia ja muun muassa perimän rakenteesta riippuvia. Kaksi eri ominaisuutta aiheuttavaa geeniä voivat olla kromosomissa

¹⁵ Derksen ja Maessen (1998).

¹⁶ Kivi ja Tigerstedt (1975).

esimerkiksi niin lähekkäin, että ne eivät käytännöllisesti katsoen koskaan eroa toisistaan sukusolujen muodostumisessa. Jos nämä geenit ovat sellaisia, että toista ominaisuutta haetaan ja toista ei haluta, perinteisillä jalostusmenetelmillä ollaan ratkaisemattoman ongelman edessä. Suurimpia risteytysjalostusta vaikeuttavia tekijöitä ovatkin geenien tiukka kytkeytyminen toisiinsa ja se, että yksi geeni voi kasvissa vaikuttaa useampaan kuin yhteen ominaisuuteen.¹⁷

Uusia ominaisuusyhdistelmiä tavoittelevissa risteytyksissä yksilö saa ei-haluttuja ominaisuuksia. Sen vuoksi jalostajat käyttävät paljon myös *takaisinristeytystä*, jossa uusi risteytymä risteytetään jomman kumman vanhempansa kanssa, jotta vanhemman hyvät ominaisuudet vahvistuisivat ja toiselta vanhemmalta tulleet huonot ominaisuudet karsiutuisivat. Erityisen suuri tämä ei-toivotun geenistön ongelma on *etäristeytyksissä*, joissa viljelykasviin haetaan läheiseltä villilajilta jotain tiettyä ominaisuutta. Tällöin mukana siirtyy suuri joukko viljelyn kannalta huonoja, primitiivisiä geenejä, joiden karsiminen vaatii useita takaisinristeytyskupunpolvia viljelykasviin päin. Puhdistuminen on kuitenkin vain tilastollista, eikä lajikkeen puhtaudesta voida perinteisin menetelmin varmistua.

Polyploidiajalostus

1930-alkanut polyploidiajalostus käyttää hyväkseen joko spontaanisti syntyvää tai kemiallisella käsittelyllä aikaansaatua geenistön moninkertaistumista, *polyploidiaa*¹⁸, jonka tuloksena voi olla mm. jyvien koon tai satoisuuden kasvu. Kemiallisessa käsittelyssä solumyrkkyllä¹⁹ estetään tuman jakautumisen yhteydessä normaalisti tapahtuva perintöaineen kahtiajakautuminen. Seurauksena on soluja, joilla on perintöainesta eli geenejä kaksinkertainen määrä emosoluihin verrattuna.

Useat puutarhakasvit (esim. narsissi, tulppaani, kurjenmiekka) ovat peräisin spontaanisti syntyneistä polyploidisista muodoista. Ruotsissa on ollut viljelyssä tetraploidi (so. nelinkertaisen kromosomiston sisältävä) *Dubbelsål*-ruis, ja Pohjois-Amerikassa viljellään rukiin triploidista *Fourex*-lajiketta, jossa on kolminkertainen kromosomisto. Suomessa on käytössä tetraploideja puna-apila- ja alsike-apilalajikkeita, ja myös sokerijuurikkaalla on hyviä polyploidisia lajikkeita. Triploidit lajikkeet ovat usein siemenettömiä, mitä voidaan käyttää hyväksi muun muassa hedelmä- ja juurikasvien viljelyssä.

¹⁷ Tätä kutsutaan *pleiotropiaksi*.

¹⁸ *Polyploidia* tarkoittaa haploidisen kromosomiston esiintymistä enemmän kuin kaksinkertaisena.

Ks. Kivi ja Tigerstedt (1975).

¹⁹ Kolkisiini-niminen solumyrkky.

Mutaatiojalostus

Mutaatiojalostus käyttää hyväkseen kromosomien rakenteessa tai geeneissä aikaansaatuja muutoksia, *mutaatioita*. Mutaatioita tapahtuu jatkuvasti luonnossa, jossa luonnon monimuotoisuus eli *geneettinen diversiteetti* perustuu spontaanisti tapahtuviin mutaatioihin. Edellä kuvattu *polyploidia*-ilmiö, normaalia useampikertaisen kromosomiston syntyminen kasviin, on mutaation erikoistapaus.

Mutageenien eli mutaatioita aiheuttavien aineiden ja säteilytyksen avulla ihminen on lisännyt muuntelua keinotekoisesti. 1950-luvulta lähtien kasvinjalostajat ovat käyttäneet *radioaktiivista säteilytystä* ja myöhemmin *kemiallisia yhdisteitä*. Rakennemuutoksia kasvien perimässä on aiheutettu muun muassa röntgensäteillä, radioaktiivisilla isotoopeilla (kuten radiokoboltilla ^{60}Co ja radiocesiumilla ^{137}Ce) sekä gamma- ja neutronisäteilytyksellä. Esimerkkejä kemiallisista yhdisteistä ovat etyylimetaanisulfonaatti ja natriumatsidi, jotka voimakkaina mutageeneina tuottavat geneettisiä muutoksia huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi gammasäteily. Vuonna 1992 yli 1548 rekisteröityä kasvilajiketta sisälsi vanhemmissaan edellämainituilla keinoilla aikaansaadun *mutantin* eli muunnoksen.²⁰

Mutageenisten aineiden tai säteilytyksen haittana on, että etukäteen ei voida tietää missä geeneissä muutoksia tapahtuu ja kuinka suuria nämä muutokset ovat. Mutaatiojalostuksen tuloksena saadaan tämän takia paljon elinkelvottomia tai muuten jalostuksen kannalta epäedullisia muunnoksia. Niinpä keinotekoisien mutaatioiden käyttö vaatii paljon valintatyötä ja harjaantuneen jalostajan tekemää ominaisuuksien arviointia.

Hybridijalostus

Hybridijalostus on erityismenetelmä, jonka avulla kasvien sadontuottokykyä saadaan nostettua risteytyksen jälkeisissä muutamissa ensimmäisissä sukupolvissa. Hyvä sadontuottokyky perustuu tällöin ns. *heteroosi*-ilmiöön, jossa erilaisten geenistöjen yhdistämisellä on satoa nostava yhteisvaikutus. Koska sadonlisäysvaikutus yltää todella voimakkaana vain ensimmäiseen jälkeläispolveen²¹, viljelijä joutuu hankkimaan jokaista viljelykautta varten uuden kylvösiemenen, joka on varta vasten tuotettu risteyttämällä hybridin vanhemmat keskenään.²² Hybridilajikkeille on ominaista myös sadon korkea tasalaatuisuus, joka on monissa teollisissa prosesseissa tärkeää. Esimerkiksi useimmat maissilajikkeet ovat hybridejä, ja markkinoilla on myös kurkun ja tomaatin hybridi-siementä.

²⁰ Downey (1992).

²¹ Ns. *F1-polvi*.

²² Kivi (1983).

Resistenssijalostus

Resistenssijalostus tähtää sellaisten lajikkeiden jalostamiseen, joilla on vastustuskyky eli *resistenssi* esimerkiksi kasvitauteja tai tuhohyönteisiä vastaan.²³ Lajikkeen muuttuminen vastustuskykyiseksi johtaa vähitellen luonnon valintapaineessa siihen, että kasville haitallisen taudinaiheuttaja- tai tuholaiskannan keskuudessa kehittyy uusi kanta, joka pystyy aiheuttamaan tuhoa kasvin aiemmin kehittämästä vastustuskyvystä huolimatta. On arvioitu, että resistenssi säilyy vain noin 5-10 vuotta, minkä jälkeen viljelijä tarvitsee uudet lajikkeet. Suurin osa kasvien viljelykelpoisuutta parantavasta jalostustyöstä kuluu-kin resistenssijalostukseen.²⁴

JALOSTUSOHJELMAN VAIHEITA

Muuntelun tuottamisen ja kasvien risteyttämisen jälkeen jalostajalla on monivuotinen tehtävä edessään. Halutut ominaisuudet on saatava pysyviksi toistuvalla viljelyllä ja valinnalla, ja agronomisten ominaisuuksien hyvyys on varmistettava useita sukupolvia kestävillä peltokokeilla. Samoin on selvitettävä, millaisissa viljelyolosuhteissa jalostettava lajike sopii parhaiten viljeltäväksi.

Uusi lajike-ehdokaas joutuu lopulta virallisiin lajikekokeisiin, joiden kriteerit täytettyään se hyväksytään uudeksi lajikkeeksi. Vasta tämän jälkeen lajikkeen kaupallinen viljely voi alkaa. Koko prosessi kestää 9-15 sukupolvea ja lähes yhtä monta vuotta, ellei sukupolvia voida tuottaa useampia vuodessa. Monia sukupolvia kestävä tarkastelu ja arviointi takaavat, että uusi lajike ei tuo odottamattomia yllätyksiä viljelijöille tai lopputuotteen käyttäjille.

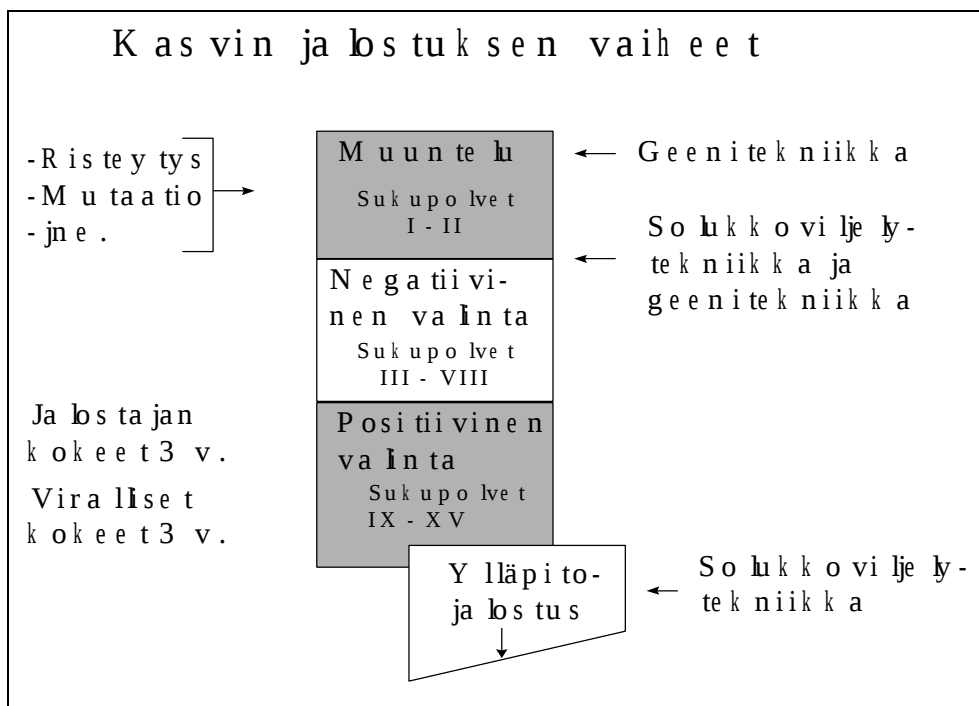
Kuva 1.3 Kasvinjalostuksen vaiheet²⁵



²³ Kivi ja Tigerstedt (1975).

²⁴ Kivi (1983).

²⁵ Kuva muokattu E. Kiven esitelmästä *European Brewery Conventionin* kokouksessa Helsingissä 1988. Negatiivinen valinta on heikoimpien yksilöiden karsimista, positiivinen valinta parhaiden yksilöiden etsimistä ja jatkojalostukseen hyväksymistä.



Puutarhakasvien jalostaminen tapahtuu samojen periaatteiden mukaan kuin peltokasvienkin, joskin marja- ja hedelmäkasveja voidaan lisätä myös suvuttomasti esimerkiksi pistokkaiden, rönsyjen tai muiden kasvinosien avulla. Suvuton lisääminen takaa kohtalaisella varmuudella perimän pysymisen samankaltaisena kuin emokasvissa. Puutarhakasveilla ei näin ollen aina tarvita niin monen sukupolven seurantaa kuin peltokasveilla: kun haluttu ominaisuus on todettu kasvissa, se voidaan siirtää jälkeläisille *vegetatiivisesti* eli kasvullisesti. Jalostekasvista tehdään siis *klooni*, jonka kaikki yksilöt ovat identtisiä.

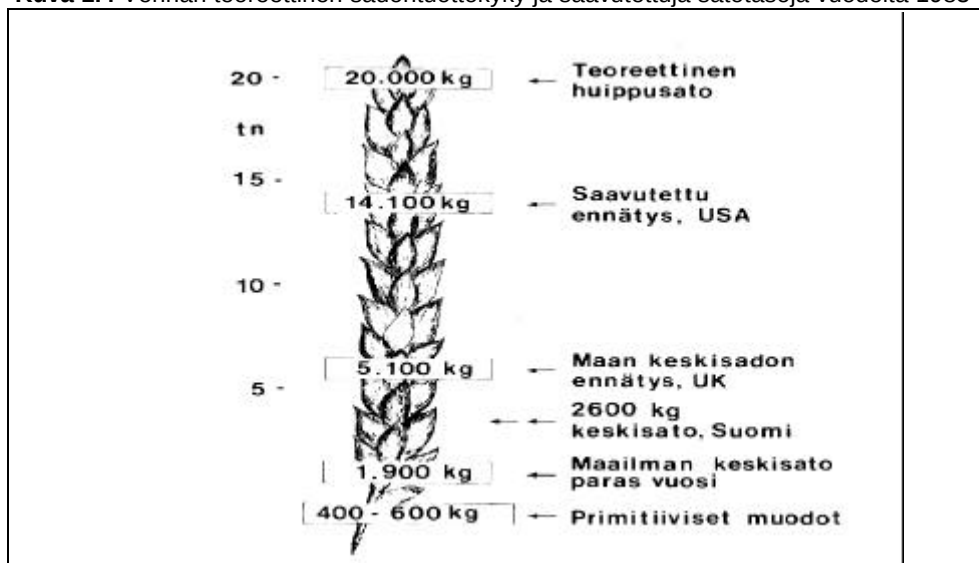
Viljelykasvit on kehitetty jalostustyöllä niin etäälle alkuperäisistä primitiivisistä maataislajikkeista, että joillakin nykyisin viljelyksessä olevilla kasvilajikkeilla on vaikeuksia riisteytyä alkuperäisen villimuotonsa kanssa. Samalla lajikkeiden ominaisuudet ovat muuttuneet ihmisen toiveiden mukaisiksi. Esimerkiksi vehnän primitiiviset viljelymuodot, joita viljellään vieläkin joillakin alueilla, tuottavat noin 600 kg:n hehtaarisadon. Vehnän teoreettinen huippusato on 20 000 kg/ha ja tähän mennessä saavutettu satoennätys noin 14 000 kg/ha, joka on saatu USA:ssa hehtaarin suuruiselta koeviljelmältä. Maailman keskisato on suunnilleen 1900 kg/ha (ks. kuva 1.4).²⁶ Suomessa vehnän nykyinen keskisato on noin 3600 kg/ha.²⁷ Luvut kertovat satotason moninkertaistuneen jalostustyön

²⁶ Kivi (1983).

²⁷ Maatilahallitus (1996). Vuosina 1992-1996 syys- ja kevätvehnän keskisato oli Suomessa 3570 kg/ha.

tuloksena. Samoin luvuista on pääteltävissä, että jos esimerkiksi luomuviljelijät hylkäävät vaikkapa mutaatiotekniikalla saadut jalosteet ja siirtyvät takaisin maatiaislajikkeisiin, heidän on varauduttava satotason laskuun.

Kuva 1.4 Vehnän teoreettinen sadontuottokyky ja saavutettuja satotasoja vuodelta 1983²⁸



Perinteisen kasvinjalostuksen tuloksena viljelykasvit ovat muuttuneet paljolti ihmisten toiveiden mukaisiksi. Koska uusien lajikkeiden jalostaminen on pääsääntöisesti perustunut jo kehitettyjen lajikkeiden edelleen kehittämiseen, lajien perinnöllinen vaihtelu on päässyt kapenemaan, mikä on osaltaan vaikeuttanut tauti-, hyönteis- ja ympäristöolosuhteita kestävien lajikkeiden jalostamista. Niinpä kasvien villimuodoista pyritään hakemaan lajikkeisiin lisää tauti- ja tuholaiskestävyyttä, sillä huomattava osa viljelykasvien keskimääräisestä 25-40 %:n satohävikistä johtuu kasvitaudeista ja tuhohyönteisistä.²⁹ Perinteisin menetelmin kestävyysominaisuuksien siirto onnistuu vain hyvin lähisukuisia lajeja risteyttämällä ja vaatii pitkän puhdistusvaiheen toistuvine takaisinristeytyksineen.

GEENITEKNIikka KASVINJALOSTUKSESSA

Geenitekniikan ja kasvibiotekniikan soveltamista kasvinjalostukseen on kutsuttu *geeni-vallankumoukseksi*.³⁰ Vallankumous alkoi 1980-luvun loppupuolella, yli 30 vuoden

²⁸ Kivi (1983). Kuva on vuodelta 1983 ja siksi osin vanhentunut. Suomessa vehnän keskisato on nykyisin noin 3600 kg/ha.

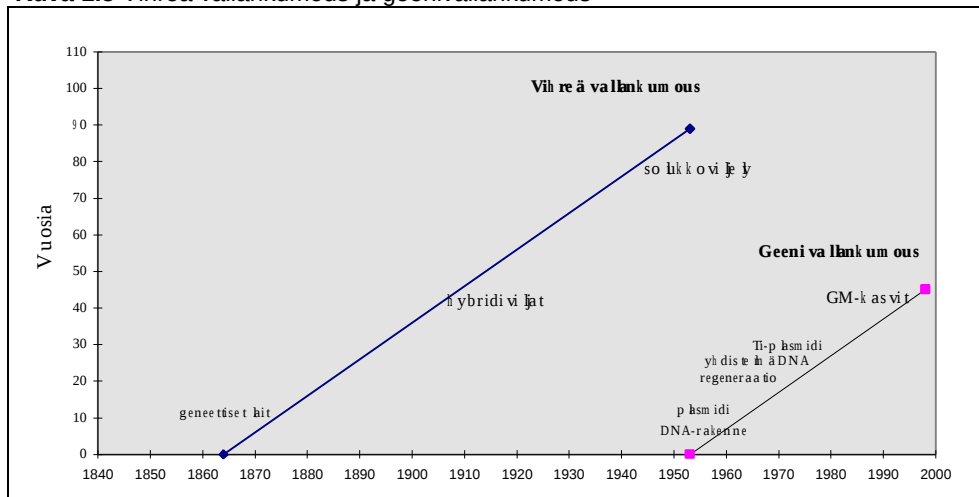
²⁹ Krattiger (1997).

³⁰ Engl. "gene revolution".

kuluttua DNA:n rakenteen selvittämisestä ja geenitason perustutkimuksen alkamisesta, mutta alle 10 vuotta ensimmäisen onnistuneen kasviin tehdyn geeninsiirron jälkeen.

Geenivallankumous on nähty jatkona 1950-luvulla alkaneelle maanviljelyksen *vihreälle vallankumoukselle*. Vihreä vallankumous perustui Mendelin periytymislakeihin, perinteisen kasvinjalostuksen periaatteisiin ja moderneihin viljelymenetelmiin, kuten keinolan- noitukseen, keinokasteluun ja tuholaistorjuntaan. Aikaa Mendelin tutkimuksista vihreään vallankumouksen alkamiseen kului lähes 100 vuotta (ks. kuva 1.5).

Kuva 1.5 Vihreä vallankumous ja geenivallankumous³¹



Sekä kasvibioteknikkaa että kasvigeenitekniikkaa sovelletaan myös sellaisissa jalostusmenetelmissä, joissa geeninsiirtoa ei tehdä (ks. kuva 1.6):

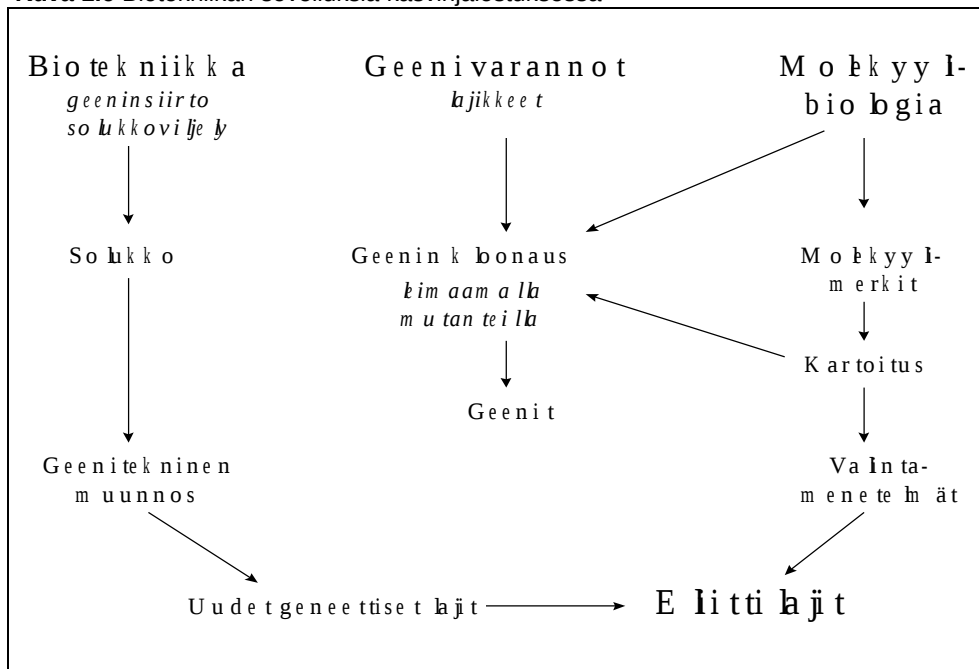
1. *Kasvigenomien kartoituksessa* geenit paikannetaan kromosomeissa molekyylibiologisin menetelmin. Jalostaja käyttää näin syntynyttä karttaa apuna valintatyössä.
2. Molekyylibiologisin menetelmin kasvien geenejä voidaan *merkitä*³² jonkun geenin lähellä sijaitsevan tunnistettavan DNA-rakenteen avulla. Merkin avulla haluttu geeni voidaan löytää nopeammin jalostuksen eri vaiheissa, ja myös geenitekniikalla siirretty geeni voidaan paikantaa kasvin perimästä. Tällaisten merkkien hyväksikäyttöä kasvinjalostuksessa kutsutaan *merkkiavusteiseksi valinnaksi*.

Näitä menetelmiä käytetään hyväksi myös kasvin sukulaisuussuhteiden selvittämisessä, mistä on hyötyä mm. jalostusohjelmien laatimisessa. Menetelmillä uskotaan olevan paljon käyttöä myös kasvilajikkeiden tunnistamisessa ja niiden käytön valvonnassa.³³

³¹ Ks. Shawn-Dow Kung (1993).

³² Engl. "gene tagging".

³³ Rao ja Iwanaga (1997).

Kuva 1.6 Biotekniikan sovelluksia kasvinjalostuksessa³⁴

Geenien siirtäminen

Geenitekniistä geeninsiirtoa kasveihin on nimetty *molekyylijalostukseksi* ja *täsmäjalostukseksi*. Termeillä korostetaan sitä, että kun tavallisessa risteytyksessä kasviyksilö saa kummaltakin vanhemmaltaan tämän koko genomin, noin 50 000 geeniä, niin geenitekniikassa siirroissa kasvisoluun siirretään yksittäisiä, tiettyä toimintaa varten valittuja geenejä. Perinteinen jalostus tapahtuu useimmiten vain saman lajin yksilöiden välillä, kun taas geenitekniikassa siirtoja tehdään myös yli lajirajojen, jolloin kasviin voidaan tuoda ominaisuuksia, joita ei perinteisillä jalostusmenetelmillä siihen saada.

Tekniset menetelmät

Geenien siirtämisessä voidaan käyttää useita menetelmiä. Tärkeimpiä ovat 1) *siirtovektori*, jotka ovat luonnon omia (virus- tai bakteeriperäisiä), vaarattomaksi tehtyjä siirtojärjestelmiä ja 2) *geenipommitus*, jossa DNA siirretään soluun fysikaalisin keinoin, esimerkiksi sekoittamalla DNA pienten metallipartikkelien kanssa, jotka sitten ammutaan kasvisoluun. Kummassakaan siirtotapahtumassa ei toistaiseksi voida etukäteen tietää, asettuuko geeni kasvin kromosomistoon, mihin kohtaan se mahdollisesti

³⁴ Ikeda ja Wakasa (1997).

asettuu ja toimiiko se toivotulla tavalla. Tästä syystä yleensä on tuotettava useita siirtogeenisiä kasvilinjoja, joista parhaat valitaan jatkoon.

Ensimmäiset geeninsiirrot kasveihin tehtiin vuonna 1983 melkein samanaikaisesti kahdessa eri tutkimusryhmässä.³⁵ Siirrettävä geeni³⁶ eristettiin maabakteerista ja siirrettiin käyttämällä siirtovektorina *Agrobacterium*-suvun bakteerin kromosomin ulkopuolista geenirakennetta eli *plasmidia*. Kasveihin geeni siirrettiin siten, että *Agrobacterium*-suvun bakteerin annettiin infektoida kasvi.

Agrobacterium-bakteerin käyttö perustuu siihen, että se on kasveille *patogeeninen* eli tautia aiheuttava, sillä se pystyy hyökkäämään kasvisoluihin erillistä geenirakennetta, ns. *plasmidia* hyväksi käyttäen. Normaalisti plasmidi tunkeutuu soluun ja asettuu kasvisolun kromosomistoon sopivalle paikalle, josta käsin se saa kasvisolun tuottamaan patogeenibakteerin tarvitsemia ravintoaineita. Kasveihin tehtävää geeninsiirtoa varten plasmidi kuitenkin eristetään patogeenibakteerista ja muokataan sellaiseksi, että se pystyy tunkeutumaan kasvisoluun ja asettumaan siellä kromosomistoon, mutta *ei* kykene määräämään kasvisolun toimintoja: näin saadaan *geeninsiirtovektori*. Laboratoriossa vektoriin voidaan kemiallisin keinoin liittää haluttuja geenejä säätelyalueineen, jolloin uudet geenit siirtyvät vektorin mukana kasvisoluun ja asettuvat sen kromosomistoon. Tämä tekniikka on osoittautunut hyvin toimivaksi kaikille kasveille, joille *Agrobacterium* on patogeeninen, eli ns. *kaksisirkkaisille kasveille*³⁷, kuten esimerkiksi peruna, tomaatti, soija ja rapsi. Ensimmäiset geeninsiirrot kasveihin tehtiin tupakkaan ja lituruohoon.³⁸ Muita kaksisirkkaisia kasveja tuli nopeasti ohjelmaan siten, että 1980-luvun lopulla *Agrobacterium*-menetelmää käyttäen siirtogeenisten kasvien lukumäärä oli kasvanut useaan kymmeneen.

Agrobacterium-bakteeri ei ole yleensä patogeeninen viljakasveille ja muille yksisirkkaisille kasveille. Tästä syystä *Agrobacterium*-menetelmää ei ole saatu viljakasveilla kunnolla toimimaan, joten näitä varten on jouduttu kehittämään muita menetelmiä. Parhaaksi on osoittautunut *geenipommitus*, jossa DNA:lla päällystettyjä noin 1 µm:n suuruisia³⁹ kultapartikkeleita ammutaan paineen avulla kasvisoluun. Solun sisällä DNA liukenee solulimaan, josta sen toivotaan kulkeutuvan tumaan ja liittyvän siellä tumanjakautumisen yhteydessä solun perimään. Menetelmällä siirrettävät geenit liittyvät melko sattumanvaraisesti solun DNA:han, joten kasvien jalostaminen edellyttää paljon valintatyötä, jotta haluttu ominaisuus saadaan kasvilla esille eikä uusi ominaisuus muu-

³⁵ Bevan (1984), Herrera-Estrella (1983).

³⁶ Antibioottiresistenssin antava neomysiinifosfotransferaasientsyymiä koodaava geeni.

³⁷ Kaksisirkkaisilla kasveilla on itämisvaiheessa kaksi sirkkalehteä, kun taas yksisirkkaisilla sirkkalehtia on vain yksi.

³⁸ Lat. *Arabidopsis*.

³⁹ 1 µm eli mikrometri, millimetrin tuhannesosa.

ten muuta kasvin käyttäytymistä. Pommituksella geenejä on siirretty moniin tärkeimpiin viljakasveihin: vuonna 1988 riisiin ja maissiin, vuonna 1992 vehnään ja kauraan sekä vuonna 1994 muun muassa ohraan ja rukiiseen. Viime vuosina tutkijat ovat kehittäneet em. tekniikoiden yhdistelmiä, jotka ovat soveltuneet hyvin myös viljakasveille.

Geenin toiminta solussa

Kun geeni on siirretty soluun, se on mukana solun aineenvaihdunnassa ja elämänvaiheissa. Jos solu ei lainkaan hyväksy siirrettyä DNA-materiaalia, se hajottaa sen ennen kuin DNA ehtii solutumaan. Jos solu ei hävitä geeniä, sillä on käytettävinsä seuraavat mahdollisuudet:

1. Siirretyn geenin koodi "sammutetaan" eikä se tuota valkuaisainetta. Soluyhteisössä, kasvissa, tätä ei havaita.
2. Siirretyn geenin koodi tuottaa solussa valkuaisainetta, joka parantaa solun lisääntymismahdollisuuksia: kasvi saa valintaetua ja selviää valinnassa paremmin kuin ennen.
3. Siirretyn geenin koodi tuottaa solussa valkuaisainetta, joka on solun kannalta turhaa: kasvi saa itselleen lisärasitteen ja häviää vähitellen luonnon valinnan kautta, ellei ihmisen järjestä sille otollisia kasvuolosuhteita.

Kahta viimeksi mainittua ilmiötä voidaan hyödyntää kasvinjalostuksessa. Esimerkkejä ovat muun muassa perhostoukille vastustuskykyinen puuvilla ja tavallista enemmän kuiva-ainetta sisältävä tomaatti:

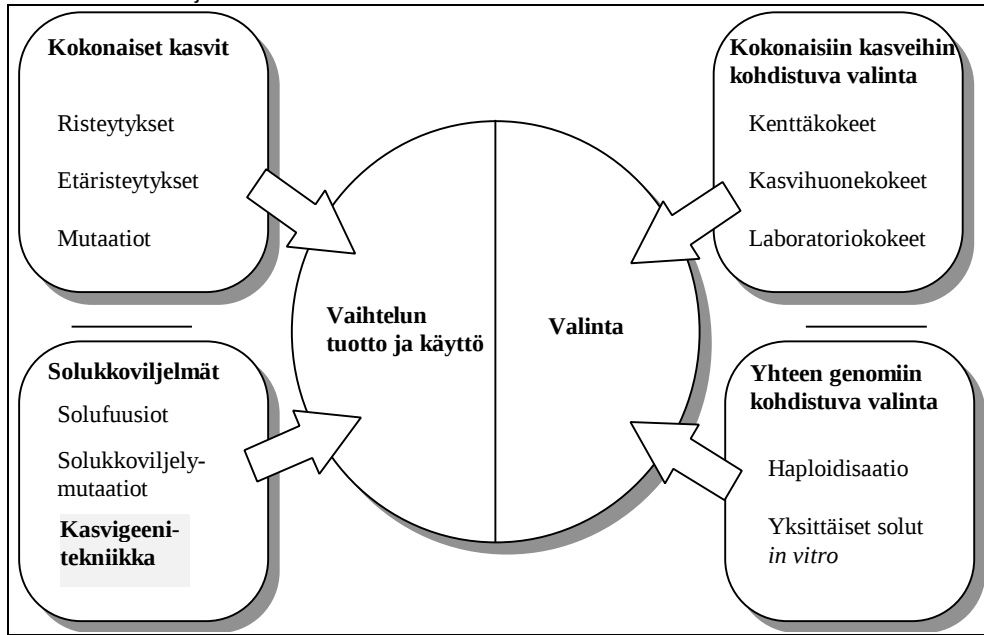
1. Puuvilla, johon siirretyt *Bacillus thuringiensis* (Bt)-bakteerin geenit tuottavat puuvillakoin toukalle myrkyllistä valkuaisainetta, saa kilpailuetua: se kestää paremmin puuvillakoin hyökkäyksiä, joiden torjuminen vaatii vähemmän torjunta-aineiden käyttöä.
2. Tomaatti, joka tuottaa enemmän kuiva-ainetta, ei saa siitä itselleen mitään etua, vaan kasvilta kuluu tavallista enemmän energiaa hedelmän tuottamiseen. Tomaatti on evoluution kannalta vanhempiaan heikompi ja sen ylläpito vaatii viljelijän apua. Teollisuus kuitenkin hyötyy tomaatin korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta soseprosessissa, joka halpenee, koska veden haihduttaminen vie vähemmän energiaa.

Periaatteellisella tasolla geeninsiirtoihin perustuvat kasvinjalostus eroaa perinteisestä kasvinjalostuksesta sikäli, että yksittäisiä geenejä voidaan siirtää kasviin yli lajirajojen. Tästä johtuen geeninsiirrot 1) nopeuttavat kasvinjalostusta, koska uusia ominaisuuksia haettaessa kasviin ei siirry muita, epätoivottuja ominaisuuksia, joiden karsiminen edellyttäisi aikaavievää takaisinristeytystä ja 2) lisäävät olennaisesti niiden ominaisuuksien määrää, joita kasveille voidaan antaa. Tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa 1)

hyönteisresistenssi, jolloin kasvi tuottaa jollekin tuholaishyönteiselle myrkyllistä valkuaisainetta (vrt. puuvillakoin kestävä puuvilla); 2) *herbisidi-* eli *torjunta-aineresistenssi*, jolloin kasvi kestää jotakin torjunta-ainetta, jota tällöin voidaan käyttää ko. kasvin viljelyksillä rikkaruohojen torjumiseksi; 3) *tautiresistenssi*, jolloin kasvilla on vastustuskyky jotakin taudinaiheuttajaa, esimerkiksi virusta vastaan, ja 4) *muuttuneet laadulliset ominaisuudet*, kuten esimerkiksi muuttunut ravintoainekoostumus (vrt. enemmän kuiva-ainetta sisältävä tomaatti).

Geeninsiirtotekniikkaa käyttävä jalostus eroaa tavallisista kasvien välisistä risteytyksistä myös sikäli, että geenin siirrot tehdään laboratorio-olosuhteissa yksittäisiin kasvisoluihin, joista siirtogeeniset kasviyksilöt kasvatetaan solukkoviljelymenetelmien avulla. Solukkoviljelyä on kasvinjalostuksessa tosin käytetty jo pitkään.

Kasvigeenitekniikka antaa kasvinjalostukselle keinoja muuntelun lisäämiseksi, mutta se ei korvaa muuta jalostustyötä uusien lajikkeiden kehittämisessä. Käsityksen kasvigeenitekniikan ja perinteisen jalostuksen menetelmien välisistä suhteista antaa Wenzelin (1992) esittämä kaavio (kuva 1.7), jossa geeninsiirrot nähdään yhtenä menetelmänä tuoda soluihin geneettistä vaihtelua.

Kuva 1.7 Kasvinjalostuksen menetelmiä⁴⁰

Vuoteen 1992 mennessä geenejä oli siirretty noin 50 kasvilajiin. Mukana olivat lähes kaikki kaksisirkkaiset viljelykasvit ja tärkeimmät yksisirkkaiset viljelykasvit: geenisiirron kohteina olivat muun muassa parsaa, banaani, parsakaali, rapsi, rypsi, maissi, durra, siku-ri, kahvi, sinappi, kaali, puuvilla, kurkku, meloni, greippi, lehtisalaatti, brysselinkaali, tomaatti, riisi, vehnä, ruis, ohra, peruna, öljypalmu, taatelipalmu, vadelma, soija, mansikka, auringonkukka.⁴¹ Eniten geeninsiirtoja olivat tehneet yksityiset yritykset USA:ssa.⁴²

Puuvartisilla kasveilla onnistunut geeninsiirto on tehty ainakin kuuseen, eukalyptuspuuhun, koivuun ja douglasmäntyyn. Suomessa onnistuneita geeninsiirtoja on tehty mm. lituruohon, tupakkaan (mallikasveja ja malligeenejä⁴³), perunaan (virusresistenssigeenejä), ohraan (laatu-geenejä), gerberaan (väri- ja malligeenejä) ja koivuun (malligeenejä).

Kenttäkokeet

Siirtogeenisten kasvien kenttäkokeet aloitettiin pian ensimmäisten geeninsiirtojen jälkeen. Eniten kokeita on tehty USA:ssa (kuva 1.8), jossa vuosina 1987-1997 rekisteröitiin yli 3 300 koetta lähes 14 200 koepaikassa. Vuoteen 1997 mennessä maailmassa oli tehty

⁴⁰ Ks. Wenzel (1992).

⁴¹ Fraley (1992).

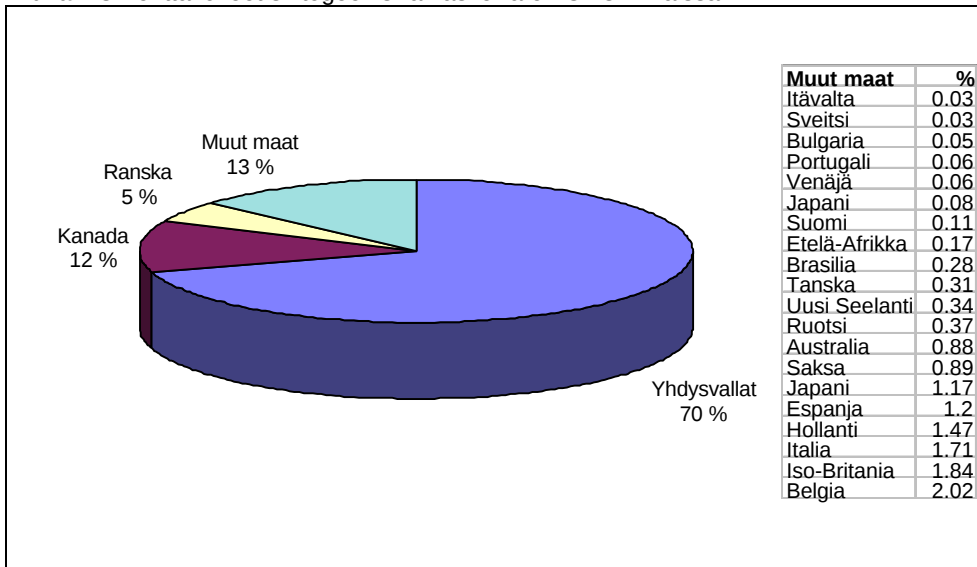
⁴² Beck ja Ulrich (1993).

⁴³ Mallikasveja ja -geenejä käytetään tutkimuksessa ilman välitöntä sovelluksen kehitystarkoitusta.

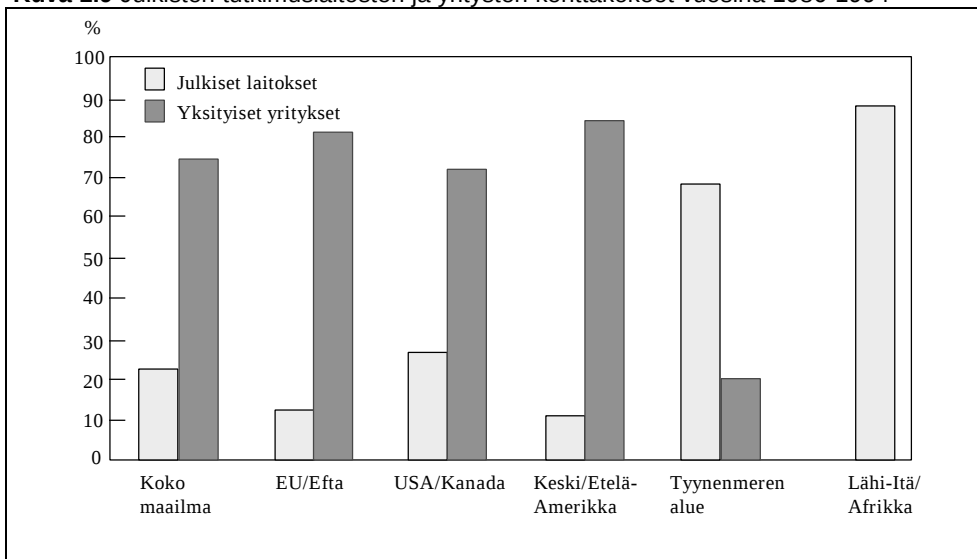
KASVINJALOSTUKSEN VAIHEITA

noin 25 000 kenttäkoetta, joista noin 72 % suoritettiin USA:ssa ja noin 15 % EU/EFTA-maissa⁴⁴. Yksityiset yritykset tekivät kenttäkokeita 3-4 kertaa enemmän kuin julkisrahoitteiset tutkimuslaitokset (kuva 1.9). Suomessa tehtiin vuosina 1987-1997 19 kenttäkoetta.

Kuva 1.8 Kenttäkokeet siirtogeenisillä kasveilla eri OECD-maissa⁴⁵



Kuva 1.9 Julkisten tutkimuslaitosten ja yritysten kenttäkokeet vuosina 1986-1994⁴⁶



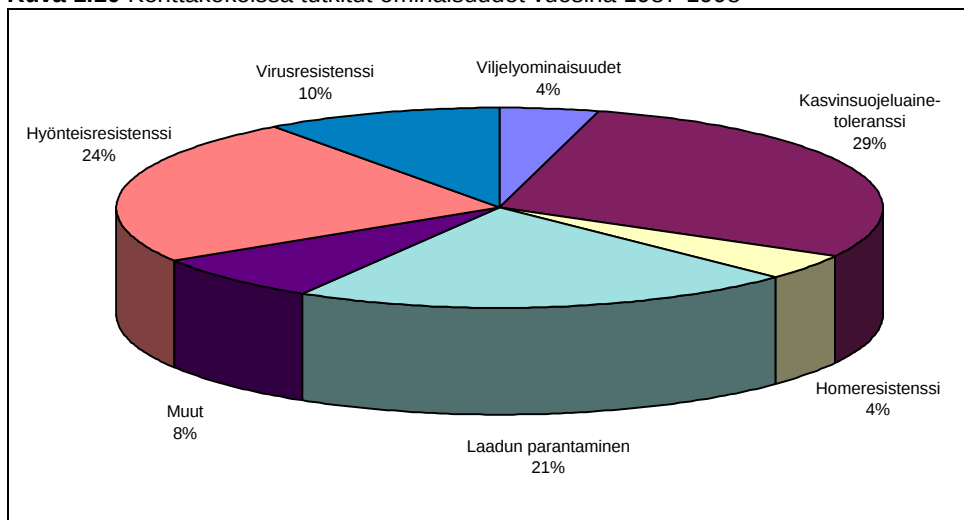
⁴⁴ James (1997).

⁴⁵ Ks. <<http://www.oecd.org/ehs/summary.htm>>. Tilasto on jatkuvasti päivittyvä ja se käsittää kaikki kenttäkokeet. Kuvan tilasto on päivitetty 5.7.1998.

⁴⁶ Goy ja Duesing (1995). Kuva alunperin *Green Industry Biotechnology Platformin* eli GIBiP:in tietokannan mukaan.

Vuosina 1987-1998 maailmassa tehtiin eniten kenttäkokeita rikkakasvien torjunta-aineita kestäville kasveille (29 %)⁴⁷. Seuraavina olivat hyönteisresistentit⁴⁸ (24 %) ja laatuominaisuuksiltaan muunnetut kasvit (21 %). Kenttäkokeista 10 % koski virusresistenttejä kasveja, ja 4 % viljelyominaisuuksiltaan parannettuja kasveja, joista esimerkkejä ovat muun muassa paremmin kylmyyttä kestävät kasvit (kuva 1.10). OECD-maissa eniten kokeita tehtiin maissilla (38 %), rapsilla (13 %), perunalla (12 %), tomaatilla (10 %), soijalla (9 %), puuvillalla (7 %) ja tupakalla (5 %) (kuva 1.11).

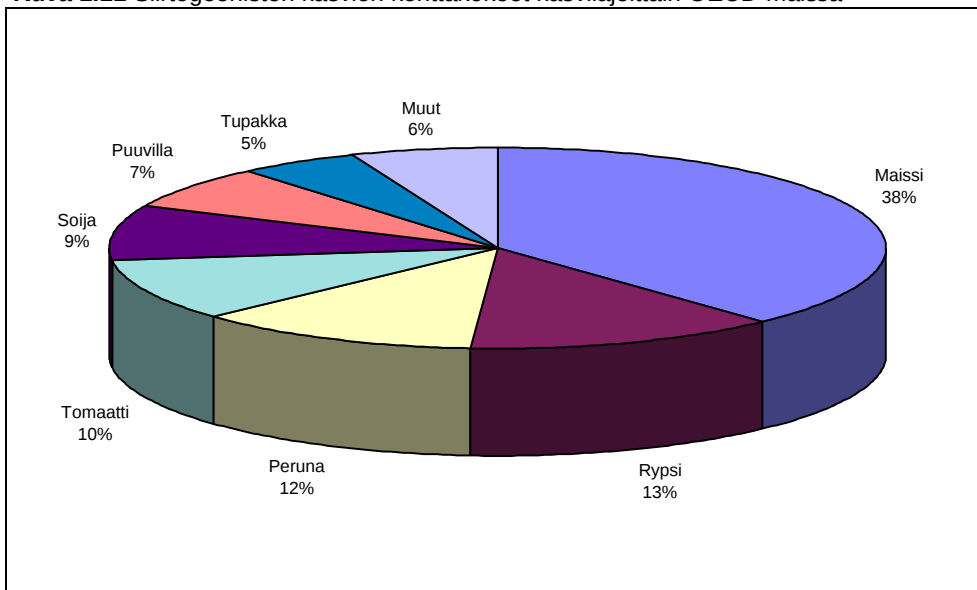
Kuva 1.10 Kenttäkokeissa tutkitut ominaisuudet vuosina 1987-1998⁴⁹



⁴⁷ 31.1.1998 mennessä.

⁴⁸ Tuhohyönteisten aiheuttamat hävikit vaihtelevat paljon kasvista riippuen: hedelmillä hävikki on keskimäärin 16 %, vihanneksilla noin 10 %, riisillä 4-5 %, maissilla 6 % ja puuvillalla jopa 30 %. Ks. Krattiger (1997), IRRI (1996).

⁴⁹ 31.1.-98 mennessä; ks. <http://www.aphis.usda.gov/bbep/bp/98feb-1.gif>.

Kuva 1.11 Siirtogeenisten kasvien kenttäkokeet kasvilajeittain OECD-maissa⁵⁰

Kenttäkokeiden määrä on tilastojen mukaan vähentynyt vuoden 1995 huipun jälkeen, sillä vuonna 1995 OECD-maissa tehtiin ilmoitusten mukaan kaikkiaan yli 1 400 koetta, mutta vuonna 1997 ainoastaan 850 kappaletta (kuva 1.12). Osasyynä kenttäkokeiden määrän vähenemiseen on se, että USA:ssa kasvien ja eläinten terveyden valvonnasta vastaava viranomainen APHIS⁵¹ on keventänyt useiden viljelylajien (maissi, tomaatti, soija, puuvilla, tupakka ja peruna) sääntelyä siten, että useimmat kenttäkokeet eivät enää edellytä raskasta lupamenettelyä. Tilalle on tullut ns. tiedoksiantomenettely (engl. notification process)⁵². Vuonna 1994 kaikista kenttäkokeista 88 % tehtiin näillä “fast track”-lajeilla, joihin on sittemmin lisätty muun muassa kurpitsa, meloni ja rapsi.⁵³

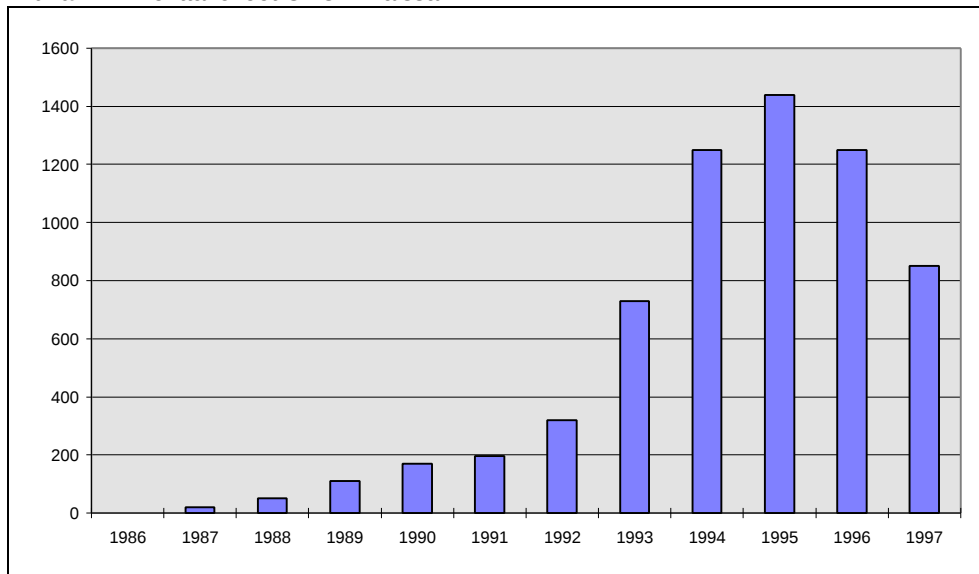
Suomessa siirtogeenisillä kasveilla tehtiin vuonna 1997 seitsemän kenttäkoetta. Kasveina kokeissa olivat ohra, sokerijuurikas, rypsi, peruna, kuusi, mänty ja rauduskoivu. Siirretyt ominaisuudet olivat merkkigeenejä (ohra ja puut), glyfosaatti-torjunta-aineen kestävyys (sokerijuurikas), korkea stearaattipitoisuus (rypsi) ja taudinkestävyys (peruna). Yritykset olivat mukana tai suorittivat itse kokeita kaikissa maatalouskasveja koskevissa kokeissa. Kahdessa tapauksessa kokeita tekivät ulkomaiset yritykset ulkomailla kehitetyillä lajikkeilla.

⁵⁰ Ks. <<http://www.oecd.org/ehs/summary.htm>>. Tilasto on jatkuvasti päivittyvä ja se käsittää kaikkina aikoina suoritettut kenttäkokeet. Kuvan tilasto on päivitetty 5.7.1998.

⁵¹ Animal and Plant Health Inspection Agency.

⁵² Ks. Salo ja Kauppinen (1997).

⁵³ Snow ja Palma (1997).

Kuva 1.12 Kenttäkokeet OECD-maissa⁵⁴

Markkinointiluvat

Elokuussa 1997 markkinoille hyväksyttyjä geenitekniikalla muunnettuja kasveja oli USA:ssa 28 kpl, Kanadassa 11, Japanissa 15 ja Euroopassa 11. Australiassa, Kiinassa ja Meksikossa on jokaisessa myönnetty markkinointilupa yhdelle geenitekniikalla muunnellulle kasville.⁵⁵

USA:ssa markkinointiluvat on annettu soijalle, puuvillalle ja maissille, jotka kestävät *herbicidejä* eli rikkakasvihävitteitä. Lupa on myönnetty myös papaijalle ja perunalle, jotka kestävät eräitä virustauteja, sekä hyönteistuholaisia kestäväille puuvillalle ja perunalle (esimerkiksi peruna, jolla koloradokuoriaisen toukka ei elä). Neljälle yhtiölle on annettu lupa markkinoida tomaattia, jonka tuoreena pysymisaikaa on pidennetty. Myös öljyhappokoostumukseltaan muunnettu rapsi on saanut markkinointiluvan.

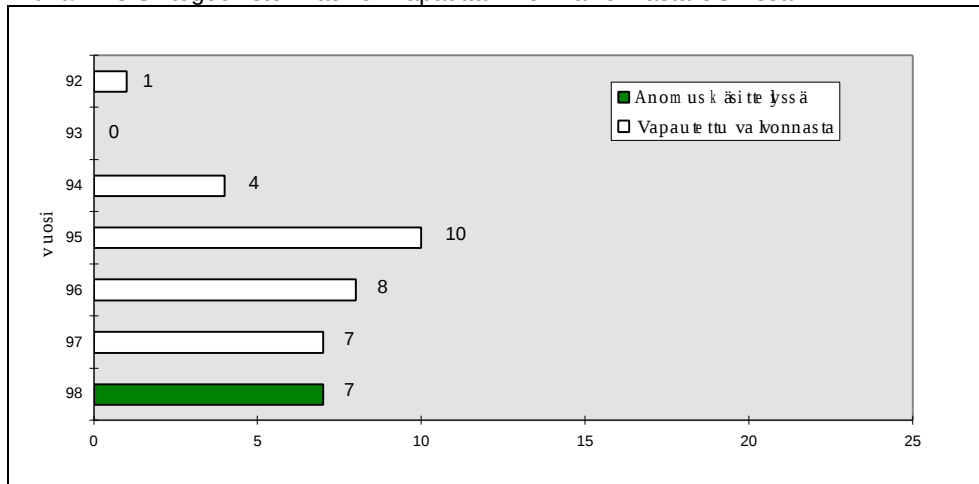
USA:ssa useat kasvit on vapautettu erityisvalvonnasta vuosina 1992-1998. Kaikkiaan erityisvalvonnasta on vapautettu 30 kasvia ja 7 anomusta on käsittelyssä (kuva 1.13). Erityisvalvonnasta vapautettuihin kasveihin kuuluvat muun muassa hyönteisiä kestävät maissi ja puuvilla, koloradokuoriaisen kestävä peruna, kypsymiseltään muunneltu tomaatti, viruksenkestävä meloni, kasvinsuojeluaineita kestävät puuvilla, maissi ja rapsi

⁵⁴ Ks. <<http://www.oecd.org/ehs/summary.htm>>.

⁵⁵ James (1997).

sekä tavallista enemmän oleiinihappoa sisältävä soija.⁵⁶ Näiden kasvien kohdalla ei tuotteesta edellytetä tarkkoja tutkimusraportteja. Sen sijaan hakijalta vaaditaan vakuutus siitä, että kasvia on muunneltu tavalla, joka mahdollistaa keveämmän ilmoitusmenettelyn käytön.⁵⁷

Kuva 1.13 Siirtogeenisten kasvien vapauttaminen valvonnasta USA:ssa⁵⁸



Kanadassa markkinoille on tuotu rapsi, soija, peruna ja maissi, joiden muunnetut ominaisuudet ovat samoja kuin USA:ssa. *Japanissa* markkinointiluvan saaneita kasveja ovat soija, rapsi, peruna ja maissi. Myös Japanissa ominaisuudet ovat kasvinsuojeluainekestävyys sekä hyönteis- ja viruskestävyys.

Elokuun 1998 alkuun mennessä *Euroopan* markkinoille on GMO:iden markkinoille saatamista koskevan direktiivin 90/220/ETY puitteissa hyväksytty 11 kasvituetta. Kasveina näissä tuotteissa ovat tupakka sekä rapsi (3 kpl), maissi (4 kpl), salaattisikuri ja soija, joiden resistenssiominaisuuksia on muunneltu sekä tarhaneilikka, jossa on geenitekniikalla aikaansaatu sininen värimuunnos.⁵⁹ Salaattisikurille ja rapsille on lupa toistaiseksi myönnetty vain siementuotantoon.

Lisäksi EU:n direktiivin 90/220/ETY puitteissa on käsiteltävänä 11 tuoteilmoitusta, jotka koskevat herbisidiresistenttiä rapsia (2 kpl), puuvillaa (2 kpl), sokerijuurikasta (1 kpl) ja salaattisikuria (1 kpl) sekä hyönteisresistenttiä maissia (2 kpl) ja laatuominaisuuksiltaan muunnettua tomaattia (1 kpl) ja perunaa (2 kpl). Luvan hakijoina ovat usein olleet kansainväliset suuryritykset kuten *Monsanto* ja *AgrEvo*, mutta esimerkiksi *Svalöf Weibull*

⁵⁶ Shechtman (1998).

⁵⁷ USA:n lupamenettelykäytäntöä on käsitelty lähemmin esiselvityksessä Salo ja Kauppinen (1997).

⁵⁸ Ks. <<http://www.aphis.usda.gov/bbep/bp/98feb-2.gif>>.

⁵⁹ Direktiivin 90/220/ETY mukainen tilanne 5.8.1998.

AB Ruotsista on hakenut tuotehyväksyntää paperiteollisuuden käyttöä varten muunnettua perunalajiketta varten⁶⁰.

Kasvigeenitekniikan käyttö viljelykasvien jalostustyössä on laajinta USA:ssa. Kanada ja Japani ovat seuraavina ja Eurooppa neljäntenä. Tutkimustyön laajuuden ja sovellusten määrän valossa EU-maiden valmiudet soveltaa kasvigeenitekniikkaa ovat vähäisemmät kuin USA:ssa, sillä amerikkalaiset yritykset pyrkivät aggressiivisesti patentoimaan hyödyllisiä geenejä ja niihin liittyviä ominaisuuksia. Suomessa soveltava kasvigeenitekniikan tutkimus on suhteellisen vähäistä ja noin kymmenen tutkimusryhmän varassa, joskin tutkimuksen taso on varsin korkea. Tutkimuskohteina ovat olleet muun muassa peruna ja ohra sekä puista koivu, mänty ja kuusi.⁶¹

TEKNISET KEHITYSNÄKYMÄT

Fraley ja Schell (1993) jakavat kasvigeenitekniikan kehityksen kolmeen vaiheeseen:

1. Kasvinsuojelullisten ominaisuuksien muuntaminen yhden geenin siirrolla.
2. Laadullinen parantaminen yhden tai useamman geenin siirrolla.
3. Kasvien aineenvaihduntareittien muuntaminen useamman geenin siirrolla.

Tällä hetkellä markkinoilla on ensimmäisen vaiheen sovelluksia eli kasveja, joilla on vastustuskyky (resistenssi) kasvinsuojeluaineita, hyönteisiä tai virustauteja vastaan. Laadultaan parannetut, toisen vaiheen kasvit ovat pääosin tutkimusvaiheessa, mutta yksittäisiä, yhden geenin siirtoon perustuvia sovelluksia on kuitenkin tullut markkinoille sekä vihanneksista että muista viljelykasveista. Kolmannen vaiheen monimutkaisempia sovelluksia - joissa kasvin aineenvaihduntaa on muunnettu useamman geenin siirrolla - ei ole vielä käytössä. Toisen ja kolmannen vaiheiden tuotteiden uskotaan kiinnostavan elintarviketeollisuutta, erikoiskemian teollisuutta ja lääketeollisuutta.⁶² Elintarviketeollisuus on kiinnostunut parantuneesta raaka-ainelaadusta, kun taas erikoiskemianteollisuus ja lääketeollisuus pyrkivät kehittämään uusia tuotteita, jotka perustuvat aineenvaihduntareittien muuntamiseen useamman geenin siirrolla.

Kasvigeenitekniikan jaottelua kolmeen kehitysvaiheeseen voidaan perustella sekä menetelmällisillä että taloudellisilla syillä. Markkinoille tuodut hyönteisiä, kasvitauteja ja kasvinsuojeluaineita kestävät kasvit on saatu aikaan yhden geenin siirrolla, joka on nykyään menetelmällisesti suhteellisen helppoa. Toisaalta tekniikan kehitykseen sijoitettu pääoma voidaan saada nopeimmin takaisin juuri kasvinsuojelullisiin ominaisuuksiin

⁶⁰ Muunnettu lajike tuottaa enemmän amylopektiiniä.

⁶¹ Esiselvityksessä Salo ja Kauppinen (1998) on lyhyt katsaus suomalaiseen kasvigeenitutkimukseen.

⁶² Fraley (1992).

vaikuttamalla: maailman viljelykasvien sadosta menetetään noin 25-40 % kasvilajista ja maanosasta riippuen erilaisten kasvitautien, hyönteisten ja varastotuholaisten vuoksi.⁶³

Kasvien laadullisiin ominaisuuksiin ja aineenvaihduntaan vaikuttaminen on teknisesti vaikeampaa, joten tutkimus- ja kehitystyö on edennyt hitaammin. Taloudellisen hyödyn saavuttaminen ei myöskään ole yhtä ilmeistä ja nopeaa kuin kasvinsuojeluun vaikuttamisessa. Kasvigeenitekniikan menetelmien nopeutuessa ja halventuessa tultaneen nykyistä enemmän tähtäämään kasvien ravitsemuksellisen ja teollisen raaka-ainelaadun parantamiseen.

Tavoiteltavat ominaisuudet

Tähän mennessä markkinoille tuodut kasvit edustavat ensimmäisten, 1980-luvun puolivälin jälkeen aloitettujen tutkimusten tuloksia. Niissä kaikissa uudet ominaisuudet on saatu aikaan yhden geenin siirrolla, ja usein mukana on uuden lajikkeen kehittämisessä käytettyjä, valintatyötä helpottavia ominaisuuksia, kuten antibioottiresistenssi.⁶⁴

Puiden ja muiden puuvartisten kasvien geenitekniinen muuntaminen on osoittautunut viljelykasvien muuntamista vaikeammaksi. Toistaiseksi tutkimus on pääasiassa geeninsiirtomenetelmien ja tarvittavien solukkoviljelytekniikoiden kehitystyötä. Maailmassa on jätetty vain muutamia puuvartisten kasvien kenttäkoeanomuksia. Suomessa on tehty joitakin kenttäkokeita koivulla.

OECD:n vuonna 1986 julkaisemassa kirjassa *Recombinant DNA safety considerations*⁶⁵ on esitetty seuraavat tavoitteet kasvigeenitekniikan soveltamiselle:

Taulukko 1.2 Arvioita kasvigeenitekniikan hyötynäkökohdista

<i>Tekninen sovellus</i>	<i>Hyötynäkökohdat</i>
Siemenvalkuaisen ravintoarvon nosto	Lihavalkuaisen tarpeen vähentäminen maailmassa
Kylmänkestävyyden parantaminen	Kasvukauden pidentäminen
Kasvien kestävyysparantaminen sairauksia, tuholaisia ja kasvinsuojeluaineita vastaan	Tuorekuljetusmahdollisuuksien parantaminen
Kemiallisten hyönteismyrkkien korvaaminen mikrobiperäisillä kasvinsisäisillä insektisideillä ⁶⁶	Maanviljelyn tuottavuuden nostaminen satoisuutta parantamalla
	Kemiallisten torjunta-aineiden käytön vähentäminen

⁶³ Krattiger (1997).

⁶⁴ Antibioottiresistenssin avulla ne kasviyksilöt, joihin geeni on onnistuneesti siirretty, voidaan helposti tunnistaa testaamalla, miten kasvi reagoi antibioottiin.

⁶⁵ OECD (1986).

Kasvien typensitomiskyvyn parantaminen	Lannoitteiden käytön vähentäminen
Kasvitautilien diagnostiikan kehittäminen	Diagnoosien nopeuttaminen ja satotappioiden vähentäminen

Tähän mennessä näistä ennustuksista ovat toteutuneet viljelykasvien hyönteis-, tauti- ja kasvinsuojeluaineiden kestävyiden parantaminen ja kemiallisten hyönteismyrkköjen osittainen korvaaminen. Ravintoarvon noston arvioidaan tulevan sovelluksiin lähitulevaisuudessa. Kylmän ja jäätyksen kestävyttä lisääviä ominaisuuksia on siirretty joihinkin kasveihin. Uutena ominaisuutena kehitettäviin sovelluskohteisiin on tullut kasvien raaka-ainelaadun parantaminen teollisuuden prosesseja varten. Kylmän ja jäätyksen sieto-ominaisuuksien kehittäminen on laboratorio- ja kenttäkoevaiheessa, kasvien oman typensidonnan parantaminen vielä perustutkimusvaiheessa.

Satoisuuden nostaminen

Sadon muodostumiseen vaikuttavat monet osatekijät⁶⁷, joista periytyvyyden osuus on vain noin 10 %. Monet perintötekijät vaikuttavat sadon määrään eri vaiheissa alkaen itämisestä ja päätyen ravinteiden kuljetuksen loppumiseen kypsässä viljassa. On kuitenkin mahdollista, että yksittäisten geenien löytäminen johtaa huomattaviin sadon lisäyksiin: esimerkiksi vihreän vallankumouksen lajikkeet perustuivat yhteen lyhytkasvuisuuden geeniin. Monien kasvien *satoindeksissä*⁶⁸ ja fysiologiassa on tilaa harppauksellisille edistysaskelille.

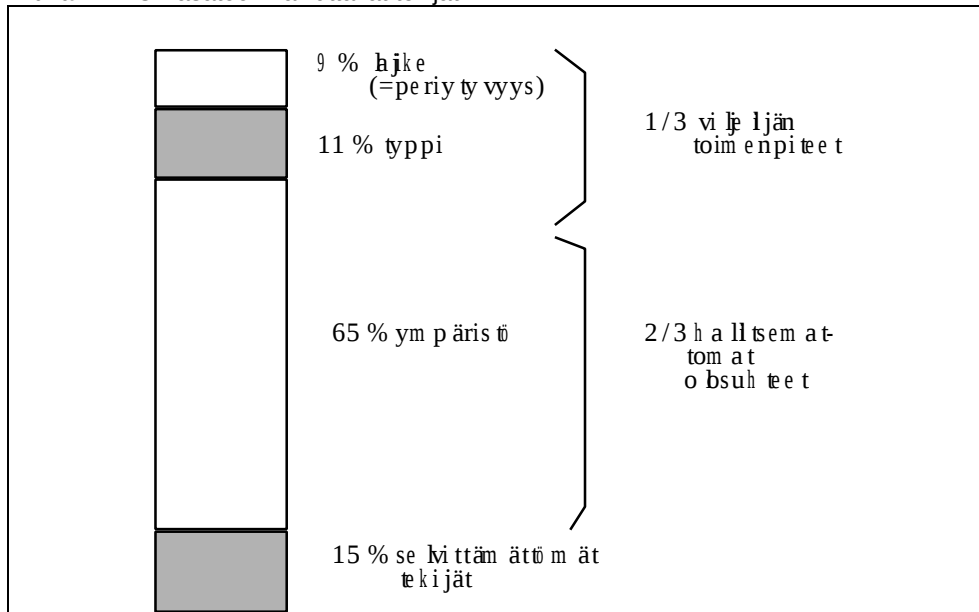
Viljelijä voi vaikuttaa noin kolmasosaan sadon määrän osatekijöistä.⁶⁹ Näitä ovat muun muassa lajikevalinta, kasvien keinokastelu, maaperän typpipitoisuus ja muut ravinteet sekä rikkaruohojen, tuholaisten ja tautien torjunta. Osatekijöistä kaksi kolmasosaa on hallitsemattomia, pääosin ympäristöolosuhteista johtuvia, kuten esimerkiksi tulvat ja säätila (kuva 1.14).

⁶⁶ *Insektisidi* eli hyönteisten torjunta-aine.

⁶⁷ Kivi (1983).

⁶⁸ *Satoindeksi* on siemenenä korjatun kasvin osuus kasvin painosta.

⁶⁹ Kivi (1983).

Kuva 1.14 Ohrasatoon vaikuttavat tekijät⁷⁰

Kuivuuden, suolaisuuden ja tulvien sietokykyä pyritään parantamaan viljelykasveilla geeniteknisin keinoin. Kenttäkokeita ei ole vielä vuoden 1997 tilastoissa, mutta niitä odotetaan lähivuosina. Muun muassa preeriaheinän juurten kuivuuden ja tulvien sietokykyä yritetään siirtää maissiin ja vehnään.

Kylmänsietokyky pidentäisi kasvukautta ja siten myös satoa kasvinviljelyn äärialueilla. Suomessa kylmänsiedolla voisi olla satoa lisäävä vaikutus, koska sen avulla Suomeen voitaisiin saada uusia eteläisempiä ja satoisampia lajikkeita viljeltäväksi. Helsingin yliopiston perinnöllisyystieteen laitoksella tehdään aiheeseen liittyvää tutkimusta, joka ei kuitenkaan ole vielä sovellusvaiheessa.

Kasveilla on taipumus kasvaa pituutta joutuessaan muiden kasvien varjostamaksi. Muun muassa tupakalla satoindeksiä on nostettu 15 % estämällä tämä *varjokasvu* eli pituuskasvun kiihtyminen varjossa. Vastaavat kokeet on aloitettu vehnällä, ja samalla tekniikalla voitaisiin mahdollisesti hillitä myös sokerijuurikkaan, rapsin, rypsin ja riisin pituuskasvua.⁷¹ Muunnoksilla saattaa olla merkitystä kasveilla, joilla satona korjattavan kasvinosan osuus on pieni muuhun kasviin verrattuna.

Eri ominaisuuksista vahvimman kaupallistamisen ja kehittelyn kohteena ovat kuitenkin *tautien, tuhohyönteisten ja kasvinsuojeluaineiden kestävyys* (ks. taulukko 1.3).

⁷⁰ Ks. Kivi (1983).

⁷¹ AMICA (1997).

Taulukko 1.3 Esimerkkejä siirtogeenisistä kasveista vuonna 1997⁷²

<i>Laji</i>	<i>Markkinoilla</i>	<i>Kenttäkokeissa tai kehitteillä</i>
<i>Rapsi</i>	Kasvinsuojeluainekestävyys	Parannettu tautikestävyys
<i>Maissi</i>	Korkea lauriinihappopitoisuus	Uusia öljymuunnoksia
	Maissikoisan kestävyys	Aasian maissikoisan torjunta
	Kasvinsuojeluainekestävyys	Maissikuoriaisen torjunta
	Hyönteiskestävyys	Tautikestävyys
		Korkeampi tärkkelyspitoisuus
		Muunnettu tärkkelyspitoisuus
		Korkea lysiinipitoisuus
		Parannettu proteiinikoostumus
		Varastosiementen tuholaisten sääntely
		Suvuton siemenen synty ⁷³
<i>Puuvilla</i>	Puuvillakoin torjunta yksittäisillä geeneillä	Puuvillakoin sääntely useiden geenien avulla
	Kasvinsuojeluainekestävyys	Puuvillakärsäkkään torjunta
	Hyönteiskestävyys	Parannettu kuitulaatu
<i>Peruna</i>	Koloradokuoriaisen kestävyys	Tautikestävyys
		Koloradokuoriaisen kestävyys
		Viruskestävyys
		Hometautikestävyys
		Korkeampi tärkkelys- ja kuiva-ainepitoisuus
		Perunakärsäkkään ja varastotuholaisten kestävyys
<i>Riisi</i>	Ei sovelluksia markkinoilla	Ruostesienen kestävyys
		Riisikoisan kestävyys
		Hometautien kestävyys
		Parannettu hybriditeknologia
		Varastotuholaisten kestävyys
<i>Soija</i>	Kasvinsuojeluainekestävyys	Kasvinsuojeluainekestävyys
	Korkea öljyhappopitoisuus	Muunnettu öljy
		Hyönteiskestävyys
<i>Tomaatti</i>	Hidastettu/parannettu kypsyminen	Viruskestävyys
		Viruskestävyys
		Hyönteiskestävyys
		Tautien kestävyys
<i>Vihannekset, marjat, hedelmät</i>	Viruskestävyys	Korkea kuiva-ainepitoisuus/parannettu laatu
		Hyönteiskestävyys
		Hidastettu/parannettu kypsyminen

⁷² James (1997).⁷³ Ns. apomiksis.

ISAAA:n⁷⁴ mukaan kahdeksalle valtalajille on kaupallistettu kaikkiaan 17 tuotetta, kun taas kenttäkokeissa tai varhaisemmissa kehitysvaiheissa on kaksinkertainen määrä (35) ominaisuuksia⁷⁵. On siis perusteltua olettaa, että geenitekniikalla muunnettujen kasvien määrä tulee lisääntymään nopeasti. Kauempana tulevaisuudessa tutkimus tuottaa myös vaikeammin toteutettavia geenimuunnoksia, joihin vaaditaan usean, esimerkiksi kuivuuden, suolaisuuden ja alumiini-ionin⁷⁶ sietoa säätelevien geenien yhtäaikainen siirto.

Markkinoille tuoduista lajikkeista lähes joka neljäs (24 %) sisältää kaksi muunnettua ominaisuutta. Tällaisen “pyramidisoinnin”, usean geenin samanaikaisen käytön, odotetaan lähivuosina yleistyvän, sillä lajikkeisiin on kasvinjalostuksessa aina pyritty saamaan niin monta haluttua ominaisuutta kuin mahdollista. Geeninsiirroilla voidaan kuitenkin perinteisestä jalostustyöstä poiketen yhdistää sellaisia geenejä, joita ei muuten voida yhdistää: näin samaan lajikkeeseen voidaan siirtää esimerkiksi *Bt*-toksiinigeeni hyönteisten vastustuskykyä varten, geenejä virustauteja vastaan, geeni kasvinsuojeluaineen sietoa varten ja geenejä tärkkelyspitoisuuden nostamiseksi.⁷⁷

Laatuominaisuuksien parantaminen

Kasvilajikkeiden muunnettujen laatuominaisuuksien määrä tulee kasvamaan (ks. taulukko 1.3): kun nykyisin markkinoilla olevasta 17 tuotteesta 3 on laadultaan muunnettuja, niin tutkimus- ja kehityskokeissa olevista 35 lajikkeesta 11 sisältää muunnettuja laatuominaisuuksia.⁷⁸

Esimerkiksi perunan tärkkelys- ja vesipitoisuuden muuttamisen tuloksena peruna imee paistettaessa itseensä vähemmän rasvaa. Toisaalta siirtogeenisestä tomaatista, jossa on nelinkertainen määrä *b*-karoteenia, pyritään kehittämään terveysvaikutteinen elintarvike, joka estää syöpää ja toimii antioksidanttina. Tämä tomaatti ei tulle lähiaikoina markkinoille.

Maissin ravitsemuksellisen laadun parantamista on tutkittu kahdessa eri kokeessa, joista toisessa toisessa maissin valkuaisen lysiinipitoisuutta on nostettu ja toisessa valkuaisaine-koostumusta parannettu.⁷⁹ Ravitsemuslaadun parantamiseen liittyvät myös rypsin ja

⁷⁴ *International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications*, ks. <http://128.253.183.94/>.

⁷⁵ James (1997).

⁷⁶ Alumiini-ionien sietokyky on hyödyllinen kasveille, joita kastellaan keinotekoisesti.

⁷⁷ James (1997).

⁷⁸ James (1997).

⁷⁹ James (1997).

soijan öljyjen rasvahappokoostumusten muunnokset, sillä monitydyttämättömien rasvahappojen osuuden kasvattaminen parantaa kasviöljyjen terveydellisiä ominaisuuksia.

Suomessa on tutkittu mallasohran entsyymikoostumuksen geeniteknistä muuttamista mallasohran prosessiominaisuuksien parantamiseksi. VTT:llä osoitettiin, että siirtämällä homeen *b*-glukanaasia koodaava geeni ohraan, mallastuksessa syntyvä liukoinen *b*-glukaani saadaan hajotettua pienemmiksi yksiköiksi, mikä helpottaa mäskin suodatusta panimoprosessissa. Tällaista mallasohraa ei ole markkinoilla eikä kenttäkokeissakaan.

James (1997) arvioi, että ensi vuosisadalla tuotetaan monia elintarvikkeita ja rehuja, jotka on kehitetty tavanomaisista tuotteista geeniteknisin menetelmin. Osa perinteisistä elintarvikkeista ja rehuista, jotka ovat markkinoilla massatuotteina, muutetaan geenitekniikan avulla palvelemaan elintarvikkeiden prosessitekniikkaa ja kalliita erityismarkkinoita, jotka liittyvät mm. terveystuotantoihin ja erityisravitsemukseen. Esimerkiksi maissin tärkkelys muutetaan bioteknisessä prosessiteollisuudessa entsyymien avulla makeutussiirapeiksi, joten maissin tärkkelyspitoisuuden nosto parantaa teollisuuden siirapinsaantoa.

Taulukossa 1.3 esitettyjen geenitekniikalla muunnettujen vihannesten, hedelmien ja marjojen ryhmässä ovat ainakin parsakaali, porkkana, sikurisalaatti, munakoiso, papu, paprika, greippi, sokeriruoko, bataatti, banaani, vesimeloni, karpalo, mansikka ja vadelma. Näihin tehtäviä muunnoksia ovat hidastetun kypsymisen ja hyönteisten kestävyys lisäsi kylmänsieto ja hometautien kestävyys. Hidastetulla ja ohjatulla kypsymisellä sekä kylmänsiedolla parannetaan vihannesten, hedelmien ja marjojen kuljetus- ja kauppakestävyys.⁸⁰

Lajikevalikoiman kasvu⁸¹

Kaikessa kasvinjalostuksessa on tärkeää säilyttää lajikevalikoima suurena ja välttää geenivarannon supistumista. Perinnöllinen muuntelu on kuitenkin 1800-luvun lopulta lähtien vähentynyt. Yhtenä syynä tähän on ollut se, että jalostustyö on tuottanut sisäisesti yhtenäisempiä ja suurempaa satoa tuottavia lajikkeita samalla kun maatiaiskantoja on jäänyt pois käytöstä. Esimerkiksi ennen vihreää vallankumousta Italiassa viljeltiin 1960-luvun puoliväliin saakka noin 30 000 erilaista riisikantaa, mutta tällä hetkellä alle kymmenen lajiketta tuottaa yli 75 % riisisadosta. Vastaavasti Sri Lankassa 2 000 perinteisen riisikannan tilalle on tullut viisi modernia päälajiketta.⁸²

⁸⁰ BSS (1997).

⁸¹ James (1997).

⁸² Rousi (1997).

Geenitekniikan avulla luonnon geneettistä *diversiteettiä* eli monimuotoisuutta voidaan käyttää viljelykasvien jalostuksessa laajasti. Toisaalta monikansallisten yritysten asema siirtogeenisten lajikkeiden kehittämisessä on vahva, mistä johtuen on epäilty sitä, johtaako kasvigeenitekniikan käyttö jalostuksessa viljelijän kannalta saatavilla olevan lajikevalikoiman kasvuun.

Näyttää kuitenkin siltä, että geenitekniikkaa käyttävät lajikkeiden jalostajat ja siemenkauppiat panostavat uusien lajikkeiden kehittämiseen. Jo nyt USA:ssa viljelijöille on tarjolla useita lajikkeita:

- *Puuvillasta* oli vuonna 1996 tarjolla kaksi geenitekniikalla muunnettua lajiketta. Vuonna 1997 määrä oli kymmenen lajiketta ja vuonna 1998 odotetaan geenitekniikalla muunnetusta puuvillasta olevan tarjolla 28 eri lajiketta.
- *Maissista* oli vuonna 1996 tarjolla vain muutama siirtogeeninen lajike, vuonna 1997 niitä oli eri siementuottajien tarjoamina 30-50 ja vuonna 1998 lajikkeiden määrän odotetaan kaksinkertaistuvan 60-100 lajikkeeseen.
- *Rypsin ja perunan* geenitekniikalla muunnettujen lajikkeiden määrä on vielä pieni. Perunalla se nousi yhdestä neljään vuosina 1996-1997. Uusia rypsilajikkeita on enemmän, ja niiden määrän odotetaan kaksinkertaistuvan vuonna 1998.

Siirtogeenisissä lajikkeissa oleva geenimateriaali on monipuolistumassa myös siementuottajien ja lajikekehittäjien intensiivisen yhteistyön ja keskinäisten lisenssisopimusten myötä. Esimerkiksi vuonna 1997 Monsanto oli yhteistyössä yli 85 siementuottajan kanssa, ja USA:n markkinoilla oli yli 100 torjunta-ainetta kestävää siirtogeenistä kasvilajiketta. Vuonna 1998 tällaisia lajikkeita arvioidaan olevan yli 300.

2. KANSALAISTEN ARVOT JA ASENTEET

1. Geenien siirto yli lajirajojen tarjoaa uusia sovellusmahdollisuuksia kasvinjalostuksessa. Samalla esille nousee kuitenkin kysymyksiä siitä, pidetäänkö sovelluksia hyväksyttävänä, uskotaanko niiden palvelevan kuluttajan etua ja luotetaaneko tekniikan kehittäjien, käyttäjien ja viranomaisten kykyyn taata niiden vastuullinen käyttö:
2. Geenitekniikkaan suhtautuminen on kaksijakoista: mielipidetutkimusten mukaan geenitekniikka tarjoaa mahdollisuuksia elämänlaadun parantamiseen, mutta samalla se aiheuttaa enemmän epävarmuutta ja moraalisia huolenaiheita kuin muu nykytekniikka. Sovellusten hyväksynnän edellytyksenä on hyödyllisyys, eli sovelluksia ollaan valmiimpia hyväksymään silloin, kun niiden katsotaan palvelevan tärkeiksi ja hyödyllisiksi koettuja päämääriä. Hyödyllisyyden nimissä riskejä ollaan valmiita jossain määrin hyväksymään, ellei sovelluksiin liity moraalisia, esimerkiksi geeninsiirtojen luonnollisuutta tai hyötyjen oikeudenmukaista jakautumista koskevia kysymyksiä. Moraaliset kysymykset voivat toisaalta toimia hyödyistä ja riskeistä riippumattomana hylkäämisperusteena.
3. Vuoden 1996 lopulla tehdyn Eurobarometri-selvityksen valossa suomalaiset suhtautuvat geenitekniikkaan maatalous- ja elintarviketaloudessa hieman eurooppalaista keskitasoa myönteisemmin. Viljakasvien viljelyssä suomalaisista 80 % piti geenitekniikkaa hyödyllisenä, 31 % riskialttiina, 70 % moraalisesti hyväksyttävänä ja 72 % edistämisen arvoisena. Vastaavasti elintarviketuotannossa 69 % piti geenitekniikkaa hyödyllisenä, 40 % riskialttiina, 58 % moraalisesti hyväksyttävänä ja 59 % edistämisen arvoisena. Termit *biotekniikka* ja *geenitekniikka* mielletään Suomessa eri tavoin, sillä biotekniikkaan elämän laadun parantajana uskotaan Suomessa kaikista EU-maista vahvimmin, kun taas geenitekniikkaan suhtaudutaan Itävallan jälkeen varauksellisimmin.

4. Suomalaisten tietämys geenitekniikan biologisesta perusteista on hieman eurooppalaista keskiarvoa korkeampi, mutta silti usein puutteellinen. Tiedon tason nostaminen helpottaa bio- ja geenitekniikan sovellusten arviointia ja mielenkiinnon muodostamista, mutta se ei ole välittömässä yhteydessä sovellusten hyväksyntään. Sovelluksiin liittyvä varauksellisuus ei koske pelkästään terveys- ja ympäristövaikutuksia, joten tiedotustoiminnassa on tarpeen käsitellä myös muita, esimerkiksi eettisiä näkökohtia.
5. Kasvigeenitekniikasta ja biotekniikasta tiedottaviin tahoihin luotetaan eri EU-maissa pääpiirteissään samalla tavalla: yleisesti ottaen eniten luotetaan ympäristö-, kuluttaja- ja maanviljelijäjärjestöihin, kun taas luottamus viranomaisiin ja etenkin teollisuuteen ja poliittisiin organisaatioihin on vähäinen. Monista muista EU-maista poiketen Suomessa pidetään yliopistoja ja korkeakouluja luotettavimpina tiedon lähteinä.
6. Kasvigeenitekniikan eettisessä tarkastelussa voidaan arvioida erikseen 1) geeninsiirtojen oikeutusta sinänsä ja 2) geenitekniikalla muunnettujen kasvien viljelyn vaikutuksia. Geeninsiirtojen oikeutusta on kritisoitu luonnottomuuteen vedoten, joskin geenejä siirtyy jonkin verran alempien eliöiden välillä luonnosta. Kasvigeenitekniikan sovelluksia puolestaan voidaan arvioida erilaisten eettisten periaatteiden valossa. Tällaisia ovat esimerkiksi luonnon kunnioittaminen, kuluttajien itsemääräämisoikeuden takaaminen, vahingontuottamisen kieltäminen, yhteiskunnallisen hyödyn maksimointi ja oikeudenmukaisuuden edistäminen. Parhaimmillaan näiden periaatteiden huomioonottaminen jäsentää ja tukee kasvigeenitekniikan sovelluksia koskevaa keskustelua.

KÄSITYKSIÄ GEENITEKNIIKASTA

Suhtautumista geenitekniikkaan on selvitetty lukuisissa mielipidemittauksissa ja -tutkimuksissa. Erilaisten tutkimusmenetelmien ja kysymyksenasettelujen takia tulosten vertailu on kuitenkin vaikeaa. Tutkimusten tarpeellisuutta on perusteltu osin sillä, että kansalaisten asenteet vaikuttavat sovellusten käyttöönottoon ja näin myös geenitekniikan kehitykseen.⁸³

Geenitekniikkaa koskevia mielipidetutkimuksia on myös kritisoitu voimakkaasti. Tutkimusten on katsottu keskittyvän yksipuolisesti ympäristö- ja terveysriskeihin, jolloin esimerkiksi elämän välineellistymiseen tai eri toimijoiden valta-asetelmiin liittyvät moraaliset kysymykset ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Mielipidetutkimusten on niin

⁸³ Ks. esim. Sparks et al. (1995), Hoban (1996), Davison et al. (1997).

ikään arveltu yksipuolistavan mielipiteistä rakennettavaa kuvaa ja johtavan siihen, että mittauksista tulee keskustelun ja poliittisen osallistumisen korvikkeita.⁸⁴

Kiistanalaisia teknologioita koskevaa keskustelua on pyritty edistämään muun muassa *konsensuskonferensseilla*, julkisilla kuulemisilla⁸⁵ ja pienryhmäkeskusteluilla. Esimerkiksi Tanskassa, Hollannissa ja Iso-Britanniassa on järjestetty geenitekniikka-aiheisia konsensuskonferensseja, joissa maallikot työstävät asiantuntijoiden kanssa käymiensä keskustelujen pohjalta yhteisen paneeliraportin.⁸⁶

Mielipidetutkimuksia

Seuraavassa esitellään muutamia mielipidetutkimuksia. Näistä Eurobarometrin ja Opinio -97:n tuloksiin palataan tuonnempana lähemmin.

1. *Eurobarometri 46.1*: Tutkimuksessa selvitettiin *EU-maiden kansalaisten* suhtautumista bio- ja geenitekniikan haastattelemalla noin 16 000 henkilöä (noin 1000 henkilöä kustakin maasta). Ryhmä muodosti edustavan otoksen EU-maiden yli 15-vuotiaista kansalaisista. Tutkimus tehtiin loka-marraskuussa 1996 komission toimeksiannosta, ja sen suorittamisesta vastasi *International Research Associates*.⁸⁷

Eurobarometritutkimus on osa pitkäjänteistä selvitystyötä, jolla on vuodesta 1973 lähtien seurattu EU-maiden kansalaisten käsityksiä biotekniikasta.

2. *Opinio -97*: Tutkimuksessa kartoitettiin *suomalaisten* kuluttajien mielipiteitä geenitekniikalla tuotetuista elintarvikkeista haastattelemalla noin tuhatta 15-74-vuotiaasta suomalaista. Tutkimus oli jatkoa neljä vuotta sitten aloitetuille mielipidetutkimuksille, joilla on selvitetty kuluttajien suhtautumista ajankohtaisiin kysymyksiin.⁸⁸
3. *IFIC 1997*: Tutkimuksessa selvitettiin *USA:n* kuluttajien asennoitumista biotekniikkaan haastattelemalla noin tuhatta amerikkalaista. Tutkimuksen teetti *International Food Information Council* maaliskuussa 1997.⁸⁹

Tutkimuksen mukaan amerikkalaiset kuluttajat suhtautuvat keskimäärin varsin myönteisesti moderniin biotekniikkaan. Esimerkiksi yli puolet (54 %) kuluttajista arveli perheensä hyötynneen modernista biotekniikasta, 77 % ostaisi hyvin tai melko

⁸⁴ Davison et al. (1997).

⁸⁵ Engl. "public hearings".

⁸⁶ Ks. esim. Geurts ja Mayer (1996) ja Davison et al. (1997).

⁸⁷ *International Research Associates* eli INRA. Ks. Eurobarometer (1997) ja Wagner et al. (1997).

⁸⁸ Kuluttajavirasto (1997).

⁸⁹ IFIC (1997).

todennäköisesti geenitekniikalla muunnettuja tomaatteja ja perunoita, ja 78 % uskoi perheensä hyötyvän modernista biotekniikasta viiden vuoden kuluessa. Tulokset vahvistavat kuvaa myönteisestä suhtautumisesta, joka on välittynyt kymmenen vuoden aikana tehdyistä tutkimuksista: keskimäärin 66-75 % amerikkalaisista kuluttajista on sanonut kannattavansa modernin biotekniikan käyttöä ja on valmis hyväksymään sen avulla tuotetut elintarvikkeet.

4. *Hoban 1997*: Tutkimuksessa selvitettiin *japanilaisten* kuluttajien suhtautumista biotekniikkaan haastatteleamalla 1010 japanilaista. Tutkimuksen suoritti *Japanese Statistics and Research Inc.*⁹⁰

Tutkimuksen mukaan japanilaiset suhtautuvat hyvin myönteisesti moderniin biotekniikkaan ja ovat valmiita hyväksymään sen avulla tuotetut elintarvikkeet. Tulosten mukaan japanilaisten suhtautuminen on keskimäärin hieman myönteisempää kuin amerikkalaisten, mutta muuten japanilaisten asenteet muistuttavat amerikkalaisten käsityksiä.

5. *Biocult*: Tutkimuksessa kartoitettiin *eurooppalaisten nuorten* näkemyksiä biotekniikasta haastatteleamalla 654 11-18-vuotiasta koululaista Suomesta, Saksasta, Espanjasta ja Iso-Britanniasta. Vuoden mittaisen tutkimusprojektin toteutti kansainvälinen filosofiasta koostunut tutkijaryhmä EU:n komission rahoituksella.⁹¹

Biocult-tutkimuksen valossa nuorten asenteissa on huomattavia kansallisia eroja. Käsitös biotekniikasta tiedottavien tahojen luotettavuudesta on kuitenkin varsin samanlainen: toimittajiin, poliitikoihin tai yritysten edustajiin luotetaan vähemmän kuin tiedemiehiin, asiantuntijoihin ja opettajiin.

Mielipidetutkimusten tuloksista voidaan esittää seuraavia johtopäätöksiä:⁹²

- Suhtautuminen geenitekniikkaan riippuu arvoista ja maailmankuvasta. Ne, jotka asennoituvat yleisesti ottaen myönteisesti tieteeseen ja teknologiaan, suhtautuvat usein myönteisesti myös geenitekniikkaan ja sen sovelluksiin.
- Hyväksyttävimpinä geenitekniikan sovelluksina pidetään sellaisia, jotka voivat edistää asianomaisen tai hänen lähiomaisensa terveyttä.
- Suhtautuminen riippuu vastaajan iästä, koulutustasosta ja sukupuolesta. Myönteisimmin geenitekniikan sovelluksiin suhtautuvat yleensä nuoret korkeasti koulutetut miehet.

⁹⁰ Hoban (1997).

⁹¹ Biocult (1996).

⁹² Vrt. Troil (1995).

Seuraavassa tarkastellaan EU:n kansalaisten mielipiteitä *Eurobarometri 46.1 (-97):n* ja *Opinio -97:n* valossa. Näihin tutkimuksiin tukeudutaan siksi, että yksinomaan kasvigeenitekniikkaan keskittyviä mielipidetutkimuksia ei ole tiettävästi tehty.

Tiedon taso

Tieto vaikuttaa yhtenä tärkeimmistä tekijöistä siihen, miten geenitekniikkaan ja sen käyttöön suhtaudutaan. Verraten yleinen käsitys siitä, että teknistieteellistä sovellusta koskevan tiedon tarjoaminen lisää sovelluksen kannatusta, voidaan kuitenkin geenitekniikan kohdalla kyseenalaistaa.⁹³

Vuosien 1991, 1993 ja 1996 Eurobarometrien perusteella tieto geenitekniikan perusbiologiasta on hieman parantunut, mutta kuitenkin usko geenitekniikkaan elämänlaadun parantajana on samalla vähentynyt. Tuorein Eurobarometri osoittaa myös, että tieto geenitekniikasta ei ole juurikaan yhteydessä geenitekniisten sovellusten hyväksyntään. Tieto auttaa kuitenkin arvioimaan bio- ja geenitekniikkaa, sillä kantaa ottamattomien määrä on sitä pienempi, mitä parempi tiedon taso on.⁹⁴

Tuoreimmassa Eurobarometrissa geenitekniikkatiedon tasoa mitattiin seuraavilla väittämillä (oikeat vastaukset suluisissa):

1. On olemassa bakteereja, jotka elävät jätevedestä (oikein).
2. Tavalliset tomaatit eivät sisällä geenejä, mutta geenitekniikalla muunnetut tomaatit sisältävät (väärin).
3. Elävien olentojen kloonaminen tuottaa täsmälleen identtisiä jälkeläisiä (oikein).
4. Jos ihmiset syövät geenitekniikalla muunnetun hedelmän, myös heidän geeninsä saatavat muuntua (väärin).
5. Bakteerit voivat tartuttaa viruksia (väärin).
6. Oluthiiva sisältää eläviä organismeja (oikein).
7. Raskausajan ensikuukausien aikana on mahdollista selvittää, onko lapsella Downin syndrooma (oikein).
8. Geenitekniikalla muunnetut eläimet ovat aina suurempia kuin tavalliset eläimet (väärin).
9. Enemmän kuin puolet ihmisen geeneistä on identtisiä simpanssin geenien kanssa (oikein).
10. On mahdotonta siirtää eläingeenejä kasveihin (väärin).

Väittämiin vastattiin joko "oikein", "väärin" tai "en osaa sanoa". Oikeiden vastausten lukumäärän keskiarvo oli EU-maissa oli 4,95. Parhaiten menestyivät hollantilaiset, joiden

⁹³ Wagner et al. (1997).

⁹⁴ Wagner et al. (1997) ja Eurobarometer (1997).

keskiarvo oli 6,27 ja heikoimmin kreikkalaiset (3,76). Suomalaisten tietämys oli eurooppalaista keskiarvoa hieman korkeampi (5,48).

Tulosten perusteella eurooppalaisilla on puutteelliset tiedot geenitekniikasta. Tulokset havainnollistavat myös tiedon keskeistä merkitystä mielipiteenmuodostuksessa: kaikkiin kysymyksiin väärin vastanneista 69 %:lla ei ollut lainkaan mielipidettä geenitekniikasta, kun taas kaikkiin kysymyksiin oikein vastanneista vailla mielipidettä oli vain 7%.⁹⁵

Odotukset

EU-maiden kansalaisten suhtautuminen on sikäli kaksijakoista, että geenitekniikan odotetaan parantavan elämänlaatua lähitulevaisuudessa, mutta toisaalta se aiheuttaa enemmän epävarmuutta ja moraalista huolestumista kuin useimmat muut modernit teknologiat. Geenitekniikkaa ei pidetä yhtä merkittävänä elämänlaadun parantajana kuin modernia biotekniikkaa (kuva 3.1).

Teknologioihin suhtaudutaan eri maissa eri tavoin. Suomessa biotekniikkaan suhtaudutaan kaikista EU-maista myönteisimmin: 63% suomalaisista uskoo *biotekniikan*⁹⁶ parantavan elämänlaatua seuraavien 20 vuoden aikana. Toisaalta *geenitekniikkaan* suhtaudutaan varsin varauksellisesti: Suomessa (26 %) on Itävallan (18 %) jälkeen alhaisin optimismia kuvaava tunnusluku.⁹⁷ Termeihin biotekniikka ja geenitekniikka liittyvät käsitykset ja mielikuvat ovat siis erilaisia.

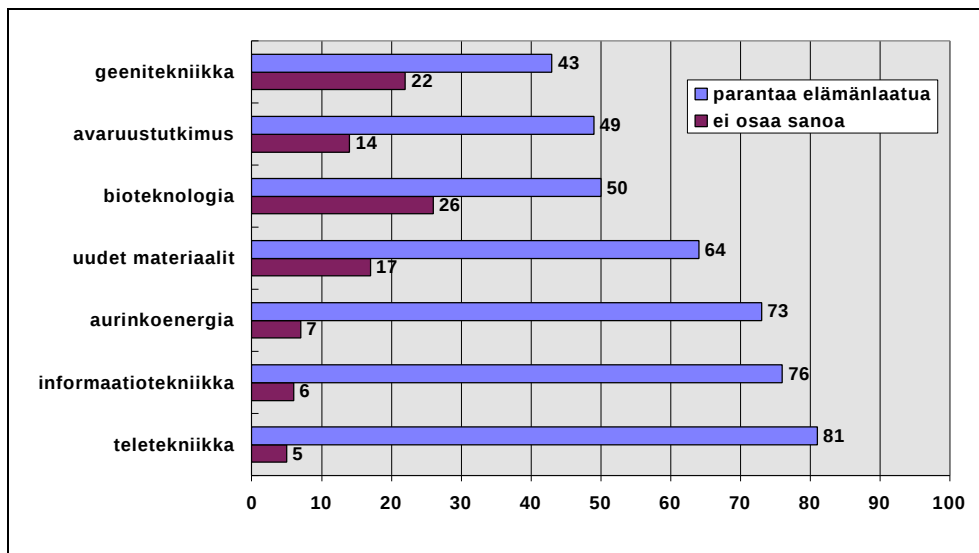
Kuva 3.1 Uusiin teknologioihin liittyvät myönteiset odotukset EU-maissa⁹⁸

⁹⁵ Eurobarometer (1997).

⁹⁶ Engl. "biotechnology".

⁹⁷ Eurobarometer (1997).

⁹⁸ Eurobarometer (1997). Taulukko on Eurobarometrissa esitetyssä muodossa. Näkyvillä ei ole teknologioihin kielteisesti suhtautuvien prosenttiosuuksia (so. niiden, joiden mielestä kysytty teknologia heikentää elämänlaatua). Tämä osuus on laskettavissa vähentämällä kustakin teknologiasta esitetyt prosenttiosuudet sadasta.



Hyväksyntä

Geenitekniikan hyväksyntä riippuu siitä, millaisesta sovelluksesta kulloinkin on kysymys. Eurobarometrissa 46.1 selvitettiin suhtautumista seuraaviin geenitekniikan sovelluksiin (kuva 3.2):⁹⁹

1. *Geenitestaus* (perinnöllisten tautien, esimerkiksi kystisen fibroosin¹⁰⁰ etsintä).
2. *Lääkkeet* (lääkkeiden tai rokotteiden tuottaminen ihmisperäisiä geenejä sisältävissä bakteereissa; esimerkiksi insuliinin tuotanto diabeetikkojen käyttöön).
3. *Viljakasvit* (tuholaishyönteisiä kestävien viljakasvien jalostaminen kasviperäisiä geenejä siirtämällä).
4. *Elintarviketuotanto* (biotekniikan käyttö valkuaisainepitoisuuden nostamiseksi tai maku- tai säilyvyysominaisuuksien parantamiseksi).
5. *Koe-eläimet* (geenitekniikalla muunnettujen eläinten kehittäminen tutkimuskäyttöön; esimerkiksi hiiri, jolla on syöpää aiheuttava geeni).
6. *Elinsiirrot* (ihmisperäisten geenien siirto eläimiin elinsiirrännäisten tuottamiseksi; esimerkiksi geenin siirto sikaan sydänsiirrännäisen kehittämiseksi).

Hyväksyntää mitattiin seuraavien tekijöiden avulla:

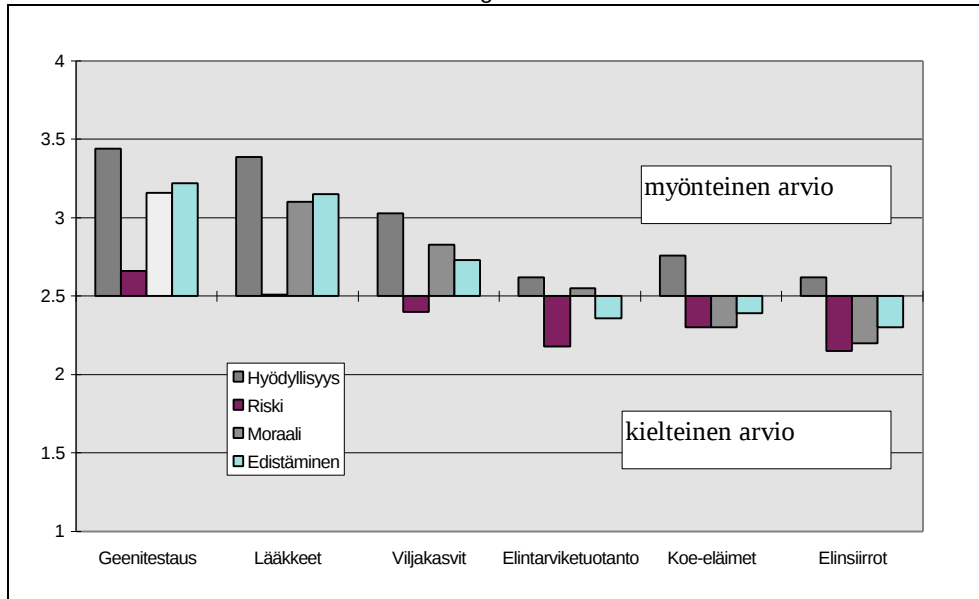
1. *Hyödyllisyys:* Hyödyttääkö sovellus yhteiskuntaa?
2. *Riski:* Aiheuttaako sovellus riskejä yhteiskunnalle?
3. *Moraali:* Onko sovellus moraalisesti hyväksyttävä?
4. *Edistäminen:* Pitäisikö sovellusta edistää?

⁹⁹ Suluissa ovat ne sovellukset, joilla hyväksyntää kartoitettiin.

¹⁰⁰ Kystinen fibroosi johtuu solun ioninvaihtokanavan perinnöllisestä virheestä ja aiheuttaa muun muassa sitkeän liman muodostumista keuhkoissa. Tauti on vakava ja johtaa 88 %:issa tapauksista kuolemaan.

Mittauksen tulokset on esitetty kuvassa 3.2 nelipisteisellä asteikolla, jossa 4 vastaa erittäin myönteistä ja 1 erittäin kielteistä arviota. Lukuarvo 2,5 vastaa siis neutraalia kantaa.¹⁰¹

¹⁰¹ Wagner et al. (1997).

Kuva 3.2 EU-maiden kansalaisten arvioita geenitekniiikan sovelluksista

Kuvasta 3.2 nähdään, että siirtogeenisiä viljakasveja pidetään EU:ssa verraten hyödyllisinä. Tosin kysymys koski vain kasviperäisten geenien siirtoa ja yhtä ominaisuutta (hyönteisresistenssiä). Suhtautuminen geenitekniiikan avulla tuotettujen elintarvikkeiden riskeihin on jossain määrin kielteinen. Elintarvikkeiden osalta on huomattava, että Eurobarometrissa puhuttiin “modernista biotekniikasta” - ei siis suoranaisesti “geenitekniiikasta”.

Eurobarometrin mukaan *suomalaiset* suhtautuvat geenitekniiikkaan viljakasvien jalostuksessa ja elintarvikkeiden tuotannossa eurooppalaista keskitasoa myönteisemmin. Suomalaisista geenitekniiikan käyttöä piti

- o *hyödyllisenä* elintarviketuotannossa 69%, viljakasvien tuotannossa 80%
- o *riskialttiina* elintarviketuotannossa 40 %, viljakasvien tuotannossa 31 %
- o *moraalisesti hyväksyttävänä* elintarviketuotannossa 58%, viljakasvien tuotannossa 70 %
- o *edistämisen arvoisena* elintarviketuotannossa 59%, viljakasvien tuotannossa 72%.

Hyväksyntää selittävien tekijöiden suhteissa merkilläpantavaa, että *geenitekniiikan kannatus* (jota “edistäminen” mittaa) *riippuu enemmän moraalista hyväksyttävyydestä kuin riskeistä*. Tämä näkyy siinä, että moraalinen hyväksyttävyys on kaikissa sovelluksissa yhteydessä geenitekniiikan kannatukseen, kun taas riskit eivät aina selitä kannatusta (esimerkiksi lääkkeet).¹⁰² Tätä voidaan tulkita siten, että vain hyödyllisiksi koettuja so-

¹⁰² Wagner et al. (1997).

velluksia kannatetaan: hyödyllisyyden nimissä riskejä ollaan valmiita jossain määrin hyväksymään, jos moraalisia ongelmia ei ole, mutta toisaalta moraaliset epäilyt voivat toimia hyödyistä ja riskistä riippumattomana hylkäämisperusteena.¹⁰³

Luottamus

Geenitekniikan hyväksyntä perustuu luottamukseen. Uskotaanko, että geenitekniikan riskit tunnetaan ja hallitaan tarpeeksi hyvin? Uskotaanko, että geenitekniikan sovelluksista on enemmän hyötyä kuin haittaa ympäristölle ja hyvinvoinnille, ja että sovellukset ovat moraalisesti kestäväällä pohjalla?

Erityisesti geenitekniikan avulla tuotetun ruoan osalta käsitykset kertovat halusta saada tietoa ja vaikuttaa geenitekniikan sääntelyyn. Eurobarometrin mukaan 74 % vastaajista katsoo, että geenitekniikan avulla tuotetuissa elintarvikkeissa on oltava tuotemerkintä, 60 % haluaa, että biotekniikan uusista kehitysaskelista pidetään julkinen kuuleminen,¹⁰⁴ 53 % arvioi, että nykyiset säännökset eivät turvaa ihmisiä biotekniikan riskeiltä ja 39 % näkee, että uskonnollisten järjestöjen olisi osallistuttava modernin biotekniikan sääntelyyn.¹⁰⁵

Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös Opinio -97 -tutkimuksessa, jonka mukaan noin 60 % suomalaisista ei hyväksy geeniteknisesti tuotettuja elintarvikkeita Suomen markkinoille. Yleisimpänä (37% tapauksista) kieltäytymisen perusteena olivat terveydelliset syyt, muun muassa allergian ja antibiooteille vastustuskykyisten bakteerien pelko. Opinio -97:n mukaan noin yhdeksän kymmenestä kuluttajasta kannattaa GMO-elintarvikkeiden pakollista merkitsemistä.¹⁰⁶

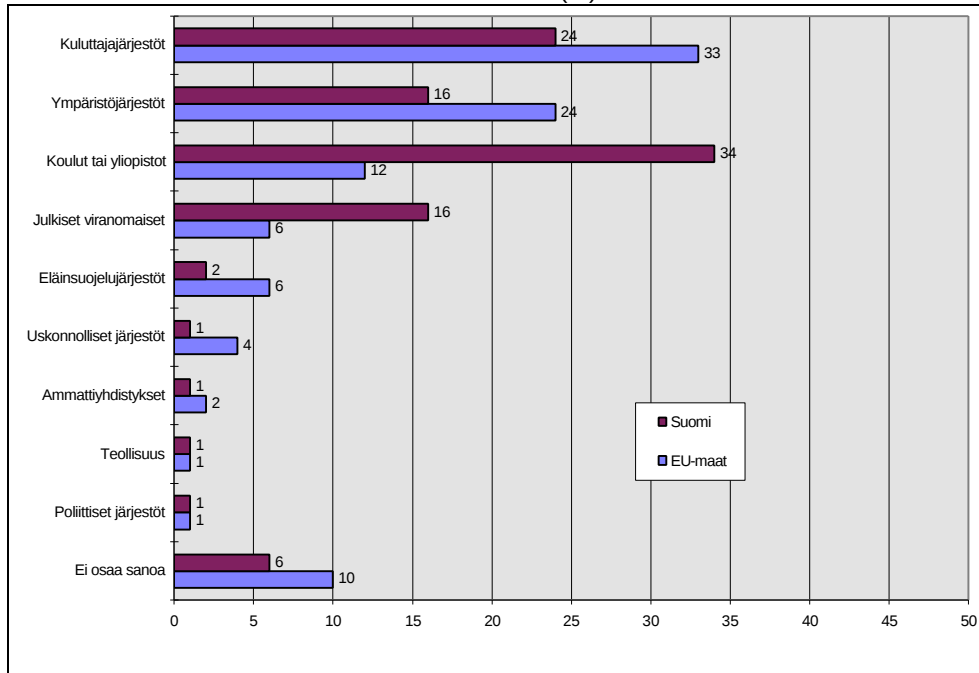
Eurobarometri 46.1:n mukaan EU-maiden kansalaiset pitävät kuluttaja- ja ympäristöjärjestöjä luotettavimpina *biotekniikkatiedon* lähteinä, kun taas viranomaisiin, teollisuuteen ja poliittisiin järjestöihin ei yleensä luoteta. Suomessa yliopistot ja oppilaitokset koetaan luotettavimmiksi ennen kuluttaja- ja ympäristöjärjestöjä ja viranomaisia. Viranomaisiin Suomessa luotetaan huomattavasti enemmän kuin EU-maissa keskimäärin (ks. kuva 3.3).

¹⁰³ Wagner et al. (1997).

¹⁰⁴ Engl. "public consultation".

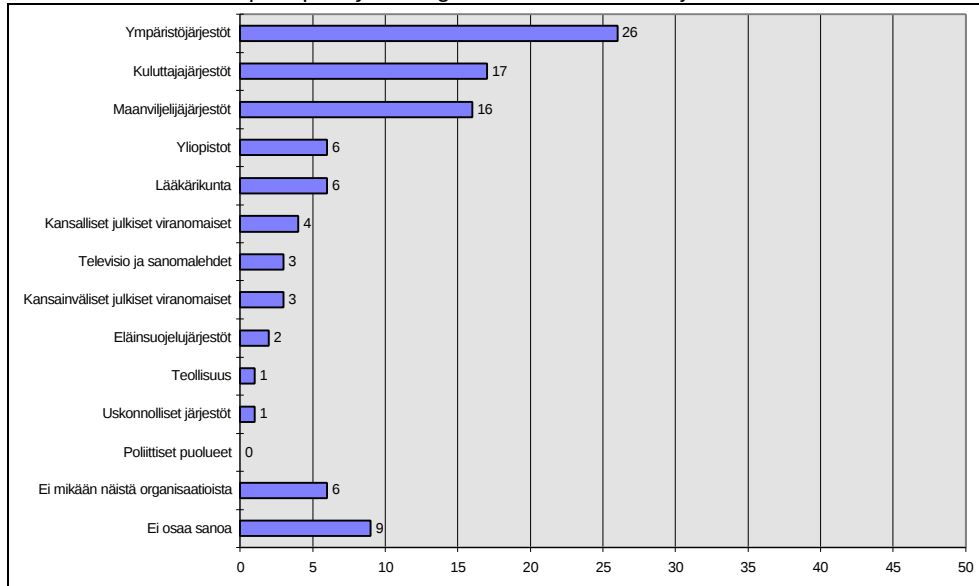
¹⁰⁵ Eurobarometer (1997) ja Wagner et al. (1997).

¹⁰⁶ Kuluttajavirasto (1997).

Kuva 3.3 Luottavimmat biotekniikkatiedon lähteet (%)¹⁰⁷

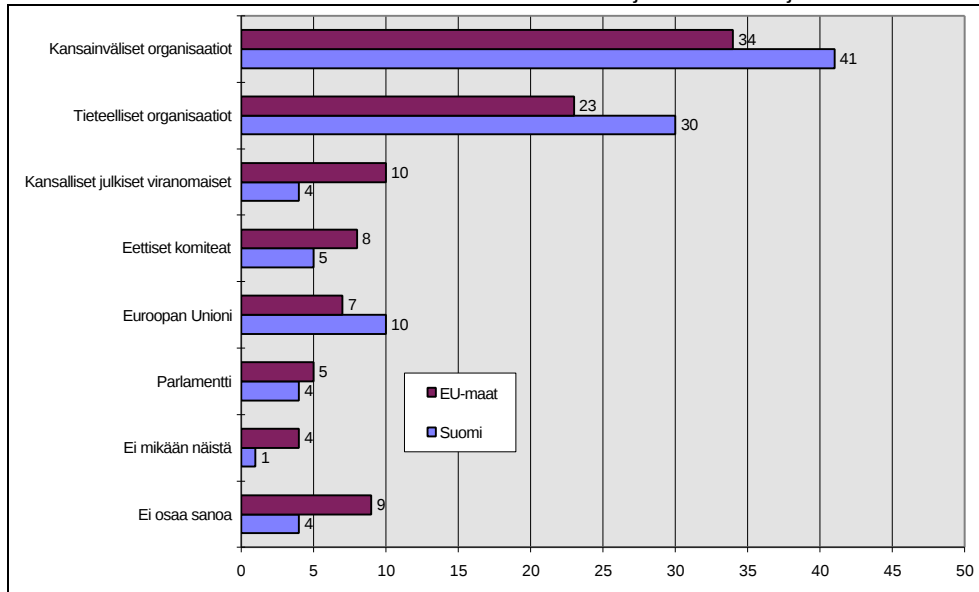
Kasvigeeniteknika ja biotekniikasta tiedottaviin lähteisiin luotetaan EU:ssa pääpiirteissään samalla tavalla. Eniten luottamusta nauttivat ympäristö-, kuluttaja- ja maanviljelijäjärjestöt, kun taas luottamus viranomaisiin ja etenkin teollisuuteen ja poliittisiin järjestöihin on vähäinen (ks. kuva 3.4). Suomea koskevia erillistietoja ei ole julkaistu, mutta Eurobarometrissä mainitaan, että monista muista EU-maista poiketen yliopistoja pidetään täällä luotettavimpina tiedon lähteinä.

¹⁰⁷ Eurobarometer (1997).

Kuva 3.4 Luotettavimpina pidetyt kasvigeeniteknikan tiedottajat EU:ssa¹⁰⁸

Eurobarometrissa mitattiin myös luottamusta viranomaisiin kysymällä, mikä olisi sopivin viranomainen vastaamaan biotekniikan sääntelystä. Kuten kuvasta 3.5 nähdään, kansainvälisiin (kuten YK ja WHO) ja tieteellisiin järjestöihin luotetaan eniten sekä Suomessa että EU-maissa. Huomattavasti vähemmän luotetaan kansallisiin viranomaisiin, eettisiin komiteoihin, EU:n hallintoon ja kansallisiin parlamentteihin. Suomessa näiden neljän järjestys poikkesi siten, että EU:ta pidetään eettisiä komiteoita sopivampana ja - ehkä yllätyksellisesti - viranomaisia ja parlamenttia vähiten sopivina.

¹⁰⁸ Eurobarometer (1997).

Kuva 3.5 Luotettavimmiksi arvioidut biotekniikan sääntelijät Suomessa ja EU:ssa¹⁰⁹

Eurobarometrin tulosten perusteella poliittisten instituutioiden luotettavuutta pidetään verraten vähäisenä.¹¹⁰ Kasvigeenitekniikan osalta varauksellisuuden taustalla voidaan nähdä 1) kehityksen ylikansallisuus, jonka suhteen kansalliset instituutiot ovat eräin osin voimattomia, 2) "hullun lehmän tauti"¹¹¹, jonka tuloksena geenitekniikkaan on liitetty samantapaisia epäilyjä kuin muihin modernin elintarviketalouden tuotantotapoihin sekä 3) moraaliset näkökohdat, kuten käsitys geenitekniikan luonnottomuudesta. Jos siis tiedotustoiminnassa kiinnitetään huomiota vain mahdollisten terveys- ja ympäristöhaittojen minimointiin - ilman että muita näkökohtia käsitellään riittävästi - varauksellisuus geenitekniikkaa kohtaan ei välttämättä vähene.¹¹²

EETTINEN TARKASTELU

Etiikka on filosofian ala, joka tutkii moraalisia kysymyksiä. *Bioetiikka* on soveltavan eettisen tutkimuksen ala, joka keskittyy eläviin organismeihin kohdistuvien toimenpiteiden moraalisen luonteen selvittämiseen.¹¹³

¹⁰⁹ Eurobarometer (1997).

¹¹⁰ Wagner et al. (1997).

¹¹¹ Hullun lehmän tauti eli BSE (*Bovine Spongiform Encephalopathy*) on ns. prionisairauksiin kuuluva nautaeläintauti, jonka arvellaan voivan tarttua ihmisiin. BSE-taudin leviämisen pääasiallisena syynä pidetään märehitjäperäisen lihaluujauhorehun syöttämistä nautaeläimille. Ks. <http://www.maff.gov.uk/animalh/bse/index~1.htm>.

¹¹² Wagner et al. (1997).

¹¹³ Pietarinen ja Launis (1990).

Etiikka ei rajoitu tiedeyhteisön piiriin, vaan kysymys on yleisemmästä *arvokeskustelusta*, jossa ihmiset ilmaisevat moraalilla väitteillään käsityksiään asioiden arvosta. Arvot kertovat hyvän ja oikean toiminnan suunnasta; geenitekniikan arvioinnin kannalta tärkeitä arvoja ovat esimerkiksi turvallisuus ja yksilön vakaumusten kunnioittaminen.¹¹⁴

Kasvigeenitekniikan yhteydessä on kysytty, onko ihmisellä *oikeus* vaikuttaa evoluution kulkuaan tekemällä risteytyksiä yli lajirajojen. On myös pohdittu, missä määrin ihminen on *velvollinen* soveltamaan teknologisia keinoja laajakantoisten ongelmien - kuten aliravitsemuksen ja ympäristövaurioiden - ratkaisemiseksi; sillä kuten Euroopan parlamentti on mietinnössään todennut, *emme ole vastuussa vain siitä, mitä teemme, vaan myös siitä, mitä emme tee*.¹¹⁵ Myös geenitekniikan soveltamista ohjaavan päätöksenteon demokraattisuus on herättänyt kysymyksiä: jakaantuuko geenitekniikan sovelluksista koituva hyöty oikeudenmukaisesti vai palveleeko uusi tekniikka lähinnä suuryritysten taloudellisia päämääriä?¹¹⁶ Tällaiset kysymykset liittyvät oikeuksien ja velvollisuuksien, moraalisen hyvän ja pahan arviointiin.

Kasvigeenitekniikka perustuu luonnontieteelliseen, todellisuutta ja sen lainalaisuuksia kuvaavaan, tietoon. Yksin luonnontieteellisen tiedon perusteella ei kuitenkaan voida tehdä päätelmiä siitä, miten joissakin konkreettisissa tilanteissa *pitäisi* toimia, joten arvoja ja arvostuksia on syytä tarkastella myös kasvigeenitekniikan yhteydessä. Tällaisella eettisellä tarkastelulla on myös ennakoiva tehtävä, koska vielä toteutumattomien sovellusten eettistä hyväksyttävyyttä voidaan pohtia ennen kuin ne mahdollisesti toteutuvat. Parhaimmillaan arvostusten ja teknologian ennakoiva tarkastelu auttaa havaitsemaan ja ratkaisemaan moraalisia ongelmia ja vähentää näin riskiä siitä, että teknologian kehitys johtaa ristiriitaan yhteiskunnassa yleisesti vallitsevien arvojen kanssa.

Etiikan asiantuntemus on toisenlaista kuin luonnontieteiden, kuten biologian, jossa väitteet voidaan todistaa yleensä kokeellisesti. Moraalisia käsitystapoja ei tyypillisesti voida osoittaa oikeiksi, mutta niitä voidaan silti tutkia ja kritisoida järkipäisesti. Etiikan asiantuntemus perustuukin arvostelu- ja päättelykykyyn sekä kykyyn nähdä asiat oikeissa yhteyksissään.¹¹⁷

¹¹⁴ Launis ja Räikkä (1997).

¹¹⁵ Maataloutta ja maaseudun kehittämistä käsittelevän valiokunnan mietintö "Bioteknologian vaikutuksen maatalouteen", ks. EP (1998).

¹¹⁶ Ks. esim. Reiss ja Straughan (1996), Haapala (1994) ja Launis ja Räikkä (1997).

¹¹⁷ Launis ja Räikkä (1997).

Eettisten ongelmien luonne

Eettisessä tarkastelussa ei ole tarpeen korostaa asioita, joita ei nähdä eettisesti ongelmallisina. Esimerkiksi pyrkimys ehkäistä nälänhätää kasvigeenitekniikan sovelluksilla ei ole eettisen tarkastelun kannalta kovin kiinnostava, koska yleinen käsitys on, että nälänhädät olisi estettävä.¹¹⁸ Tässä tapauksessa eettinen kysymys kuuluu pikemminkin, onko kasvigeenitekniikka oikea keino päämäärään pääsemiseksi. Toinen, samaan teemaan liittyvä eettinen kysymys on se, että onko oikein, että vain murto-osa kasvigeenitekniikan kehitystyöstä tapahtuu kehitysmaissa ja niissä viljeltävillä kasveilla, vaikka ravinnontuotannon lisäämisen tarve on suurin juuri kehitysmaissa?

Geenitekniikan eri osa-alueista kasvigeenitekniikka on eettisesti sikäli vähiten ongelmallinen, että kasvit eivät yleensä herätä ihmisten moraalisia tunteita niin kuin eläimet ja ihmiset. Vaikka rajan asettaminen moraalisesti huomioon otettavan ja huomiotta jätettävän olennon välille on herättänyt filosofista keskustelua,¹¹⁹ moni asettaa rajan suurin piirtein ”silmällisten” paikkeille, aistiviin ja tunteviin olentoihin.¹²⁰ Toisaalta kaikki eettiset ongelmat eivät liity tekniikan välittömään kohteeseen sinänsä (so. kasviin), koska tekniikalla on useimmiten vaikutuksia myös varsinaisen kohteensa ulkopuolella. Niinpä kasvigeenitekniikan eettisessä arvioinnissa on otettava huomioon myös ne vaikutukset, jotka kohdistuvat ihmisiin, eläimiin, ympäristöön ja tuleviin sukupolviinkin.

Kasvigeenitekniikkaa vastaan on esitetty kahdentyyppisiä perusteluja:¹²¹

- *Sääntöeettisten* väitteiden mukaan kasvigeenitekniikka on moraalisesti tuomittava, jos sen käyttöön liittyvä teko rikkoo jotain eettistä sääntöä. Moraalisen arvioinnin perustana ei tällöin ole teon seurausten arviointi vaan pikemminkin teon ”luonteen” tarkastelu. Tässä mielessä kasvigeenitekniikkaa on arvosteltu lähinnä sen ”luonnottomuuden” perusteella.
- *Seurauseettisten* väitteiden mukaan geenitekniikan käyttö on moraalisesti tuomittavaa, mikäli seuraukset eivät ole hyväksyttäviä. Seurausten hyödyllisyyteen vetoaminen on ollut myös pääasiallinen tapa hakea kasvigeenitekniikan käytölle oikeutusta.

Seuraavassa tarkastellaan ensin sääntöeettisiä väitteitä, sitten seurauseettisiä väitteitä.

¹¹⁸ Vrt. Launis ja Räikkä (1997).

¹¹⁹ Ks. esim. Vilkkä (1998), Oksanen ja Rauhala-Hayes (1997).

¹²⁰ Bioetiikassa tämänsuuntainen ajattelutapa on tullut esille ”sentientismin” nimellä, ks. Pietari-nen ja Launis (1997).

¹²¹ Ks. Häyry (1997). Sääntöeettisillä perusteluilla viitataan tässä kategoriin eli deontologisiin perusteluihin, seurauseettisillä perusteilla vastaavasti pragmaattisiin eli konsekventalistisiin perusteluihin. Usein nämä perustelut liittyvät yhteen.

Luonnollisuus ja luonnottomuus

Geenitekniikkaa ”luonnottomuuden” perusteella vastustavissa väitteissä on lähtökohtana näkemys, että on olemassa luonnon oma järjestys, jota pitää kunnioittaa ja jota ei saa rikkoa. Ajatellaan, että elämän perusrakenteita ei ole lupa peukaloida eikä ”luonnottomia” organismeja saa tuottaa. Väitteille annetaan usein uskonnollinen perustelu vetoamalla siihen, että luonnon järjestys on Jumalan säätämä, eikä sitä sen vuoksi saa rikkoa.¹²²

Uskonnolliset ja ”luonnollisuuteen” vetoavat perustelut kasvigeenitekniikan - tai yleensä geenitekniikan - kieltämiseksi jättävät kuitenkin monia kysymyksiä avoimiksi. Missä kulkee luonnottoman ja luonnollisen välinen raja: onko siirtogeeninen luonnoton vain siksi, että sen perimä on muuttunut, mutta perinteisen jalostuksen keinoin tuotettu kasvi luonnollinen, vaikka senkin perimä on muuttunut niin paljon, että se ei ehkä enää kykene risteytymään villien esivanhempiansa kanssa? Voidaan myös kysyä, ovatko toisesta eliöstä siirretyt geenit viime kädessä luonnotonta ainesta, kun kerran esimerkiksi hiivan geeneistä yli puolet on samoja kuin ihmisellä¹²³ - ja perimää muokkaavia mutaatioita tapahtuu jatkuvasti myös luonnossa. Kuka asettaa luonnollisen ja luonnottoman rajan?

Luonnollisuuteen vetoavia käsityksiä voidaan koetella myös toisella tavoin. Pitäisikö geenitekniikan käytöstä pidättäytyä sen luonnottomuuden takia myös silloin, kun sen avulla voitaisiin täyttää muita moraalisia velvollisuuksia? Pitäisikö geenitekniikka kieltää myös lääkkeiden valmistuksessa, jos ja kun sillä pystytään tuottamaan entistä tehokkaampia ja halvempia lääkkeitä?

Uskonnollisten järjestöjen kannanottoja

Suomessa ei tiettävästi ole tutkittu eri uskontokuntien suhtautumisista geenitekniikkaan. Luterilaisen kirkon kannan mukaan ihminen on vastuussa kaikista teoistaan, mutta toisaalta uskonnon sinänsä ei katsota antavan vastauksia geenitekniikan kaltaisiin yhteiskunnallisiin kysymyksiin. Nämä on ratkaistava pikemminkin politiikan keinoin.

Iso-Britannian maatalousministeriön asettama eettinen komitea jätti 1993 raportin, joka valottaa eri uskontokuntien, ryhmien ja traditioiden suhtautumista GMO-ruokaan. Raportissa todetaan, että ”hyvin pieni vähemmistö väestöstä vastustaa kaikkea GMO-ruokaa eettisin perustein”.¹²⁴

¹²² Ks. Pietarinen (1997) ja Verhey (1997). Verhey tarkastelee artikkelissaan ”Playing God” geenitekniikan yhteydessä usein esitettyä kysymystä, saako ihminen ”leikkiä Jumalaa”.

¹²³ Huuskonen (1997).

¹²⁴ HMSO (1993).

Useimmat kristilliset kirkkokunnat eivät raportin mukaan suhtaudu geenitekniikkaan kovin huolestuneesti. Kristittyjen kanta perustuu käsitykseen, että ihmisille on annettu valta käyttää luontoa hyväkseen, mutta ei riistämällä vaan pikemminkin tilanhoitajan tavoin. Näin geenitekniikka voidaan periaatteessa hyväksyä, kunhan eläinten ja ihmisten turvallisuus ja hyvinvointi varmistetaan.

Juutalaisten käsitykset muistuttavat kristillistä ajattelutapaa, sillä juutalaiset pitävät luonnon hyödyntämistä ihmisen tehtävänä samalla tavalla kuin luonnon hoitamista ja suojeleakin. Luonnollisuus ei myöskään ole hyve sinänsä, koska luonnon kulkuun puuttuminen nähdään välttämättömänä, varsinkin jos tavoitteena on elämää suojelevien tai elämää pidentävien tuotteiden kehittäminen.

Islaminuskoiset suhtautuvat geenitekniikan käyttöön erittäin kriittisesti. Heidän kantansa perustuu käsitykseen, että Jumala on luonut kaikki elämän muodot parhaalla mahdollisella tavalla, jota ihmisen ei pitäisi muuttaa paitsi korjatakseen poikkeamat takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Islaminuskoiset pitävät myös lajien suojelua tärkeänä, ja pelkäävät, että geenitekniikan käyttö saattaa horjuttaa lajien välistä tasapainoa. Niin ikään he näkevät suuren eron geenitekniikan ja perinteisen risteytysjalostuksen välillä.

Hindulaiset ja buddhalaiset yhteisöt suhtautuvat niin ikään kriittisesti geenitekniikkaan. Samalla ne katsovat perinteisen valintajalostuksen olevan sopusoinnussa luonnon kanssa, koska sen tuottamat muutokset nähdään asteittaisina ja täten kontrolloituina sekä tarpeen vaatiessa peruutettavina. Geenitekniikan sitä vastoin nähdään aiheuttavan ”välittömiä” muutoksia, joiden pelätään aiheuttavan hallitsemattomia ja peruuttamattomia seurauksia.

Luonnollisuuden rajat - ihmisperäiset geenit kasveissa¹²⁵

Luonnollisuuteen vetoavia perusteluja voidaan tarkastella myös kysymällä, onko eri tavoin toteutettujen sovellusten hyväksyttävyydessä eroja. Onko esimerkiksi vieraiden kasvigeenien siirtäminen toiseen kasviin hyväksyttävämpää ja luonnollisempaa kuin ihmisperäisten geenien siirtäminen kasveihin ja tätä kautta mahdollisesti elintarvikkeisiin? Jo pelkkä ajatus ihmisperäisten geenien siirtämisestä kasveihin herättää yleensä voimakasta moraalista huolestumista, kun taas vieraiden kasvigeenien siirtämistä toisiin kasveihin pidetään hyväksyttävämpänä ja jossain määrin perinteistä jalostusta muistuttavana toimintana.

Kysymys ihmisperäisten geenien siirrosta kasveihin on toistaiseksi lähinnä spekulatiivinen. Yhtään tällaista siirtogeenistä tuotetta ei tiettävästi ole sovellusasteella, ja tähän

¹²⁵ HMSO (1993).

mennessä tavoiteltujen viljely- ja laatuominaisuuksien tuottamiseksi tarvittavat geenit on löydetty muista organismeista. Lääketieteellisissä tarkoituksissa ihmisperäisiä geenejä on kuitenkin siirretty vieraisiin organismeihin tuottamaan muuten vaikeasti valmistettavia lääkeaineita: esimerkiksi verenvuototaudin hoitoon tarvittavaa proteiinia on tuotettu lampaissa, joihin on siirretty ihmisperäinen geeni. Teknisesti ihmisperäisiä geenejä olisi mahdollista siirtää myös kasveihin.

Olennainen kysymys ihmisperäisten geenien siirrossa on se, minkälaisena siirrettävän geenin status nähdään: *ajatellaanko, että geeni säilyttää inhimillisen luonteensa myös siinä organismissa, johon se on siirretty, vai katsotaanko geenin luonteen määrittävän yksinomaan sen organismin perusteella, johon siirto on tehty.* Tässä suurin näkemysero vallitsee islaminuskoisten ja juutalaisten välillä. Islaminuskoiset katsovat, että siirretty geeni säilyttää inhimillisen luonteensa. Siksi ihmisperäisiä geenejä sisältävän ruoan nauttimista pidetään kiellettynä, vaikkakaan tällaisen ruoan syömistä ei yksiselitteisesti rinnasteta kannibalismiin. Juutalaiset puolestaan pitävät kohdeorganismia merkittävämpänä siinä mielessä, että sen luonteen ei katsota muuttuvan geeninsiirron johdosta. Muiden uskonto- ja mielipideryhmien käsitykset asettuvat johonkin näiden kahden äärinäkömyksen välille. Kristittyjen asenteet ovat yleensä lähellä juutalaisten kat-
santotapaa.

Biologisen ajattelutavan mukaan geneettisen materiaalin status määräytyy sen yhteydestä koko organismiin. Geneettisen materiaalin ”inhimillisyyttä” vastaan voidaan esittää myös seuraavat seikat:

- Geeninsiirrossa on niin monta *in vitro* eli koeputkessa tehtävää vaihetta, joissa geeni eristetään ja monistetaan, että ei voida ajatella, että siirrettävä materiaali olisi ”inhimillistä” ainakaan siinä mielessä, että se sisältäisi suoranaisesti luovuttajaihmi-
sen DNA:ta.
- Käytössä olevissa tai odotettavissa olevissa geeninsiirroissa ei ole kyse niin suurista muutoksista kasvin perimään, että se muokkaisi oleellisesti vastaanottajakasvin ilmi-
asua eli *fenotyyppiä*.
- Useimmat ihmiset nauttivat jokapäiväisen ruoan mukana tahattomasti pieniä määriä ihmisperäistä DNA:ta. Tätä ei pidetä kuitenkaan eettisenä vaan pikemminkin hygiee-
nisenä ongelmana.
- Vaikka ihminen söisi ruokaa, joka on valmistettu ihmisperäistä DNA:ta sisältävästä
organismista, niin kyseinen DNA hajoaa todennäköisesti ihmisen ruoansulatuskana-
vassa ja menettää näin geneettisen identiteettinsä.

Eläinperäiset geenit kasveissa

Eläinperäisten geenien siirtämistä kasveihin on eräissä kannanotoissa pidetty esimerkkinä totuttujen lajirajojen rikkoontumisesta ja geenitekniikan ”luonnottomuudesta”. Esimerkki on sikäli todellinen, että tällaisia siirtoja on tehty, ja muun muassa perunan kylmänsietokykyä on pyritty parantamaan siirtämällä siihen kampelan geeni.

Samoin kuin ihmisgeenien kohdalla, myös tässä luonnottomuusväitteisiin liittyy kysymyksiä ”luonteen” määrittymisestä sekä luonnottoman ja luonnollisen rajasta, eikä pelkästään luonnottomuuteen vetoamalla ole helppo löytää päteviä perusteita lajienvälisten geeninsiirtojen vastustamiseksi. Asiaa koskeva keskustelu on ollut usein vilkasta ja toisinaan myös väärinkäsityksille perustuvaa.

Jotkut kasvinjalostajat ovat esittäneet hyväksyttävän kasvigeenitekniikan kriteeriksi kysymyksen ”*Voisiko tapahtua luonnossa?*”. Vaikka esimerkiksi kampelat ja perunat eivät luonnossa risteidy keskenään, niin tämä kriteeri ei ole kuitenkaan kestävä peruste kaikkia lajienvälisiä geeninsiirtoja vastaan, koska luonnossa siirtyy geenejä jatkuvasti eliölajista toiseen. Esimerkiksi *Agrobacterium*-maabakteeri siirtää omia geenejään isäntäkasviin, ja pakottaa tämän solut tuottamaan bakteerille hyödyllisiä aineita (ks. luku 1). Juuri luonnon evoluutiossa lajienväliset rajat ovat pitkän ajan kuluessa kehittyneet - ja ajoittain myös rikkoutuneet.

Eläingeenien siirtämiseen elintarvikkeina käytettäviin kasveihin liittyy eräitä erityisongelmia. Jotkut uskonnolliset ryhmät - kuten hindut - eivät hyväksy tiettyjen eläinten syömistä: mikäli nämä ryhmät näkevät eläinperäisen geenin säilyttävän ”eläinluonteensa” myös siirtogeenisessä kasvissa, saattavat ne joutua kieltämään jäseniltään tästä kasvista valmistetut elintarvikkeet. Vastaavanlaisen tilanteen eteen voivat joutua myös vegetaristit ja erityisesti vegaanit, jotka välttävät kaikkien eläinperäisten tuotteiden nauttimista. Jos ihmisten *itsemääräämisoikeutta* halutaan kunnioittaa, näille erityisryhmille täytyy antaa mahdollisuus tehdä informoituja päätöksiä.

Vieraat kasvigeenit kasveissa

Vieraiden kasvigeenien siirtämistä kasveihin ei yleensä ole nähty sen ”luonnottomampana” kuin geenitekniikkaa sinänsä.¹²⁶

Geenitekniikan kritiikitöntä käyttöä on kuitenkin pidetty eettisesti arveluttavana sillä perusteella, että se saattaa lisätä elämän ja luonnon välineellistymistä. Professori Pietarisen

¹²⁶ HMSO (1993).

mukaan “Luonnon kunnioittamisen merkitys ei ole siinä, että kasvien ja eläinten geneettinen muokkaus pitäisi kokonaan kieltää, vaan siinä, ettei luontoa nähdä yksinomaan biotekniikan soveltamisen välineenä. Jos kyky arvostaa luontoa myös itseisarvona häviää, päädymme pinnalliseen ja moraalisesti köyhään kulutuskulttuuriin, jossa ihmisarvokin vähän kerrassaan menettää merkitystään.”¹²⁷

Mikrobigeenit kasveissa

Mikrobigeenien siirtämistä kasveihin ei yleensä ole nähty sen “luonnottomampana” kuin geenitekniikkaa sinänsä.¹²⁸

Kasvigeenitekniikan ulkopuolelta mainittakoon, että juustonvalmistuksessa on käytetty geenitekniikalla muunnettua kymosiini-entsyymiä, jolla on korvattu vasikan vatsalaukusta saadun kymosiinin käyttöä maidon juoksuttimena.¹²⁹ Näin kymosiini-entsyymillä avulla valmistettu juusto on eräiden vegetaristien kannalta sikäli hyväksyttävämpi, että se sisältää vähemmän eläinperäistä ainesta.

Synteettiset geenit

Synteettiset, koeputkessa keinotekoisesti valmistetut geenit ovat toistaiseksi vain teoreettinen mahdollisuus. Tästä huolimatta niitä tarkasteltiin Iso-Britannian maatalousministeriön asettaman eettisen komitean laatimassa raportissa.

Muutoin hyvin aktiivisesti kantaa ottavilla ryhmillä ei yleensä ollut selvää vastausta siihen, kuinka synteettisiin geeneihin pitäisi suhtautua. Asian arveltiin vaativan geenitekniisten prosessien parempaa tuntemusta sekä perusteellisempaa keskustelua.¹³⁰ Tämä saattaa kuvastaa sitä, että perinteiset käsitykset eivät tue kokonaan uusien asiantilojen käsittelyä.

Seurausten eettinen arviointi

Seurausetiikka on eettistä arviointia, joka pyrkii arvioimaan teon moraalista hyväksyttävyyttä tilannekohtaisesti niiden seurausten perusteella, joita teosta aiheutuu. Tarkoituksena on arvioida hyväksyttävyyttä punnitsemalla seurauksia, niin hyviä kuin huonojakin, tärkeiksi katsottujen eettisten periaatteiden valossa. Pyrkimys voidaan ilmaista myös

¹²⁷ Ks. Pietarinen (1997).

¹²⁸ HMSO (1993).

¹²⁹ Ks. esim. Troil (1995) ja HMSO (1993).

¹³⁰ HMSO (1993).

toisin: tavoitteena on löytää tekoja ohjaavia periaatteita ja normeja sekä arvioida, missä määrin nämä ovat oikeutettuja ja tilanteeseen sopivia.

Eettiset periaatteet

Eettinen periaate on yleisellä tasolla esitetty moraalinen toimintaohje. Eettinen periaate ei siis kerro, miten jossakin tietyssä tilanteessa pitää toimia, vaan sitä on käytännössä täsmennettävä ja konkretisoitava. Yleensä eettiset periaatteet perustuvat eettisiin teorioihin, eli kaikkein yleisimmällä tasolla perusteltuihin käsityksiin siitä, millaista hyvä ja oikea toiminta on.¹³¹ Vaikka ”oikeasta” teoriasta (joka määrittäisi, mikä tai mitkä eettiset periaatteet pitää ottaa huomioon) on harvoin löydettävissä yksimielisyyttä, niin voidaan kuitenkin esittää muutamia periaatteita, joita on pidetty kasvigeenitekniikan arvioinnissa tärkeinä:¹³²

Itsemääräämisoikeus

Ihmiselle pitää turvata oikeus suunnitella elämänsä ja ainakin jossain määrin myös toteuttaa suunnitelmiaan. Kasvigeenitekniikan suhteen periaatteen tärkeä täsmennys on oikeus saada tietoa ja oikeus tehdä omia, tietoon perustuvia päätöksiä.

Periaatteen nojalla voidaan vaatia esimerkiksi GMO-tuotteiden merkitsemistä ja lupamenettelyjen riittävää avoimuutta. Periaatteen mukaisesti niin suomalaiset kuin ulkomaiset kuluttajajärjestöt ovat vaatineet selkeitä GMO-merkintöjä ja avointa tiedottamista. Yleinen kuluttajajärjestöjen vaatimus on ollut myös aidon valinnanvapauden turvaaminen eli sen tilanteen välttäminen, että saatavilla ei ole muita kuin GMO-tuotteita.¹³³

Merkityksellisen ja merkityksettömän tiedon raja kulkee kuitenkin jossain. Tieto siirretyn geenin yksityiskohdista ja siirtomenetelyistä ei kiinnosta kaikkia, eivätkä pakkausmerkintöjä varten käytettävissä olevan tilan vähyyskään mahdollista kovin täydellisiä tietoja. Tiedon merkitys riippuu myös siitä, mitä muita vaihtoehtoja on saatavilla: jos lähes kaikki elintarvikkeet sisältäisivät GMO:ita, niin voitaisiin kysyä, mitä merkitystä GMO-merkinnöillä tällaisessa tilanteessa olisi, jos kerran lähes kaikki ostajat joutuisivat niitä väistämättä ostamaan.

Itsemääräämisoikeuden kannalta avoin GMO:ita koskeva tiedottaminen on keskeistä. Esimerkiksi vuonna 1997 GMO-soijan tuonti EU:hun ilman riittävää tiedottamista sai

¹³¹ Ks. Pietarinen (1990).

¹³² Vrt. Pietarinen (1990).

¹³³ Elintarvikevirasto (1997) ja Konsumentberedningen (1997).

erittäin paljon kielteistä julkisuutta osakseen.¹³⁴ Toisaalta esimerkiksi Iso-Britanniassa kuluttajat ovat suhtautuneet varsin myönteisesti *Safeway* ja *Sainsbury's*-kauppaketjujen myymään tomaattisoseeseen, joka on merkitty selkeästi, ja jota on avoimesti mainostettu GMO-tuotteena.¹³⁵

Itsemääräämisen periaate on länsimaisessa, vapautta korostavassa demokratia-ajattelussa aivan keskeinen. Periaatteen toteutuminen nojautuu kuitenkin oletuksiin siitä, että¹³⁶

- tavallinen kansalainen kykenee muodostamaan mielipiteen häntä koskettavista yleisistäkin ongelmista
- hän kykenee arvioimaan tekojensa ja sitoumustensa seurauksia siinä määrin, että hän pystyy toimimaan vastuullisesti.

Monimutkaisten teknologioiden kohdalla näiden oletusten paikkansapitävyys on kyseenalaistettavissa. Esimerkiksi kasvigeenitekniikan kohdalla kiinnostunutkaan kansalainen ei pysty helposti perehtymään vaikeaselkoihin lupamenettelyihin ja riskinarviointeihin, minkä seurauksena kuilu asiantuntijoiden ja maallikoiden välillä saattaa syvetä.

Luonnon kunnioittaminen

*Luonto itsessään on arvokas. Luonnollisten ekosysteemien eheyttä on kunnioitettava, uhanalaisia lajeja suojeltava ja ympäristön saastuttamista vältettävä*¹³⁷.

Luonnon kunnioittamisen periaate nivoutuu läheisesti muun muassa kestävä kehityksen tavoitteluun ja Rion biodiversiteetisopimuksen täytäntöönpanoon. Periaatteen mukaan kasvigeenitekniikan mahdolliset ympäristövaarat on huomioitava, jolloin arvioitaviksi on otettava muun muassa GMO:iden tai yksittäisten geenien tarkoitukseton leviäminen luontoon ja resistenssin kehittyminen tuholaishyönteisissä (ks. luku 4). Relevantteja ovat myös kysymykset kasvigeenitekniikan vaikutuksista bio- tai paremminkin *agrodiversiteettiin* (so. viljeltävien kasvilajikkeiden määrään) sekä ympäristökuormitukseen.

Hyödyn maksimointi

On toimittava tavalla, joka tuottaa eniten hyviä seurauksia suhteessa huonoihin. Tällöin seurausten "hyöty" voi tarkoittaa mitä tahansa arvoja, ei vain taloudellista hyötyä.

¹³⁴ Ks. esim. <http://www.kepa.fi/julkaisut/t5_geeni.htm>.

¹³⁵ Samalla sose osoittaa, että kuluttajien etukäteen antamat arviot eivät aina ennakoineet ostokäyttäytymistä: kun tomaattisosea tuotiin markkinoille vuonna 1996, kolme neljästä kuluttajasta vastasi mielipidetutkimuksessa, ettei ostaisi "geeniruokaa". Keväällä 1998 GMO-sosetta myytiin kuitenkin noin kaksi kertaa enemmän kuin tavallista sosetta. Suosion syynä on pidetty soseen edullisempaa hintaa, hieman tavanomaista parempaa laatua sekä avointa merkitsemistä ja tiedottamista, jolla kuluttajalle on kerrottu tuotteesta ja geenitekniikasta sekä tuotemerkintöjen että tuotteen ohessa olevien irtolehtisten kautta. (Muistio, J. Tammissola, 18.3.1998).

¹³⁶ Vrt. STOA (1992).

¹³⁷ Taylor (1997).

Periaatteeseen tiivistyy seurauseettisen arvioinnin perusajatus: hyvät ja huonot seuraukset on punnittava. Ongelmalliseksi periaatteen soveltamisen tekee se, että ihmisillä on monenlaisia, niin pysyviä kuin muuttuviakin arvoja ja intressejä. Voidaan ajatella, että tällöin etusija olisi asetettava esimerkiksi yhteiskunnan kestävästä kehitystä tukeville ekologisille ja sosiaalisille arvoille.

Kasvigeenitekniikan käyttöönotto USA:ssa selittyy osin taloudellisen hyödyn tavoittelulla, sillä yksittäisen viljelijän kannalta siirtogeenisten kasvien viljely on tuottavampaa kuin tavallisten lajikkeiden viljely. Toisaalta jos kasvigeenitekniikan yhteiskunnallista hyötyä pyritään arvioimaan pitkäjänteisesti myös muista kuin taloudellisen hyödyn näkökohdista käsin, huomioon on otettava laajemmat ympäristövaikutukset sekä hyötyjen tasapuolinen jakautuminen. Vaikeuksina hyödyn maksimointiperiaatteen soveltamisessa ovat seurausvaikutusten ennakointi, epävarmuuksien käsittely ja eri osapuolien hyötyjen ja haittojen rinnastaminen.

Vahingoittamisen kieltö¹³⁸

On pidättäydyttävä tuottamasta kipua ja kärsimystä niin ihmisille kuin luonnolle ja pidättäydyttävä loukkaamasta kenenkään oikeuksia.

Periaatteen nojalla voidaan vaatia, että GMO-elintarvikkeiden on oltava vähintään yhtä turvallisia kuin tavanomaisten elintarvikkeiden. Kuluttajien kannalta kysymys on tärkeä, ja kysymys elintarvikkeiden turvallisuudesta onkin ollut yksi keskeisimmistä huolenaiheista sekä suomalaisten että ulkomaisten kuluttaja- ja kansalaisjärjestöjen kannanotoissa.¹³⁹ Esillä ovat olleet kysymykset GMO-ruoan mahdollisesta toksisuudesta, allergisuudesta ja antibioottiresistenssin kehittymisestä (ks. luku 3).

GMO-tuotteista on tehty usein lähes yhtä perusteellisia turvallisuustestejä kuin uusista lääkeaineista. Näin ollen GMO-elintarvikkeiden turvallisuudesta saattaa *tieteellisesti tarkasteltuna* olla enemmän tietoa kuin tavanomaisista ruoka-aineista tai luontaistuotteista, mutta kuluttajat eivät silti välttämättä miellä niitä yhtä turvallisiksi, koska niiltä puuttuu pitkäaikaiskäytön antama ”turvallisuustakuu”.

Vahingoittamiskiellon tärkeä sovellus on ns. *varovaisuusperiaate*, jonka mukaan tekniikan käytöstä on pidättäydyttävä, mikäli käyttö saattaa johtaa kohtuuttomiin tai peruuttamattomiin vaaroihin¹⁴⁰. Periaatetta sovellettaessa on samalla arvioitava, miten merkittävä tekniikka on yhteiskunnallisesti ja toisaalta mitä sen käyttämättä jättäminen merkitsisi: niinpä kasvigeenitekniikan osalta voidaan pohtia esimerkiksi sen merkitystä

¹³⁸ Ks. Feinberg (1984).

¹³⁹ Ks. esim. Elintarvikevirasto (1997) ja <http://www.kepa.fi/julkaisut/t5_geeni.htm>.

¹⁴⁰ Ks. varovaisuusperiaate myös luvussa 7.

kehitysmaiden ravintohuollossa (ks. luku 5). Periaate nostaa esille myös *tulevien sukupolvien oikeudet*, joiden kunnioittaminen edellyttää varovaista etenemistä vaarojen tunnistamiseksi ja välttämiseksi.

Oikeudenmukaisuuden edistäminen

H y ö t y j e n j a h a i t t o j e n o i k e u d e n m u k a i s t a j a k a u t u m i s t a y h t e i s k u n n a s s a o n e d i s t e t t ä v ä .

Yleisellä tasolla tämä periaate edellyttää, että yhtäläisiä tapauksia on kohdeltava samalla tavalla. Periaate täsmentyy, kun valitaan ne perusteet, jolla luokittelu yhtäläisiin ja epäyhtäläisiin tapauksiin tehdään. Yleensä ajatellaan, että oikeudenmukaisuus edellyttää ainakin ihmisten ansioiden, kykyjen, tarpeiden ja työpanosten huomioon ottamista.¹⁴¹

Kasvigeenitekniikan yhteydessä esille on nostettu monia oikeudenmukaisuuden periaatetta sivuavia kysymyksiä. Patentteja omistavien kansainvälisten suuryritysten on esimerkiksi arveltu saavan kohtuuttoman suuren osan kasvigeenitekniikan sovellusten taloudellisesta hyödystä, vaikka tekniikan kehittämiseen on panostettu myös julkisia varoja.¹⁴² Kansainvälisten yritysten asema kasvigeenitekniikan kehittämisessä onkin kieltämättä vahva, ja muun muassa Euroopan parlamentti on huomauttanut, että GMO:t saattavat lisätä viljelijöiden riippuvuutta tuotantopanosten toimittajista.¹⁴³

Kasvigeenitekniikkaa on arvosteltu myös siksi, että yritysten kehitystyö suuntautuu sovelluksiin, jotka antavat kehityspanostuksille parhaan tuoton (esimerkiksi torjunta-ainekesävyys), minkä seurauksena esimerkiksi kehitysmaiden tarpeita palvelevien sovellusten kehittäminen jää vähemmälle (ks. luku 5). On myös arveltu, että kasvigeenitekniikka ei alenna kuluttajahintoja¹⁴⁴.

Perimmiltään kysymys on siitä, keiden tarpeita kehitystyö palvelee ja missä määrin vallitsevat rakenteet tuottavat sovelluksia, jotka tarjoavat kuluttajien arvostamia ominaisuuksia kuten turvallisuutta, terveellisyyttä, puhtautta, edullisuutta, hyvää makua ja tuoreutta. Näiltä osin kasvigeenitekniikan tutkimus- ja kehityspanostusta suuntaavat varsin pitkälle samat mekanismit, jotka ohjaavat muutakin teknistä kehitystyötä. Voidaan siis kysyä, pitäisikö ongelmallisiksi nähtyjä epäkohtia pyrkiä korjaamaan *ainoastaan* kasvigeenitekniikan kohdalla, jos viime kädessä kyse on yleisimmistä rakenteista.

¹⁴¹ Pietarinen (1990).

¹⁴² Ks. esim. <<http://www.helsinki.fi/~otammile/geeniyht.htm>>.

¹⁴³ Maataloutta ja maaseudun kehittämistä käsittelevän valiokunnan mietintö "Bioteknologian vaikutuksen maatalouteen", ks. EP (1998).

¹⁴⁴ Ks. esim. Konsumentberedningen (1997).

Eettinen keskustelu

Yllä esitetyt eettiset periaatteet saattavat käytännön tilanteissa tarjota keskenään ristiriitaisia toimintaohjeita, mikä kuuluu eettisten ilmiöiden perusluonteeseen. Periaatteiden pohjalta voidaan kuitenkin käydä rationaalista eettistä keskustelua kasvigeenitekniikan hyväksyttävyydestä. Tällöin on tosin tehtävä eri periaatteiden tärkeyttä koskevia valintoja.

Eettinen perustelu on sitä vahvempi, mitä kattavammin se ottaa huomioon keskustelijoiden arvot ja vakaumukset. Hyvä eettinen perustelu on ristiriidaton ja johdonmukainen: jos siis *luonnollisuudesta* tehdään arvokriteeri, se on kyettävä määrittelemään ja osoittamaan, että se toimii myös muissa kuin kasvigeenitekniikkaan liittyvissä valinnoissa. Hyvä eettinen perustelu myös tunnistaa eri argumenttien merkityksen eri periaatteiden kannalta: jos *itseäänmääräämisoikeus* (so. valinnanvapaus) on hyväksytty eettiseksi periaatteeksi, niin GMO-merkintöjen poisjättämistä ei voida puoltaa esimerkiksi sillä, että tiedeyhteisö pitää GMO:ita vaarattomina.

3. TERVEYSVAIKUTUKSET

Kasvien muuntaminen geenitekniikalla lisää mahdollisuuksia uusien yhdisteiden tuottamiseen. Eniten mahdollisista terveyshaitoista on pohdittu siirtogeenisten kasvien allergeenisuutta, elimistön antibioottiresistenssin lisääntymistä sekä ennakkoimattomien sekundäärivaikutusten tuloksena syntyviä haitallisia yhdisteitä.

1. Siirtogeenisten kasvien elintarviketurvallisuuden arviointi perustuu ns. *olennaisen vastaavuuden periaatteeseen*. Periaatteen mukaan yleisesti turvallisina pidetyt ja elintarvikkeina jo käytössä olevat kasvit tarjoavat vertailukohdan, jonka perusteella päätelmiä siirtogeenisten kasvien elintarviketurvallisuudesta voidaan tehdä. Kansainvälisten asiantuntijajärjestöjen mukaan periaatteen soveltaminen takaa, että siirtogeenisistä kasveista valmistetut elintarvikkeet ovat ainakin yhtä turvallisia kuin vastaavat tavanomaiset elintarvikkeet.
2. Siirtogeenisen kasvin käyttö ravintona voi aiheuttaa allergiareaktion herkilöissä, jotka ovat allergisia siirretyn geenin tuottamalle valkuaisaineelle. Turnettujen allergeenien (so. allergian aiheuttajien) osalta yllättävät allergiareaktiot voidaan kuitenkin estää siirtogeenisten kasvien hyväksyntä- ja valvontamenettelyillä, joissa suositellaan allergeenejä tuottavien geenien siirron välttämistä ja edellytetään tarvittavia tuotemerkintöjä. Geeninsiirtojen ei myöskään katsota johtavan uusien, yllättävien allergeenien syntymiseen, koska olennaisen vastaavuuden periaate edellyttää allergiatestien tekemistä, jos siirretty geeni tuottaa valkuaisainetta, jota ei ole ennen ravinnossa käytetty.
3. Siirtogeenisten kasvien kehittämisessä käytetään yleisesti antibioottiresistenssigeenejä, jotka helpottavat onnistuneiden geeninsiirtojen tunnistamista. On periaatteessa mahdollista, että nämä geenit voisivat siirtyä siirtogeenisestä kasvista ihmisen suoliston bakteereihin. Varteenotettavaa terveydellistä merkitystä antibioottiresistenssigeeneillä ei kuitenkaan katsota olevan, koska niiden siirtyminen suoliston bakteereihin on erittäin epätodennäköistä ja näistä bakteereista huomattava osa sisältää antibioottiresistenssigeenejä jo entuudestaan. Antibioottiresistenssigeenien käytöstä pyritään kuitenkin eroon muun muassa siksi, että ne rajoittavat mahdollisuuksia jatkaa siirtogeenisten kasvien jalostamista uusilla geeninsiirroilla.

4. Geeninsiirroissa ei etukäteen voida tarkalleen tietää, mihin kohtaan kasvin perimää siirrettävä geeni asettuu, ja siirron tuloksena saatavissa kasveissa on tyypillisesti paljon vaihtelua. Vaihtelun taustalla ovat osaltaan emakoimattomat sekundäärivaikutukset, jotka johtuvat muun muassa geenin sijainnista ja lukumäärästä kasvin perimässä sekä sen vaikutuksista kasvin muihin geeneihin. Nämä sekundäärivaikutukset - jotka pääosin karsiutuvat kasvinjalostuksessa - voivat johtaa uusien yhdisteiden syntyyn. Tähän mennessä sekundäärivaikutusten ei kuitenkaan ole havaittu synnyttävän uusia *toksiineja* eli myrkyllisiä yhdisteitä, ja toksikologien käsityksen mukaan olennaisen vastaavuuden periaatteen mukainen turvallisuusarviointi johtaisi niiden havaitsemiseen.
5. Osa kasvien siirtogeenisistä sovelluksista tähtää myönteisten terveysvaikutusten edistämiseen. Tällaisia ovat muun muassa lääkeaineina käytettävien vasta-aineiden tuottaminen kasveissa, allergeenien poistaminen viljelyskasveista sekä kasvien ravintoainekoostumuksen muuttaminen terveellisemmäksi esimerkiksi lisäämällä monityydyttämättömien rasvahappojen määrää öljykasveissa. Pääsääntöisesti nämä sovellukset eivät teknisistä syistä johtuen ole yhtä pitkällä kuin jo käytössä olevat torjunta-aine- ja hyönteiskestävyteen liittyvät sovellukset.

LÄHTÖKOHTIA

Perinteisen kasvinjalostuksen menetelmillä aikaansaatuja uusia lajikkeita pidetään yleisesti turvallisina, koska kasvinjalostus on monta sukupolvea kestävä prosessi (vrt. luku 1), jonka aikana lajikkeen uusien ominaisuuksien uskotaan tulevan riittävästi testatuiksi. Perinteisen kasvinjalostuksen katsotaan myös käyttävän vain turvallisia menetelmiä, joiden vaikutukset uuteen lajikkeeseen tiedetään ja jotka eivät johda ennakoimattomiin muutoksiin.¹⁴⁵ Tätä näkemystä on toisaalta kritisoitu muun muassa sillä perusteella, että esimerkiksi säteilyttämisen ja solumyrkkyjen käyttö mutaatiojalostuksessa perustuu tuhansien ennakolta tuntemattomien perimärakenteiden tuottamiseen.

Geenien siirtäminen kasvi- tai eliölajista toiseen on lisännyt kasvinjalostuksessa hyödynnettävän perinnöllisen muuntelun vaihtelun määrää. Samalla geeninsiirrot nostavat esille kysymyksiä siitä, mitä terveysvaikutuksia tällaisilla siirroilla voi olla - joko terveyttä edistävinä, nimenomaisesti tavoiteltuina sovelluksina tai sellaisina elintarvikkeen muuttuneina ominaisuuksina, jotka saattavat olla haitallisia joko kaikkien kuluttajien tai joidenkin erityisryhmien (esimerkiksi allergikot) kannalta.

¹⁴⁵ Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

Osa kasvigeenitekniikan sovelluksista tähtää ensisijaisesti myönteisten terveysvaikutusten edistämiseen. Tärkeimpiä näistä sovelluksista ovat:

1. *Ravintokoostumuksen muuttaminen terveellisemmäksi*: Esimerkkejä ovat muun muassa rapsin oleiinihappopitoisuuden nostaminen, perunan vesipitoisuuden vähentäminen (jolloin peruna imee paistettaessa vähemmän rasvaa) ja soijaöljyn koostumuksen muuttaminen lisäämällä monitydyttämättömien rasvahappojen määrää ja vähentämällä alfa-linoleenihapon määrää. Nämä sovellukset voisivat olla hyödyllisiä sydäntautien riskiryhmien kannalta. Japanissa on tehty tutkimuksia geeninsiirroilla, jotka ovat vähentäneet erään riisilajikkeen allergiavaikutusta.
2. *Lääkeaineiden tuottaminen kasveissa*: Geenitekniikalla kasveja voidaan muuntaa siten, että ne tuottavat eräitä lääkeaineina käytettäviä monoklonaalisia vasta-aineita: esimerkiksi tupakassa ja perunassa on tuotettu ihmisen veren seerumin albumiinia. Kasvien etuna on tällöin niiden turvallisuus: ne eivät sisällä ihmiselle vaarallisia taudinaiheuttajia, joten mahdolliset tartuntariskit eliminoiduvat. Kehitysmaiden kannalta kiinnostavana mahdollisuutena on testattu rokotteiden valmistamista paikallisissa kasveissa kuten esimerkiksi banaaneissa. Näiden sovellusten toteutuminen käytännössä kestää vielä varsin kauan.¹⁴⁶

Siirtogeenisten kasvien mahdollisina terveysriskeinä on pidetty 1) uusia allergiaa aiheuttavien yhdisteiden esiintymistä, 2) antibioottiresistenssin lisääntymistä, 3) tunnettujen myrkyllisten yhdisteiden syntymistä ja 4) uusien haitallisten yhdisteiden kehittymistä. Näistä jokaista tarkastellaan tämän luvun loppuosassa lähemmin.¹⁴⁷

Haitallisia terveysvaikutuksia voisi siirtogeenisessä kasvissa syntyä seuraavista syistä:

1. Siirretyn geenin tai sen mukana seuraavan merkkigeenin koodaama valkuaisaine aiheuttaa kielteisiä vaikutuksia.
2. Ravintokasvin valkuaisainekoostumus muuttuu ennakoimattomasti johtuen joko siirretyn geenin lukumäärästä (so. miten monta kertaa siirretty geeni on solussa) tai sen paikasta kasvin perimässä.
3. Ravintokasvin valkuaisainekoostumus muuttuu solukkoviljelyvaiheen aikana tapahtuvien mutaatioiden tuloksena.
4. Ravintokasvin valkuaisaine- ja muiden aineiden koostumus muuttuu siirretyn geenin ja kasvin omien geenien uudenlaisten yhteisvaikutusten seurauksena.

Näistä neljästä kaksi viimeistä kohtaa koskee myös perinteistä kasvinjalostusta, jossa solukkoviljelytekniikoita käytetään jalostuksen nopeuttamiseksi ja ominaisuusvaihtelua lisätään tekemällä etäristeityksiä kasvilajista toiseen.

¹⁴⁶ OPECST (1998), Lehtonen ja Kangasjärvi (1998).

¹⁴⁷ Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

ALLERGIAA AIHEUTTAVAT ELINTARVIKKEET

Jos kasviin siirretään allergiaa aiheuttavaa valkuaisainetta eli *allergeeniä* tuottava geeni, voi siirtogeeninen kasvi aiheuttaa allergiaa. Tästä syystä elintarvikekäyttöön ei ole hyväksytty yhtään kasvilajiketta, johon olisi siirretty tunnetusti allergeenejä tuottavia geenejä.¹⁴⁸

Sellaisten valkuaisaineiden allergeenisyyden arviointi, joita ei ravinnossa ole lainkaan aiemmin esiintynyt, edellyttää aina kokeellisia tutkimuksia. Tällöin tilanne on sama kuin kaikkien uusien elintarvikekäyttöön tuotavien ravintokasvien kohdalla: esimerkiksi kiivihedelmä osoittautui monille ihmisille allergiaa aiheuttavaksi, kun sitä alettiin tuoda Eurooppaan.

Seuraavassa luodaan lyhyt katsaus ruoka-aineallergioihin ennen siirtogeenisten kasvien allergiapotentiaalin arviointia.

Ruoka-aineallergian kehittyminen

Allergisia reaktioita aiheuttavat allergeenit ovat yleensä valkuaisaineita, mutta myös muut kemialliset yhdisteet voivat toimia allergeeneinä silloin, kun ne liittyvät ihmisen elimistön omiin valkuaisaineisiin. Allergeenit ovat ihmisen elimistölle vieraita aineita (so. ne eivät ole elimistön omia molekyylejä), ja niitä saadaan esimerkiksi ruoan mukana tai ilman kasvi- ja eläinpölyistä. Allergeenit ovat haitattomia henkilöille, jotka eivät ole niille herkistyneet.¹⁴⁹

Ruoka-allergiaa aiheuttavat valkuaisaineet ovat usein rakenteeltaan samankaltaisia. Kasveista on löydetty 30 ja eläimistä 14 allergeenisien reaktion aiheuttavaa valkuaisainerakennetta.¹⁵⁰ Ruoka-allergeeneille on ominaista hidas hajoaminen ruoansulatuskanavassa. Niinpä esimerkiksi eräs soijan allergeeni kesti ruoansulatusnestettä hajoamatta yhden tunnin, kun taas pinaatin ei-allergeeninen proteiini hajosi 15 sekunnissa. Myös siirtogeenisissä kasveissa tuotettujen *Bt*-toksiinien sekä kanamysiiniresistenssin ja glyfosaatti-kestävyyden antavien valkuaisaineiden todettiin hajoavan alle puolessa minuutissa.¹⁵¹

Ruoansulatuskanava valvoo ruoan mukana elimistöön tulevia vieraita aineita ja estää niiden liiallisen imeytymisen verenkiertoon. Suolistossa altistuminen ruoan mukana tuleville aineille on runsasta, mutta suoliston tehokas puolustusjärjestelmä pystyy

¹⁴⁸ Nordlee et al. (1996).

¹⁴⁹ Peuhkuri et al. (1996), Palva-Alhola ja Paganus (1987).

¹⁵⁰ Metcalfe et al. (1996).

¹⁵¹ Metcalfe et al. (1996), Astwood et al. (1996), Fuchs et al. (1995).

muokkaamaan suuren määrän vasta-ainemuodostusta aiheuttavia aineita eli *antigenejä* elimistölle sopivaan ja turvalliseen muotoon.

Kun elimistö kohtaa ensimmäisen kerran uuden antigeenin ruoassa, alkaa normaalisti tahtumasarja, jonka tuloksena elimistö oppii tuntemaan ja muistamaan ”vanhat tutut” antigeenit, joita vastaan sen ei tarvitse hyökätä. Tällöin saman antigeenin uudelleen syöminen ei aiheuta haitallisia oireita.

Suoliston limakalvolla syntyy paikallisesti vasta-aineita (nk. IgA-vasta-aineita), joiden tehtävänä on estää mikrobeja ja vieraita molekyylejä tunkeutumasta sellaisenaan limakalvon läpi. Joillakin henkilöillä IgA-vasta-aineet saattavat kuitenkin päästää limakalvon läpi kokonaisia aktiivisia valkuaisainemolekyylejä. Nämä aiheuttavat muiden vasta-aineiden synnyn, joista etenkin IgE-vasta-aine liittyy vakaviin ruoka-aineallergioihin: näin IgE-vasta-aineiden tuotanto johtaa allergiaan taipuvan yksilön herkistymiseen. Jos allergeeniä pääsee suoliston limakalvon läpi toistamiseen, niin IgE-vasta-aineet sitoutuvat siihen ja seurauksena on allergeeninen reaktio.

Ruoka-aineallergian kehittyminen edellyttää siis, että ruoan mukana tulevat vieraat aineet eli antigeenit pääsevät suolen limakalvon läpi riittävän suurina, immunologisesti aktiivisessa muodossa, jolloin ne voivat käynnistää liiotellun tehokkaan puolustusreaktion.¹⁵² Niin ikään antigenejä on syötävä vähintään kaksi kertaa, jotta ne voisivat aiheuttaa allergisia oireita.

Yliherkkyys ei aina ole allergiaa. Yliherkkyydellä tarkoitetaan yleisesti elimistön liian voimakasta reaktiota vierasta ainetta kohtaan. Yliherkkyys voi olla 1) joko vasta-aineiden laukaisemaa *allergiaa* tai 2) ilman vasta-aineita, esimerkiksi ruoan tai juoman sisältämän aineen suoraan aiheuttamaa. Muun muassa suklaa, kaakao, mansikka, tomaatti ja sitrushedelmät voivat aiheuttaa yliherkkyysreaktioita ilman, että vasta-aineita kehittyy. Toisaalta ne voivat olla myös allergeeneja joillekin ihmisille.

Paljon käytettäville ruoka-aineille herkistytään helpommin. Suomessa pähkinä- ja riisiallergiat ovat maitoallergiaa harvinaisempia. USA:ssa ja Japanissa taas käytetään pähkinöitä ja riisiä huomattavasti enemmän, mistä johtuen näissä maissa on myös enemmän näille ruoka-aineille herkistyneitä yksilöitä. Japanissa on kiinnitetty huomiota riisiallergiaongelmaan, ja tutkimuksissa on osoitettu, että allergeenisen valkuaisaineen määrää riisissä voidaan geenitekniikan avulla vähentää.¹⁵³

¹⁵² Peuhkuri et al. (1996).

¹⁵³ Tada et al. (1996).

Suomessa tavallisimpia allergiaa ja yliherkkyyttä aiheuttavia ruokia ovat muun muassa kala ja äyriäiset, kananmuna, maito ja maitotuotteet, mansikka, herneet, pavut ja soija, pähkinät, manteli, viljat, marjat, tomaatti ja monet sitrus- ja muut hedelmät. Ruokatottumusten muuttuessa on ilmennyt myös uusia allergiaa aiheuttavia elintarvikkeita: muun muassa eräät eksoottiset hedelmät, kuten kiivi, mango ja papaija ovat aiheuttaneet pikkulapsilla ruoka-aineallergioita.

Allergeenit siirtogeenisissä kasveissa

Elintarvikkeiden allergeenisuus on kasvigeenitekniikan yhteydessä reaalinen terveysriski silloin, kun kasviin siirretään allergeeniä koodaava geeni, koska siirretty geeni saattaa tuottaa allergeeniä myös siinä kasvissa, johon se on siirretty. Esimerkkinä tästä mahdollisuudesta mainittakoon tutkimus¹⁵⁴, jossa parapähkinässä¹⁵⁵ esiintyvää allergeeniä koodaava geeni siirrettiin soijaan. Tällöin siirretyn geenin tuottama valkuaisaine sitoutui parapähkinälle allergisten ihmisten seerumin IgE-vasta-aineeseen: ts. allergeeniseksi tiedetty pähkinän proteiini säilytti allergeenisyytensä myös uudessa kasvissa, soijassa, jonka allergeenisuus voitiin osoittaa vasta-aineseerumilla laboratoriossa ja vapaaehtoisilla henkilöillä tehdyissä ihotesteissä.

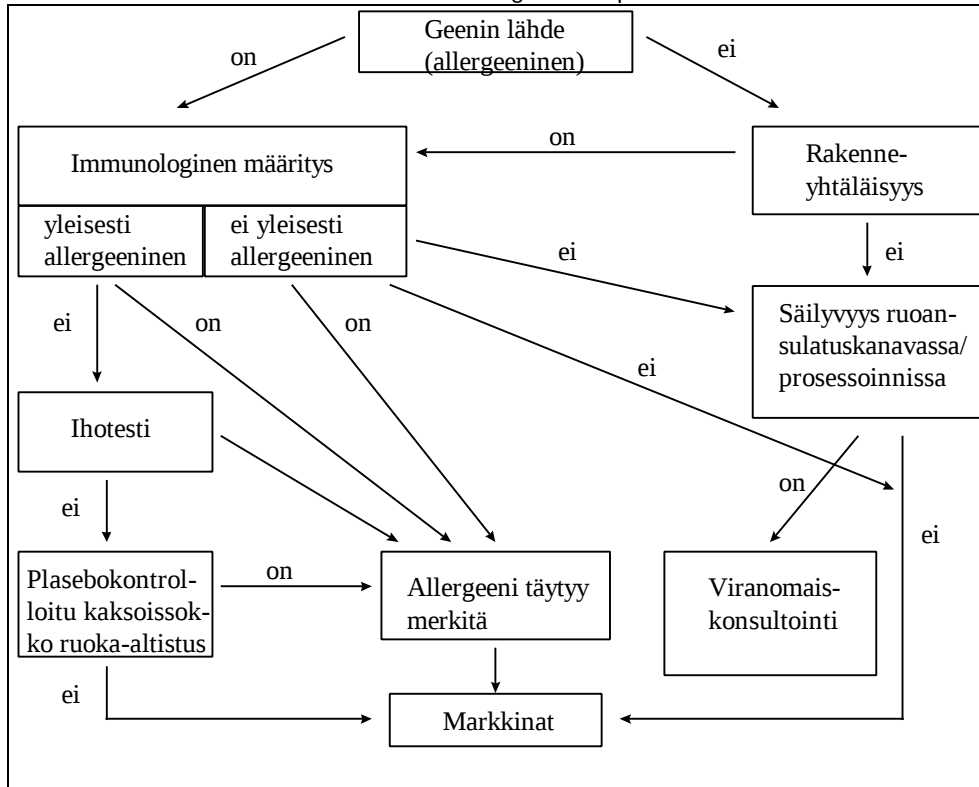
Samalla tämä tutkimus osoitti, että laboratoriotutkimukset ovat välttämättömiä ja myös varsin luotettavia tunnettujen allergeenien määrittämisessä. Esimerkiksi vasta-aineseerumien käyttö on nopea menetelmä, mutta sitäkin voidaan käyttää vain tunnettujen allergeenien etsimiseen. Kokonaan uusien allergeenien etsinnässä on sen sijaan käytettävä muita menetelmiä. Tällöin ei ole enää kyse geeninsiirtojen aiheuttamista terveysvaikutuksista sinänsä, sillä lähes kaikki uudet ruoka-aineet saattavat aiheuttaa allergisia reaktioita joissakin henkilöissä.

Kuvan 3.1 kaavio havainnollistaa siirtogeenisistä kasveista valmistettujen elintarvikkeiden allergeenisen potentiaalin arviointia.¹⁵⁶ Jos geeni on peräisin allergeenisestä lähteestä, elintarvike joutuu tarkkoihin tutkimuksiin, joihin kuuluvat muun muassa erilaiset immunologiset kokeet sekä ihotestit ja ruoka-altistuskokeet ihmisillä. Kokeiden tulosten perusteella päätetään, onko elintarvikkeeseen liitettävä merkintää mahdollisesta allergialle herkistämisestä ja voidaanko sitä ylipäätään päästää markkinoille. Jos geenin lähde ei ole tunnetusti allergiaa aiheuttava, turvallisuudesta varmistutaan muun muassa vertaamalla valkuaisaineiden rakenteita ja määrittämällä näiden sulavuus ruoansulatuskanavassa. Myös niissä tapauksissa, joissa siirron kohteena oleva kasvi tunnetaan allergiaa aiheuttavaksi, on GMO-elintarvikkeen allergeenisuus selvitettävä.

¹⁵⁴ Nordlee et al. (1996).

¹⁵⁵ Engl. "Brazil nut".

¹⁵⁶ Metcalfe et al. (1996).

Kuva 3.1 Suositus GMO-elintarvikkeiden allergeenisen potentiaalin määrittämiseksi¹⁵⁷

Kansainvälisten järjestöjen (mm. FAO, ILSI, OECD, WHO ja Pohjoismaisen Neuvoston asiantuntijaryhmä) näkemyksen mukaan huolellisella ja asianmukaisella testauksella voidaan varmistautua siitä, että tunnettuja allergeeneja ei siirry hallitsemattomasti GMO-elintarvikkeisiin. Samalla ne kehottavat välttämään tunnettujen allergeeneja sisältävien organismien käyttöä geenilähteinä.

ANTIBIOOTTIRESISTENSSI

Antibiootit ovat elävien organismien tuottamia yhdisteitä, jotka estävät mikrobien, etenkin bakteerien kasvua tai tappavat niitä. Antibiootteja on 1950-luvulta lähtien käytetty menestyksellisesti monien infektioautien hoidossa. Kuitenkin monet tautia aiheuttavat bakteerit ovat kehittäneet vastustuskyvyn (antibioottiresistenssin) useita antibiootteja vastaan, minkä seurauksena antibiootit ovat menettäneet käyttökelpoisuuttaan lääkehoidossa. Bakteeri kestää jotakin antibioottia, mikäli sillä on

¹⁵⁷ Metcalfe et al. (1996). Kaavion ovat esittäneet *International Food Biotechnology Council* (IFBC), *International Life Sciences Institute* (ILSI) ja *Allergy and Immunology Institute* (AII).

antibioottiresistenssigeeni, jonka toiminta heikentää tai estää kyseisen antibiootin tehovaikutuksen.¹⁵⁸

Etenkin sairaala- ja eläinlääkintäympäristöissä monet bakteerit ovat jo kehittyneet antibiootteja kestäviksi, mihin merkittävänä syynä on sairaalahoidoissa ja karjan kasvun nopeuttamisessa käytettyjen antibioottien aiheuttama valintapaine. Resistenssin kehittyminen havaittiin varsin pian antibioottien käyttöönoton jälkeen 1950-luvulla:¹⁵⁹ niinpä esimerkiksi Japanissa punatautibakteerin (*Shigella*) kestävyys alkoi nousta 5-7 vuotta streptomysiinin, kanamysiinin ja tetrasykliinin käytön alkamisen jälkeen, ja vuoteen 1967 mennessä oli saavutettu 60-70 % resistenssitaso. Myöhempinä vuosina tehdyt analyysit ovat osoittaneet, että bakteerien antibioottiresistenssigeenit ovat levinneet kaikkialle maailmassa, ja samalle antibiootille voi olla olemassa useita resistenssigeenejä. Näiden leviämistä edistävät luonnossa esiintyvät liikkuvat DNA-elementit kuten *R*-plasmidit¹⁶⁰ sekä kromosomeissa esiintyvät ns. transposonit ja geenikasetit.¹⁶¹

Kasvigeenitekniikassa käytetään apuna ns. merkkigeenejä, jotka helpottava geenin siirtämistä ja siirtogeenisten kasviyksilöiden valintaa. Merkkigeeneistä tavallisimpia ovat eräät antibioottiresistenssigeenit (kanamysiini, neomysiini ja hygromysiini). Toisinaan geenitekniikalla muunnetuissa kasveissa voi olla mukana myös ampisilliiniresistenssiä¹⁶² koodaava geeni.¹⁶³

Antibioottiresistenssigeenien käyttö nostaa esille kysymyksen siitä, missä määrin nämä geenit saattaisivat lisätä ihmisen elimistössä olevien bakteerien antibioottiresistenssiä ja siten mahdollisesti vähentää lääkehoidon yhteydessä annettavien antibioottien tehoa. On esitetty, että näin saattaisi periaatteessa käydä kahden eri tapahtumakulun tuloksena:

1. Antibioottiresistenssigeeni voisi siirtyä suolistobakteereihin, joiden keskuudessa se voisi lisääntyä sekä mahdollisesti levitä myös muihin elimistön mikro-organismeihin.
2. Antibioottiresistenssigeeni voisi siirtyä hajoavan siirtogeenisen kasvin juurista maabakteereihin, joista se aikanaan voisi kulkeutua edelleen ihmisravintoon.

Antibioottikysymyksen arviointi on perusteltua: jos siirtogeenisten kasvien viljely laajenee, niin ravinto saattaisi sisältää enemmän antibioottiresistenssiä tuottavia geenejä.

¹⁵⁸ Ks. Levy (1998).

¹⁵⁹ Mitsuhashi (1977).

¹⁶⁰ *R*-plasmidit ovat kromosomin ulkopuolisia rengasmaisia DNA-rakenteita, joissa antibioottiresistenssigeenit sijaitsevat; ks. liite 1.

¹⁶¹ Smalla et al. (1997).

¹⁶² Ampisilliini on penisilliiniperheeseen kuuluvat antibiootti.

¹⁶³ Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

Tieteellisten asiantuntijaryhmien yleinen näkemys on, että antibioottiresistenssin käyttö geeninsiirron apuna ei aiheuta varteenotettavia terveysongelmia.¹⁶⁴ Näkemys perustuu seuraaviin havaintoihin:¹⁶⁵

- Kasvigeenitekniikassa käytettävät antibioottiresistenssigeenit ovat erittäin yleisiä, joten niiden määrä ei lisäännä olennaisesti vaikka niitä käytetäänkin geeninsiirroissa. Esimerkiksi Novartiksen *Bt* 176-maissin sisältämä *bla*-ampisilliiniresistenssigeeni on noin joka toisessa kolibakteerissa, joten ihmisen päivittäisen ulosteen noin 5-50 miljardista kolibakteerista puolet sisältää *bla*-geenin.
- Todennäköisyys ruoka-aineessa olevan geenin siirtymisestä suoliston bakteereihin on häviävän pieni, enintään noin yksi miljoonassa miljardissa, ja antibioottiresistenssigeenin siirtymisen mahdollisuutta alentaa edelleen se, että se on vain yksi kasvin DNA:ssa olevista geeneistä, joita esimerkiksi maissilla on noin 40 000. Toisaalta vaikka siirtymä tapahtuisikin, ei antibioottiresistenssigeenin saaneilla soluilla ole terveen ihmisen elimistössä sellaista etua, jonka tuloksena ne voisivat lisääntyä muita bakteereja nopeammin tai edesauttaa geenin horisontaalista leviämistä muihin bakteereihin.¹⁶⁶
- Antibioottiresistenssigeenin mahdollisuudet siirtyä bakteereihin suoliston epiteelisolujen kautta ovat biologisesti merkityksettömät, koska korkeampien eläinten solut kestävät jo sellaisenaan käytettyjä antibiootteja (minkä ansiosta bakteeri-infektiota voidaan hoitaa antibiooteilla) ja koska suoliston solujen ikä on lyhyt.¹⁶⁷
- Geenitekniikassa käytetyt antibioottiresistenssigeenit ovat peräisin maabakteereista, joiden keskuudessa antibioottiresistenttejä bakteerikantoja esiintyy runsaasti. Näin ollen antibioottiresistenssigeenin siirtyminen maabakteereihin - jota ei tähän mennessä ole tutkimuksissa voitu osoittaa - ei tapahtuessaankaan lisäisi maaperän bakteerien antibioottiresistenssiä.

Antibioottiresistenssin yleisyyden muuttumista koskevia hypoteeseja on erittäin vaikea tutkia. Yhtenä ongelmana on suolistobakteerien luonnollinen, jo valmiiksi korkea antibioottiresistenssitaso, joka tekee muutosten havaitsemisen käytännössä mahdottomaksi.¹⁶⁸ Niinpä kokeellisia tutkimuksia antibioottiresistenssin mahdollisesta siirtymisestä kasvimateriaalista eläinten suolistomikrobeihin, eläimiin tai ihmisiin ei tiettävästi ole.

Flavr Savr®- tomaatin markkinointilupa-anomuksen yhteydessä tehtiin seuraavia laskennallisia arvioita kanamysiiniantibioottiresistenssin siirtymisestä suolistobakteereihin.¹⁶⁹

¹⁶⁴ Ks. esim. FAO/WHO (1991), WHO (1993), Kärenlampi (1996), Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

¹⁶⁵ OPECST (1998).

¹⁶⁶ OPECST (1998).

¹⁶⁷ Redenbaugh et al. (1993).

¹⁶⁸ Mitten (1996).

¹⁶⁹ Redenbaugh et al. (1994).

Jos ihminen söisi 100 g Flav'r Savr®-tomaatteja päivässä, hänen suolistobakteeriensa kanamysiiniresistenssi saattaisi enimmillään lisääntyä 0,00000000000026 %; ja jos ihminen söisi näitä tomaatteja 10 kg päivässä, vastaava lisäys olisi 0,000000000026 %, millä ei edelleenkään olisi merkitystä. Nämä arviot perustuivat ns. pahinta mahdollista tapausta koskeviin oletuksiin ("worst-case"), jossa 1) kaikki suoliston bakteerien pystyvät ottamaan DNA:ta soluihinsa, 2) kanamysiiniresistenssiä koodaava DNA ei hajoa ruoansulatuskanavassa ja 3) kaikki bakteerisoluihin siirtyneet kanamysiiniresistenssigeenit myös toimivat siellä.¹⁷⁰

Antibioottiresistenssiongelman merkitystä vähentää sekin, että kanamysiiniä ja neomysiiniä - jotka ovat yleisiä merkkigeenejä - ei käytetä juuri lainkaan suun kautta annettavissa antibiootihoidoissa. Näiden vielä sairauksien hoitokäytössä oleva sukulaisantibiootti, amikasiini, hajoaa kanamysiiniresistenssigeenin tuottaman valkuaisaineen tuloksena erittäin hitaasti. Koska elimistössä vallitsee jatkuva valintapaine, antibiootti jouduttaisiin vaihtamaan toiseen vain sellaisessa harvinaisessa tapauksessa, että henkilö saa antibioottilihoa tautibakteereja vastaan, joihin tämän antibiootin resistenssigeeni siirtyisi hoidon aikana syödyistä siirtogeenisistä kasvista.¹⁷¹

Vaikka asiantuntijat eivät olekaan nähneet terveystarkoituksiin perustuvia esteitä antibioottiresistenssigeenien käytölle, niin ko. geenien vähentämistä on kuitenkin kannatettu.¹⁷² Syinä ovat olleet yhtäältä kuluttajien varauksellisuus antibioottiresistenssiä kohtaan sekä toisaalta se, että resistenssigeenin jättäminen kasviin estää saman geenin hyödyntämisen uudelleen, mikäli lajiketta halutaan geenitekniikalla edelleen kehittää: jos lajikkeessa on käytetty antibioottiresistenssigeeniä, ei tätä samaa geeniä voida seuraavan geeninsiirron yhteydessä käyttää merkkigeeninä, koska kaikki geeninsiirtoyrityksen tuloksena saatavat kasviyksilöt kestävät antibioottia riippumatta siitä, onko geeninsiirto onnistunut vai ei.

Kasvigeenitekniikassa voidaan pyrkiä eroon antibioottiresistenssigeenien käytöstä muun muassa siten, että merkkigeeninä käytetään muita geenejä, esimerkiksi herbisidiresistenssigeenejä, tai että antibioottiresistenssigeenit poistetaan kasvista siirron jälkeen. Merkkigeenin poisto voitaisiin tehdä joko 1) siirtämällä merkkigeeni ja halutun ominaisuuden antava geeni erikseen, tai 2) leikkaamalla merkkigeeni pois myöhemmin molekyylibiologisin keinoin. Molemmat menettelyt ovat kuitenkin verraten hankalia eivätkä ne ole lyhyellä tähtäimellä käytettävissä.¹⁷³

¹⁷⁰ Redenbaugh et al. (1993), Mitten et al. (1996).

¹⁷¹ Redenbaugh et al. (1993), Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

¹⁷² Yoder ja Goldsbrough (1994), Ebinuma et al. (1997), Franck-Oberaspach.

¹⁷³ OPECST (1998).

TOKSIINIT SIIRTOGEENISISSÄ KASVEISSA

Toksiinit ovat elävien solujen myrkyllisiä yhdisteitä, joiden aiheuttama reaktio elimistössä riippuu yhdisteen myrkyllisyydestä, kerta-annoksen suuruudesta sekä altistuskertojen lukumäärästä ja näiden ajallisesta jaksottumisesta. Toksiinien tunnistamisen kannalta ongelmallisimpia ovat yhdisteet, jotka eivät pieninä kerta-annoksina johda havaittaviin reaktioihin, mutta joiden kohdalla toistuva altistuminen johtaa kumuloituviin terveyshaittoihin.¹⁷⁴

Siirtogeeninen kasvi tuottaa toksista yhdistettä, mikäli siihen on siirretty ko. yhdistettä koodaava geeni. Hyönteisresistenssijalostus perustuu juuri tähän, koska sen tuloksena kasvit puolustautuvat tuottamalla yhdisteitä, jotka ovat hyönteisille myrkyllisiä (vrt. luku 1 ja *Bt*-toksiinit luvussa 4).

Elintarvikekäyttöön tarkoitettuihin kasveihin ei siirretä sellaisia geenejä, jotka tuottavat ihmiselle tunnetusti myrkyllisiä yhdisteitä. Tunnettujen toksiinien eliminointi on ylipäätään helpompaa, sillä lupa- ja valvontamenettelyiden kuluessa ne ovat helpommin tunnistettavissa.

Kasviin tehty geeninsiirto saattaisi aiheuttaa toksisia terveyshaittoja seuraavilla tavoilla:

1. *Geeninsiirto voisi nostaa ravintokasveissa luonnostaan esiintyvien toksiinien pitoisuutta.* Esimerkkejä toksiineja sisältävistä ravintokasveista ovat muun muassa peruna ja tomaatti, jotka kuuluvat solaniini- ja tomatiini-nimisiä alkaloideja sisältäviin koisokasveihin. Viljeltäviä peruna- ja tomaattilajikkeita jalostettaessa näiden myrkyllisten alkaloidien pitoisuus pidetään alhaisena. Myös monet ravintona käytetyt palkokasvit sisältävät luonnostaan myrkyllisiä yhdisteitä, muun muassa alkaloideja, myrkyllisiä vapaita aminohappoja, sinihappoa tuottavia yhdisteitä ja verta sakkauttavia nk. lektiinejä¹⁷⁵. Nämä myrkylliset yhdisteet häviävät perinteisiä ruoanvalmistustapoja käytettäessä, joita suositellaan edelleen noudatettavaksi palkokasveja käytettäessä.¹⁷⁶

On ajateltavissa, että geeninsiirron tuloksena kasvi tuottaisi siinä normaalisti esiintyvää toksista yhdistettä aiempaa enemmän. Tällaiset tapaukset voidaan kuitenkin helposti tunnistaa kasvinjalostuksen valintavaiheen aikana, eivätkä ne aiheuta

¹⁷⁴ OPECST (1998).

¹⁷⁵ Elokuun 1998 puolivälissä Suomessa julkisuutta saivat osakseen prof. Puztain *Rowett Research Institute*ssa tekemät rottakokeet. Kokeissa rotat söivät siirtogeenisiä perunoita, joihin oli siirretty lektiinejä tuottavia geenejä. Tällöin rottien kasvu hidastui ja niiden vastustuskyky aleni. Prof. Puztain kokeiden perusteella ei kuitenkaan voida tehdä sitä johtopäätöstä, että geenitekniikalla muunnetuista kasveista valmistetut elintarvikkeet olisi testattava nykyistä huolellisemmin, koska lektiinien on jo kauan tiedetty aiheuttavan rotilla kasvun ja vastustuskyvyn häiriöitä. Prof. Puztai on sittemmin vapautettu tutkijantehtävistään.

¹⁷⁶ Ks. Rousi (1997).

perinteisen kasvinjalostuksesta poikkeavaa terveysriskiä. Käyttöön hyväksytyjen siirtogeenisten kasvilajikkeiden ei tähän mennessä ole ilmoitettu sisältävän normaalia korkeampia toksiinipitoisuuksia; kyseeseen tulevat lähinnä tomaatti, peruna- ja hernelajikkeet.

Flavr Savr®-tomaattia koskevassa tutkimuksessa seurattiin kolmen geenitekniikalla muunnetun tomaattilajikkeen ja neljän käytössä olevan tomaattilajikkeen toksiinipitoisuuksia tomaattien kypsyessä vihreästä punaiseen vaiheeseen.¹⁷⁷ Kaikilla lajikkeilla vihreistä tomaateista löydettiin tomatiini-toksiinia keskimäärin saman verran (< 10 mg/100 g), ja kaikilla lajikkeilla sen pitoisuus aleni nollaan yhtä nopeasti. Solaniinipitoisuuksista ei esitetty tarkkoja lukuarvoja, mutta solaniinipitoisuuksien todettiin olevan kypsissä tomaateissa huomattavasti alhaisempia kuin tavallisissa tomaattilajikkeissa (8-20 mg/100 mg).

2. *Siirrettyjen geenien tuottamat valkuaisaineet voisivat osoittautua myrkyllisiksi korkeammille eläimille.* Näin olisi esimerkiksi silloin, jos *Bt*-toksiinit - jotka ovat hyönteisille myrkyllisiä - olisivat myrkyllisiä myös nisäkkäille. Tätä mahdollisuutta on tutkittu mm. tomaatilla, johon on siirretty *Bt*-toksiinia koodaava geeni (*Bacillus thuringiensis*-bakteerin endotoksiini) ja kanamysiiniresistenssigeeni. Eläinkokeissa ja laboratoriokokeissa jyräsiidien, rhesus-äpimaiden ja ihmisten soluilla ei ollut kykyä vastaanottaa *Bt*-toksiinia, ja kun tomaattia annettiin lyhytaikaisesti suurina määrinä kaneille ja rotille, ei sillä ollut näihin haitallisia vaikutuksia. Myöskään kolmen kuukauden syöttökokeissa *Bt*-toksiinin ei voitu osoittaa aiheuttavan haitallisia vaikutuksia eläimillä.¹⁷⁸ Vastaavanlaiset kokeet on tehty samoin tuloksin myös koleradokuoriaisen kestäväällä perunalla, johon on siirretty *Bt*-toksiinia ja kanamysiiniä koodaavat geenit.¹⁷⁹

Tähän mennessä ei tiettävästi ole julkaistu tuloksia, joissa siirtogeenisessä kasvissa siirtogeenin tuottama valkuaisaine olisi osoittautunut imettäväisille toksiseksi.

3. *Piilevä toksiinien mudostuminen voisi alkaa geeninsiirron seurauksena.* On ajateltavissa, että myrkyllisen yhdisteen tuottoa ohjaava geeni ei ole ravintokasvissa aktiivinen (so. geeni on "sammunut"), mutta alkaa toimia geeninsiirron tuloksena, jonka seurauksena yhdisteen tuotanto alkaa.¹⁸⁰

¹⁷⁷ Redenbaugh et al. (1992).

¹⁷⁸ Noteborn ja Kuiper (1995).

¹⁷⁹ Fuchs et al. (1995).

¹⁸⁰ Ks. <<http://www.ucsusa.org/agriculture/gen.risks.health.htm>>.

Vaikka geeninsiirron tuloksena tapahtuvaa toksiinin ennakoiomatonta muodostumista ei voidakaan pitää mahdottomana, on se tieteellisen tutkimuksen valossa varsin epätodennäköistä. Näin siksi, että tähän mennessä tällaisia toksiineja ei ole siirtogeenisissä kasveissa havaittu, ja toisaalta tällaisia yhdisteitä pitäisi ilmetä myös perinteisen kasvinjalostuksen menetelmin jalostetuissa kasveissa, mikäli toksiinien syntyä koskevat oletukset pitävät paikkansa.

Valvonnan kannalta tunnettujen yhdisteiden - kuten esimerkiksi kasviin siirretyn geenin koodaama valkuaisaine - hallinta on verraten yksioikoista: tarvittavat kokeet ovat verraten helposti suunniteltavissa ja toteutettavissa, koska toksiseksi epäilty yhdiste (so. siirretyn geenin koodaama valkuaisaine) tunnetaan tarkasti. Tilanne on monimutkaisempi silloin, jos ei ole olemassa perusteltuja oletuksia siitä, mikä kasvissa esiintyvä yhdiste saattaisi toksisuuden aiheuttaa. Tässä mielessä em. jäsentelyn kolmas tapaus on vaikeimmin valvottavissa.

ENNAKOIMATTOMAT SEKUNDÄÄRIVAIKUTUKSET¹⁸¹

Geeninsiirron jälkeen ilmeneviä ennakoiattomia tapahtumia kutsutaan sekundäärivaikutuksiksi. Yleensä näitä vaikutuksia ei voida ennustaa, koska ne eivät johdu siirrettävästä geenin tuottamasta valkuaisaineesta sinänsä tai koska valkuaisaineen ei ole ennen geenin siirtoa tiedetty aiheuttavan sivuvaikutuksia. Geeninsiirtoihin liittyvät sekundäärivaikutukset johtuvat siitä, että geeniä siirrettäessä ei etukäteen voida tietää, mihin kohtaan kasvin perimää se asettuu; näin samankin geenin vastaanottaneet kasvit voivat erota toisistaan paljonkin. Syitä voivat olla 1) geenien erilainen sijainti kasvien perimässä, 2) erot siirrettyjen geenien lukumäärässä, 3) geenin toiminnan aiheuttamat riippuvuudet eri ominaisuuksien välillä (pleiotropia), 4) solukkoviljelyvaiheiden tai uuden geenin paikan aiheuttamat mutaatiot sekä 5) ympäristövaikutukset.

Siirretyn geenin ympäristö (so. se paikka, johon se perimässä sijoittuu) voi vaikuttaa merkittävästi niin geenin toimintaan kuin kasvin ilmiasuunkin. On mahdollista, että geeninsiirto sammuttaa tai tuhoaa kasvissa entuudestaan olevia geenejä, ja siirto voi myös aktivoida sellaisia geenejä toimintaan, jotka eivät aikaisemmin ole olleet toiminnassa. Näin geeninsiirtoon sisältyy periaatteessa mahdollisuus siitä, että se aktivoi sellaisia haitallisia aineenvaihduntareittejä toimimaan, joihin liittyvät geenit ovat normaalisti sammuneina siirron kohteena olevassa kasvissa: tätä mahdollisuutta mm. WHO on pitänyt siirtogeenisten kasvien merkittävimpana terveysriskinä.

¹⁸¹ Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

Pleiotrooppisia vaikutuksia syntyy silloin, kun geenin toimintaan liittyy useampia samanaikaisia ominaisuuksia kasvin ilmiössä. Tällaisia vaikutuksia ilmeni esimerkiksi vuosina 1969-70 USA:ssa viljellyssä hedesteriilissä maississa. *T-urf13*-geenin toiminnan tuloksena hedelmöittämiskelpoisen siitöspölyn muodostuminen estyi, joten hedekukintoja ei tarvinnut poistaa mekaanisesti. Saman geenin toiminnan vuoksi maissi menetti kuitenkin samalla kestävyytensä erästä tautia vastaan¹⁸², joka levisi maissikasvustossa epidemianomaisesti.

Pleiotropia on jalostuksen piirissä kauan tunnettu ja hyödynnetty ilmiö, joskin pleiotrooppisten vaikutusten ennakointi ja niiden geneettisen perustan selittäminen on vaikeaa. Kuten em. maissiesimerkki osoittaa, tällaiset vaikutukset eivät liity pelkästään geenitekniikkaan. Tutkijoiden keskuudessa on erilaisia käsityksiä siitä, lisääkö geenien siirto menetelmänä pleiotrooppisten ilmiöiden mahdollisuutta.

Jos geeninsiirron tuloksena syntyvät muutokset - niin suoranaisesti geenin toimintaan liittyvät kuin sekundäärivaikutuksetkin - ovat pysyviä, ne voidaan hallita käyttämällä samoja valintamenetelmiä ja lajikearviointeja kuin perinteisessä jalostuksessa. Käytännössä jalostaja havaitsee ja poistaa useimmat, ei-toivottuja muutoksia ilmentävät kasvit¹⁸³ ennen kaupallista viljelyä. Häiritsevämpää jalostajan kannalta on siirtogeenisissä kasveissa esiintyvä geenin pysymättömyys tai toiminnan pysähtyminen, joka johtaa uuden ominaisuuden häviämiseen.¹⁸⁴ Siirtogeenisten kasvien arvioinnissa OECD:n (1993) ja WHO:n (1995) asiantuntijaryhmät ovat suositelleet sovellettavaksi ns. *olennaisen vastaavuuden periaatetta*. Ongelmallista voi olla se, että kasviyksilöiden ulkopuolinen tarkastelu ja yksittäisten biokemiallisten suureiden määrittäminen ja vertailu perinteiseen kasviin ei välttämättä tuo esille kaikkia pieniä mahdollisia muutoksia.

Ennakoimattomia sekundäärivaikutuksia ei tähän astisten tutkimustulosten valossa pidetä merkittävänä terveysriskinä, koska 1) yhtään tieteellistä julkaisua geeninsiirron terveydelle haitallisista sekundäärivaikutuksista ei tiettävästi ole esitetty ja koska 2) tällaisten vaikutusten katsotaan tulevan esille olennaisen vastaavuuden periaatteiden mukaisessa turvallisuusarvioinnissa (ks. alla).¹⁸⁵

¹⁸² Engl. "southern corn leaf blight", jonka aiheuttajana oli *Bipolar maydis*.

¹⁸³ Syinä ei-toivottuihin muutoksiin voivat olla muun muassa geenin paikka, lukumäärä kasvin perimässä sekä solukkoviljelyn aikaiset mutaatiot.

¹⁸⁴ Kärenlampi (1996).

¹⁸⁵ Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

ELINTARVIKETURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN

On olemassa laaja yksimielisyys siitä, että siirtogeenisten kasvien käyttö elintarvikkeina edellyttää tarkoituksenmukaista erityissääntelyä, jonka tehtävänä on turvata markkinoille tulevien elintarvikkeiden turvallisuus. Seuraavassa esitetään muutamia huomioita turvallisuuden arvioinnista; sääntely- ja valvontakäytännön rakennetta on käsitelty lähemmin luvussa 7.

Siirtogeenisten kasvien turvallisuuden arviointi perustuu ns. *olennaisen vastaavuuden periaatteeseen*. Periaatteen mukaan yleisesti turvallisina pidetyt¹⁸⁶ ja elintarvikkeina jo käytössä olevat kasvit tarjoavat vertailukohdan, jonka perusteella päätelmiä siirtogeenisten kasvien elintarviketurvallisuudesta voidaan tehdä. Periaatteen soveltaminen edellyttää, että jo käytössä olevien kasvien ravinnekoostumus tunnetaan. Käytännössä esimerkiksi ympäristöolosuhteet sekä kasvilajikkeiden ja -yksilöiden välisten erot aiheuttavat ravinnekoostumuksessa pieniä eroja.

Olennaisen vastaavuuden arviointi tehdään vertaamalla uuden ja perinteisen elintarvikkeen ravitsemuksellista koostumusta ja toksisten yhdisteiden pitoisuuksia. Analyysissä keskitytään kriittisiin yhdisteisiin, joilla on merkitystä kokonaisruokavaliossa. Näitä ovat pääravintoaineet (hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit) tai hivenaineet kuten vitamiinit ja kivennäisaineet. Arvioitavaksi tulevat myös muutokset luonnollisten toksisten yhdisteiden, esimerkiksi alkaloidien tai lektiinien pitoisuuksissa. Valtaosa toksikologeista on sitä mieltä, että geeninsiirron mahdollisesti aiheuttamat toksiset sekundäärivaikutukset (so. muut kuin siirretyn geenin toiminnasta johtuvat vaikutukset) voidaan tällä tavalla havaita. Edellytyksenä seuraaviin arviointivaiheisiin siirtymiselle on, että siirtogeeninen kasvi on analyysien nojalla olennaisesti samankaltainen vastaavan turvallisena pidetyn ei-siirtogeenisen kasvin kanssa.

Jos siirtogeenisestä kasvista valmistettu elintarviketuote ei sisällä kasviin siirretyn geenin tuottamaa valkuaisainetta, lisätutkimuksia ei yleensä edellytetä. Jos tuote sen sijaan sisältää siirretyn geenin tuottamaa valkuaisainetta, on tämän turvallisuus varmistettava, joko 1) osoittamalla normaalin ravinnon sisältävän valkuaisainetta vastaavina määrinä tai, ellei näin ole, 2) tekemällä tarvittavat toksisia riskejä ja valkuaisaineen hajoamista koskevat tutkimukset. Olennaiseen vastaavuuteen päätyminen edellyttää myös, että siirtogeenisistä kasveista valmistettua tuotetta ei käytetä eri tavoin tai eri suuruisina määrinä kuin tavanomaista elintarviketta.¹⁸⁷

¹⁸⁶ Engl. lyhenne GRAS, "generally regarded as safe".

¹⁸⁷ Franck-Oberaspach ja Keller (1996).

Olennaisen vastaavuuden periaatteiden mukaista arviointia on sovellettu USA:ssa muun muassa Flavr Savr®-tomaattiin. EU:ssa periaatetta on käytetty arvioitaessa prosessoituja maissituotteita ja rapsiöljyjä uuselintarvikeasetuksen ilmoitusmenettelyn mukaisesti. Prosessoidut tuotteet on valmistettu siirtogeenisistä kasveista ja niiden on todettu vastaavan perinteisiä markkinoilla olevia tuotteita.

Tähän mennessä ei ole julkaistu poikkeamia toksiini- tai allergeenikoostumuksessa niiden geeniteknikalla muunnettujen kasvien osalta, joille markkinointilupaa on haettu. Useimmiten markkinointivaiheeseen tulevat kasvit ovat kuitenkin yksityisten yritysten kehittämisiä, joten yksityiskohtaisia tuloksia ei mielellään julkisteta. Todella perusteelliset tulokset on julkaistu vain Flavr Savr®-tomaatin ravintoarvo- ja toksisuustutkimuksista.¹⁸⁸

Kansainvälisten yhteisöjen (mm. FAO, ILSI, OECD, WHO ja Pohjoismaisen Neuvoston asiantuntijaryhmä) keskuudessa siirtogeenisten kasvien elintarvikekäytön turvallisuutta on pohdittu laajasti. Yhteisöt ovat antaneet muun muassa seuraavia ohjeita:¹⁸⁹

1. Turvallisuusarvioinnin yleisiä vaatimuksia ovat:
 - Geeniteknikalla muunnettavat kasvit ja geenilähteet on tunnettava sukulaisuussuhteiltaan ja perimältään.
 - Siirrettävä perinnöllinen materiaali on tunnettava hyvin eikä se saa koodata haitallisia yhdisteitä. Muunnetun elintarvikekasvin tulee olla perinnöllisesti pysyvä.
 - Siirtovektorit tulee muokata niin, että mahdollinen myöhäisempi siirtyminen toisiin organismeihin minimoituu.
 - Muunnettu kasvi ei saa tuottaa yhdisteitä, jotka ovat myrkyllisiä niinä pitoisuuksina, joissa ne esiintyvät lopullisessa elintarvikkeessa.
2. Asianmukaiset toksisuusmääritykset on tehtävä, jos uudella kasviin tuotetulla ainesosalla ei ole aikaisempaa turvallista elintarvikekäyttöä.
3. Elintarvikkeen käyttönoton jälkeen on syytä järjestää jälkiseuranta sellaisten ongelmien varalta, jotka eivät tule ilmi perinteisillä toksisuusmäärityksillä.
4. Olennaisen vastaavuuden periaate on turvallisuuden arvioinnissa keskeinen, kun uutta, geeniteknikalla muunnettua elintarviketta (tai sen ainesosaa) verrataan olemassa olevaan elintarvikkeeseen (ainesosaan):
 - Olennaisessa vastaavuudessa osoitetaan, että GMO-elintarvikkeen ominaisuudet ovat samanlaiset kuin jo olemassa olevan elintarvikkeen.
 - Olennaisen vastaavuuden arviointi perustuu kasvin ilmiäisun tarkasteluun ja tärkeimpien ravintoaineiden ja toksiinien määrittämiseen. Kasvin koostumuksen laajaa määrittämistä tulee harkita, mikäli kasvin muut ominaisuudet

¹⁸⁸ Redenbaugh et al. (1992).

¹⁸⁹ FAO/WHO (1991, 1996), WHO (1995), Kärenlampi (1996), Ockhuizen (1996).

viittavat siihen, että geenitekniinen muunnos on saattanut aiheuttaa ennakoimattomia muutoksia.

- Kun olennainen vastaavuus on osoitettu muilta kuin tietyiltä osin, turvallisuuden arvioinnissa voidaan keskittyä eroavaisuuksiin. Jos näissä todetaan mahdollisia huolenaiheita, lisäkokeita on tehtävä laboratoriossa eläimillä.
 - Olennainen vastaavuus antaa yhtä hyvän tai paremman varmuuden elintarvikkeiden turvallisuudesta verrattuna perinteisten elintarvikkeiden turvallisuuteen.
 - Vaikka olennaista vastaavuutta ei voida osoittaa, ei elintarvike silti ole välttämättä vaarallinen. Elintarvikkeen luonteesta riippuen turvallisuuden arviointi voidaan tehdä tapauskohtaisesti, ja myös ihmisillä tehtäviä ravitsemuskokeita voidaan joutua tekemään, varsinkin jos uusi elintarvike on ajateltu korvaamaan suuren osan ravinnosta.
5. Geenitekniikalla muunnettujen kasvien mahdollinen allergeenisuus on testattava, ja geenien siirtämistä allergeenejä sisältävistä lähteistä tulisi välttää.
 6. Geenin siirtyminen geenitekniikalla muunnetuista kasveista ihmisiin tai ruoansulatuskanavan mikro-organismeihin on äärimmäisen epätodennäköistä, joten geenin siirtymistä koskevat määritykset ovat tarpeellisia vain, jos geeni voisi siirryttyään haitata terveydenhoidollisia toimenpiteitä.

4. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Ekologian, biologian ja perinteisen kasvinjalostuksen parista saatu kokemus antaa pohjaa kasvigeenitekniikan ympäristövaikutusten arvioinnille.

1. Siirtogeenisten kasvien ympäristövaikutuksiin liittyy epävarmuuksia, koska niiden laajamittaisesta viljelystä on kokemuksia vasta lyhyeltä ajalta. Myönteisenä vaikutuksena hyönteisresistenttien kasvien viljelyn on todettu vähentävän kemiallisten torjunta-aineiden käyttöä. Mahdollisista ympäristöhaitoista tärkeimpinä pidetään siirtogeenisten kasvien esiintymistä rikkakasveina, siirtogeenisten kasvien risteytymistä villien sukulaistensa kanssa ja torjunta-aineita kestävien kasvien tai hyönteisten kehittymistä.
2. Ympäristövaikutukset perustuvat siihen, miten siirretyt ominaisuudet muuttavat kasvin kykyä selvitä luonnon valintapaineessa ja miten nämä ominaisuudet vaikuttaisivat silloin, jos niitä vastaavat geenit leviäisivät luontoon esimerkiksi villilajien kanssa tapahtuvien risteytymisten kautta. Näistä lähtökohdista ympäristöriskejä voidaan jossain määrin ennakoida, mutta siirtogeenisten kasvien laaja-alaisen pitkäaikaisviljelyn vaikutusten ymmärtäminen edellyttää silti vielä monitieteistä tutkimusta, joka - toisin kuin tähän mennessä tehdyt kenttäkokeet - tähtää nimenomaan ekologisten riskien arviointiin.
3. Suomessa geenien siirtymistä villikasveihin rajoittaa se, että useimmat maatalouskasvit eivät menesty täällä luonnossa eikä niillä myöskään ole luonnossa lähisukulaisia, joiden kanssa ne voisivat risteytyä. Tärkeimpiä poikkeuksia ovat 1) rypsi, joka esiintyy eräillä muilla viljelmillä rikkakasvina sekä 2) hukkakaura, jota on pyritty pitämään kurissa mekaanisin toimenpitein ja torjunta-aineiden käytöllä.
4. *Bacillus thuringiensis*-bakteerin tokssiineja tuottavien geenien siirto on tällä hetkellä yleisin tapa hyönteisresistenttien kasvien jalostamiseksi. *Bt*-toksiineja tuottavien kasvien viljely voi ajan mittaan johtaa *Bt*-toksiineja kestävien hyönteiskantojen kehittymiseen. Puhdistettuja *Bt*-toksiineja käytetään tällä hetkellä ulkoisesti ruiskutettavina hyönteisten torjunta-aineina, joten resistenttien hyönteisten kehittyminen on sikäli ongelmallista, että *Bt*-toksiinit menettäisivät täl-

löin tehonsa näitä hyönteisiä vastaan. Mahdollisuutta on pidetty yhtenä kasvi-geeniteknikan merkittävimmistä ympäristöriskeistä.

LÄHTÖKOHTIA

Siirtogeenisten kasvien laaja-alaisen viljelyn ympäristövaikutuksista on käyty laajaa keskustelua. Maataloustutkijoiden näkökulma on usein ollut se, että siirtogeeniset kasvit ovat ilmiasultaan eli *fenotyypiltään* samankaltaisia kuin muilla kasvinjalostuksen menetelmillä jalostetut lajikkeet, eivätkä ne siis itsessään ole sen huonommin tunnettuja tai enemmän riskejä aiheuttavia kuin muutkaan lajikkeet. Toisaalta eräät ekologit ovat korostaneet, että lähes rajoittamaton mahdollisuus hyödyntää geenejä yli lajirajojen tekee geeniteknikasta potentiaalisesti vaarallisen tekniikan¹⁹⁰, ja että siirtogeenisten lajikkeiden laajamittainen viljely saattaa nopeuttaa epätoivottujen rikkakasvien tai torjunta-aineita kestävien tuholaishyönteisten kehittymistä. Näitä riskejä liittyy myös tavanomaiseen kasvinjalostukseen, mutta siirtogeenisten kasvien viljelyn kohdalla huomio on kohdistunut nimenomaan uuteen tekniikkaan ja sen vaikutuksiin.¹⁹¹

Ympäristövaikutusten arvioinnin osalta useimmat biologit ovat yksimielisiä seuraavista näkökohdista:¹⁹²

1. Ympäristöriskit johtuvat niistä muutoksista, joita geeninsiirron tuloksena on tapahtunut etenkin kasvin ilmiasussa eli *fenotyypissä*.
2. Ympäristöriski riippuu siitä, millainen ominaisuus kasviin on siirretty, missä määrin siirtogeeninen kasvi pystyy selviytymään luonnossa tai risteytymään vapaana kasvavien sukulaiskasviensa kanssa ja miten luonnon valintapaine vaikuttaa ominaisuuden leviämiseen.
3. Siirtogeenisten kasvien pitkäaikaisvaikutuksia koskevan ymmärryksen kehittäminen edellyttää monitieteistä lähestymistä, jossa ekologian, maatalouden ja evoluutiotieteen tutkimus yhdistyvät.
4. Pienimuotoisia kenttäkokeita, joissa siirtogeenisiä lajikkeita on tähän mennessä pääosin testattu, ei ole suunniteltu laajamittaisesta viljelystä johtuvien ympäristövaikutusten arviointiin.

Osa niistä geeneistä, joita on siirretty kasveihin mikro-organismeista tai eläimistä, esiintyy myös toisissa kasveissa. Yhtenä syynä näiden geenien hakemiseen kasvikunnan ulkopuolelta on ollut se, että kasvien perimä eli *genomi* tunnetaan usein huonommin kuin ne organismit, joista geenejä on kasveihin siirretty. Jatkuva uusien ominaisuuksien

¹⁹⁰ Ks. esim. Rissler ja Mellon (1996), Tiedje et al. (1989).

¹⁹¹ Snow ja Palma (1997).

¹⁹² Snow ja Palma (1997), Wrubel et al. (1992).

tavoittelu on samalla on kiihdyttänyt geenien kartoittamista: esimerkiksi kylmän kestävyyttä lisääviä geenejä on etsitty ja paikannettu Pohjois-Atlantin kampeloista.¹⁹³

Merkittävimmät siirtogeenisten lajikkeiden viljelyyn liittyvät ekologiset riskit ovat 1) rikkakasville hyödyllistä ominaisuutta kantavien siirtogeenisten kasvien risteytyminen villien kasvien kanssa, jolloin tuloksena voisi olla nykyistä elinkelpoisempien rikkakasvien leviäminen ja rikkakasvien torjunnan vaikeutuminen, sekä 2) kasvien tuottamille torjunta-aineille vastustuskykyisten tuholaisten kehittyminen, mikä saattaisi heikentää ko. torjunta-aineiden käyttömahdollisuuksia muissa yhteyksissä.¹⁹⁴ Muita ympäristönäkökohtia liittyy luonnon eliöstön tasapainoon, uusien kasvivirusten kehittymiseen sekä maaperän mikrobikoostumuksen muuttumiseen. Eräissä tapauksissa kasvigeenitekniikalla on nopeutettu sellaisten ominaisuuksien kehittämistä, jotka olisi voitu kehittää myös perinteisen kasvinjalostuksen keinoin. Näissä tapauksissa ympäristövaikutusten liittäminen pelkästään kasvigeenitekniikkaan ei ole aina täysin perusteltua.

Kasvigeenitekniikan ympäristövaikutukset riippuvat viljelyn yhteydessä noudatettavista viljelykäytännöistä, jotka riippuvat viljelijöiden ja siementuottajien välisistä suhteista ja sopimuksista. On esitetty, että USA:ssa vallitsevat viljelykäytännöt ja kilpailuasetelmat saattavat johtaa lajikevalikoiman köyhtymiseen ja yksipuolistumiseen¹⁹⁵, vaikka kasvigeenitekniikan avulla viljelykasvien geneettistä diversiteettiä voidaan osin rikastaa alkuperäislajikkeiden geeneillä. Tarkoituksenmukaiset viljelykäytännöt ovat toisaalta yksi tärkeimmistä keinoista, joilla epätoivottuja ympäristövaikutuksia voidaan estää tai viivyttaa.

Vaikka seuraavassa tarkastellaan siirtogeenisten kasvien mahdollisia ympäristöhaittoja, on näillä kasveilla myös myönteisiä ympäristövaikutuksia. Merkittävistä näistä on ehkä se, että hyönteisresistenteillä kasveilla voidaan ainakin lyhyellä tähtäimellä alentaa torjunta-aineiden käyttöä, joiden kemiallisten jäämien määrä luonnossa vähenee (vrt. luku 6). Hyönteisresistenttejä kasveja pidetäänkin tällä hetkellä ympäristövaikutuksiltaan vähemmän ongelmallisina kuin tavanomaisia kemiallisia torjuntamenetelmiä.¹⁹⁶

¹⁹³ Snow ja Palma (1997).

¹⁹⁴ Ks. esim. Rissler ja Mellon (1993) ja Tiedje et al. (1989). Tuore suomenkielinen esitys siirtogeenisten kasvien ympäristöriskeistä on raportissa Lehtonen ja Kangasjärvi (1998).

¹⁹⁵ Ks. <<http://www.eurospider.ch/BATS/data/english/k3a2htm>>.

¹⁹⁶ Snow ja Palma (1997).

SIIRTOGEENISET KASVIT RIKKAKASVEINA

Rikkakasvit ovat ei-toivottuja kasveja, jotka kasvavat ihmisten kannalta epäsuotuisissa paikoissa. Esimerkkejä rikkakasveista ovat kaurapelloilla esiintyvä hukkakaura sekä viljeltävät kasvit (kuten rapsi) silloin, kun ne esiintyvät jonkun toisen kasvin viljelyksillä.

Riski viljelykasvin leviämisestä rikkakasvina ei koske pelkästään geeniteknikalla muunnettuja kasveja, vaan se liittyy myös perinteisin menetelmin jalostettuihin kasveihin. Esimerkkejä hyötykäyttöön tarkoitettujen kasvien epätoivotusta leviämisestä on useita: muun muassa rehuntuotantoa varten USA:han 1800-luvun alussa tuotu Johnson-ruoho (*Sorghum halepense*) on sittemmin yleistynyt siinä määrin, että se on tällä hetkellä yksi maailman kymmenestä pahimmasta rikkakasvista.¹⁹⁷ Euroopassa sokerijuurikasviljelmillä on yleistynyt uusi rikkakasvi, villijuurikas, joka on ilmeisesti syntynyt tahattomasti sokerijuurikkaan hybridilajikkeiden valmistuksen sivutuotteena. Villijuurikas on levinnyt Suomeenkin ja kykenee tuottamaan itämiskykyistä siementä.¹⁹⁸

Ehtona viljelykasvin rikkakasviksi tulemiselle on, että se on kilpailukykyinen luonnollisessa kasviyhteisössä. Karkeana, joskaan ei Suomen ilmastossa pätevänä arviona on esitetty, että viljelykasveista noin 10 % selviää luonnossa ilman ihmisen hoitoa; näistä 10 % muodostaa pysyviä kantoja, ja näistä edelleen noin 10 % pystyy leviämään rikkaruohoina, jolloin niillä voi siis olla merkittäviä haitallisia vaikutuksia joko viljelyksillä tai luonnollisissa ekosysteemeissä. Näin suunnilleen joka tuhannes viljelykasvi saattaisi kehittyä rikkakasviksi, joka levitessään horjuttaa lajien välistä tasapainoa, syrjäyttää heikompia kasveja tai pahimmillaan valtaa koko kasvualan.¹⁹⁹

Kasvigeeniteknikan kannalta olennainen kysymys on se, tuleeko siirtogeenisistä kasveista helpommin rikkakasveja kuin muilla keinoilla jalostetuista. Crawley et al. (1993) tutkivat tätä kysymystä Englannissa laajassa kolmivuotisessa kenttäkokeiden sarjassa, jonka tulosten mukaan siirtogeeninen rapsi ei leviä tavallista rapsia helpommin, vaan pikemminkin päinvastoin. Crawleyn tutkimus on tosin saanut osakseen myös kritiikkiä siitä, että tutkimusjärjestely ei tarjonnut riittäviä edellytyksiä rapsin leviämislle.

Yleisarviona voidaan todeta, että siirretyt geenit eivät pääsääntöisesti anna viljelykasveille sellaisia ominaisuuksia, jonka tuloksena niillä olisi muita viljelykasveja paremmat edellytykset levitä luonnossa. Mahdollisia poikkeuksia ovat sellaiset kasvit, jotka menestyvät luonnossa muutenkin, kuten esimerkiksi vähemmän jalostetut itsepölytteiset kasvit ja kaupalliset puuvartist kasvit. Esimerkiksi glyfosaattia kestävä rapsi ei voida torjua

¹⁹⁷ Reiss ja Straughan (1996).

¹⁹⁸ Rousi (1997).

¹⁹⁹ Reiss ja Straughan (1996), <<http://www.eurospider.ch/BATS/data/english/k3a3.htm>>.

kesantopelloilta *Roundup*-valmisteella, ja mänty, joka on geenitekniikalla muunnettu resistentiksi siemeniä syöville hyönteisille, voi saada etua suuremmasta siemensadostaan ja yleistyä metsässä muita puita nopeammin.²⁰⁰

GEENIEN LEVIÄMINEN VILLIKASVEIHIN²⁰¹

Siirtogeeniset kasvit saattavat risteytyä esimerkiksi siitepölyn välityksellä villeinä kasvavien lähisukulaistensa kanssa, minkä seurauksena siirretyt geenit ja niihin liittyvät ominaisuudet voivat levitä villikasveihin. Tällaiset risteytymät ovat ongelmallisia, jos tuloksena on entistä elinvoimaisempien rikkakasvien kehittyminen. Edellytyksenä rikkakasvien syntymiselle on se, että 1) viljelykasvilla on luonnossa sellaisia sukulaisia, joiden kanssa se pystyy risteytymään, ja 2) siirretty geeni antaa kasville sellaista kilpailuetua, jonka tuloksena risteytynyt kasvi joko leviää helpommin tai on tavallisia rikkakasveja vaikeammin torjuttavissa.

Geenitekniikan käyttö sinänsä ei edistä tai estä risteytymisiä, joita viljely- ja villikasvien välillä tapahtuu. Esimerkkejä tällaisten risteytymisten tuloksena syntyneistä rikkakasveista ovat Johnson-ruoho, joka on syntynyt durrasta (*Sorghum bicolor*) ja sen Koillis-Aasiassa villinä kasvavasta *Sorghum propinquumista*, sekä sokerijuurikkaan (*Beta vulgaris*) ja sen *maritima*-alalajin välinen risteytymä villijuurikas, joka on viime vuosikymmeninä yleistynyt rikkakasvina.

Geenien siirtyminen sukulaiskasveihin riippuu monista tekijöistä. Tällaisia ovat esimerkiksi kysymykset siitä, annetaanko viljeltävän sadon kukkia, kuinka kauaksi siitepöly kulkeutuu, miten hedelmöitys onnistuu, miten siemenet hajaantuvat ja säilyvät ja onko viljeltävien kasvien lähistöllä risteytymiskelpoisia sukulaiskasveja. Myös inhimilliset tekijät, kuten siemenaineuksen mahdollisesti epähuomiossa tapahtuva leviäminen, on otettava huomioon.²⁰²

Näistä monista tekijöistä johtuen geenin siirtymisen todennäköisyydestä on vaikea antaa yleisiä arvioita. Mikäli siirtogeenisellä kasvilla ei ole risteytymiskykyisiä sukulaiskasveja ympäristössään, todennäköisyys on käytännössä olematon. Esimerkiksi siirtogeenisen soijan ja maissin viljelyä pidetään tältä osin USA:ssa turvallisena, koska kummallakaan kasvilla ei USA:ssa ole risteytymiskykyisiä lähisukulaisia. Sen sijaan esimerkiksi rapsilla, kurpitsalla ja auringonkukalla on USA:ssa villeinä kasvavia lähisukulaisia, jotka kasvavat niin viljelyksillä kuin luonnossakin.²⁰³

²⁰⁰ Kendall et al. (1997).

²⁰¹ Kendall et al. (1997).

²⁰² Ks. <<http://www.eurospider.ch/BATS/data/english>>.

²⁰³ Reiss ja Straughan (1996).

Taulukko 4.1 Esimerkkejä geenien siirtymisen mahdollisuudesta²⁰⁴

Viljelykasvi	Risteytyvä villikasvi	Todennäköisyys
Sokerijuurikas <i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i>	<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>maritima</i>	Suuri
Rapsi <i>Brassica napus</i> ssp. <i>oleifera</i>	<i>Brassica campestris</i> <i>Brassica oleracea</i> <i>Brassica nigra</i> <i>Sinapis alba</i> <i>Sinapis arvensis</i>	Alhainen Alhainen Alhainen Alhainen Alhainen
Kaali, kukkakaali <i>Brassica oleracea</i>	<i>Brassica oleracea</i> (villi) <i>Brassica rapa</i> <i>Brassica nigra</i>	Suuri Alhainen Alhainen
Peruna <i>Solanum tuberosum</i>	<i>Solanum dulcamara</i> <i>Solanum nigrum</i>	Minimaalinen Minimaalinen
Tomaatti <i>Lycopersiconm esculentum</i>	<i>Solanum dulcamara</i> <i>Solanum nigrum</i>	Minimaalinen
Vehnä <i>Triticum aestivum</i>	<i>Hordeum</i> ssp.	Minimaalinen
Ohra <i>Hordeum vulgare</i>	<i>Hordeum</i> ssp.	Alhainen
Ruis <i>Secale cereale</i>	<i>Hordeum</i> ssp.	Minimaalinen
Kaura <i>Avena sativa</i>	Hukkakaura <i>Avena fatua</i>	Ei ole määritelty

Taulukossa 4.1 on esitetty arvioita siitä, miten todennäköisesti geenit saattavat siirtyä satokasvista eräisiin villimuotoihin.²⁰⁵ Näistä villimuodoista kaikki eivät esiinny Suomessa.

Mikkelsen et al. (1996) ovat osoittaneet, että ristikukkaisilla kasveilla (joihin mm. rapsi kuuluu) geenejä voi siirtyä lajista toiseen. Siirtogeenisten hybridien leviämistä pidetään silti melko pienenä mahdollisuutena: muun muassa Scheffler ja Dale (1994) toteavat kat-sauksessaan ristikukkaisilla kasveilla tehtyihin kokeisiin, että “vaikka lähekkäin kasvavien sukulaiskasvien välillä tapahtuisikin risteytymistä, jälkeläisten yleinen steriiliys ja heikko elinkyky merkitsevät yleensä sitä, että risteytymät ja niiden jälkeläiset eivät säily useampia sukupolvia hengissä maanviljelyalueilla tai luonnossa”.

Myös sokerijuurikkaasta, maissista ja riisistä voi geenejä siirtyä villilajeihin:

²⁰⁴ BATS (1994).

²⁰⁵ BATS (1994).

- *Sokerijuurikas* on kasvi, jossa tapahtuu risteytymistä viljellyn ja rikkakasvina esiintyvän villijuurikkaan välillä.²⁰⁶ Suomessa tämä risteytymisen mahdollisuus on tosin erittäin alhainen, koska viljeltävä sokerijuurikas ei tuota täällä siementä. Todennäköisimmin siirrettävät geenit saattavat esiintyä suomalaisissa villijuurikkaissa siten, että siirtogeeninen sokerijuurikas ja villijuurikas risteytyvät esimerkiksi Keski-Euroopassa. Tällöin Suomeen tuotavassa sokerijuurikkaan siemenaineuksessa saattaa olla siirrettyjä geenejä sisältäviä villijuurikkaan siemeniä.
- *Maissi*, vehnä ja monet muut viljalajit ovat saaneet hyödyllisiä ominaisuuksia kuten tautiresistenssi siten, että ne ovat risteytyneet villien tai viljeltyjen lähisukulaistensa kanssa, jolloin ne ovat saaneet näiltä hyödyllisiä ominaisuuksia.²⁰⁷ Monilla alueilla niiden viljeltävät nykymuodot ovat kuitenkin etäännyneet niin kauaksi villimuodoistaan, että risteytymien todennäköisyys on erittäin alhainen.
- Viljellyistä *riisilajikkeista* siirtyy helposti geenejä villilajikkeisiin. Riisinviljelijöiden harmina ovat rikkakasveina kasvavat villiriisilajit etenkin silloin, kun viljelyssä siirrytään taimien istuttamisesta siementen kylvämiseen. Jos viljeltäväksi tuodaan jokin geenitekniikan avulla muunnettu, rikkakasvihävitettä kestävä riisilajike, villiriisilajien kasvua voidaan rajoittaa rikkakasvihävitteen avulla niin kauan, kunnes ne saavat resistenssigeenin itselleen. Tällöin villiriisi ei muuttuisi muilta ominaisuuksiltaan aiempaa kiusallisemmaksi, mutta sen torjumiseksi käytetty rikkakasvihävitte menettäisi tehonsa.

Jos uusia rikkakasveja syntyy, niitä voidaan torjua viljelyksillä vastaavanlaisilla toimenpiteillä (kemialliset torjunta-aineet, syväkyntö, äestys, mekaaninen poistaminen, jne.) kuin niitä rikkakasveja, jotka ovat kehittyneet viljelykasvien rinnalla maanviljelyksen pitkän historian aikana. Voidaan kuitenkin ajatella, että geenien siirtyminen viljelykasveista nopeuttaisi tätä evoluutioprosessia.

Suomessa viljakasveilla ei ole villeinä luonnossa kasvavia sukulaisia, joihin geenit voisivat peltoviljelyksiltä levitä. Poikkeuksena on hukkakaura, jota on torjuttu mekaanisin toimenpitein ja torjunta-aineilla. Rypsilä on myös joitakin sukulaisristikukkaisia, joihin geenien siirtymistä voisi tapahtua siitepölyn välityksellä. Sokerijuurikas voi Keski-Euroopassa risteytyä villijuurikkaan kanssa, mutta Suomen ilmastossa se ei tuota lisääntymiskykyistä siementä. Suomessa ei ole erikseen selvitetty geenien siirtymistä viljellyistä kasveista villikasveihin.

²⁰⁶ Boudry et al. (1997).

²⁰⁷ Ks. esim. Kivi (1983).

UUDET VIRUKSET²⁰⁸

Virusten kuorikerrosten valkuaisaineita koodaavien geenien siirto kasveihin estää hyökkäävien virusten tunkeutumisen kasvisoluihin. Viimeisten kymmenen vuoden aikana tällä tavalla muunnettuja kasveja on ollut runsaasti kenttäkokeissa, ja USA:ssa ja Kiinassa virusresistenteille kasveille on annettu markkinointilupia.

Menetelmää pidetään varsin turvallisena. USA:n maatalousministeriö USDA on ehdottanut, että tällaisten siirtogeenisten kasvien kenttäkokeet eivät edellytä varsinaista hakeusmenettelyä, vaan niistä riittää pelkkä ilmoituksen tekeminen. Myös ympäristönsuojeluvirasto EPA on ilmoittanut käsityksensä, että kuoriproteiinit ovat turvallisia ympäristön kannalta eivätkä vahingoita kasveilla käyviä hyönteisiä. Lääke- ja elintarvikevirasto FDA on hyväksynyt virusten kuoriproteiineja sisältävistä kasveista valmistetut elintarvikkeet.

Virusten geenimateriaalia sisältäviä kasveja koskien on kuitenkin esitetty epäilyjä, jotka koskevat allergeenisuutta, rikkakasvien esiintymistä ja uusien virusten kehittymistä.²⁰⁹

- Viruksen geenimateriaalin siirron ei katsota johtavan allergeenien syntymiseen, koska kasvit sisältävät luonnostaan paljon enemmän viruksia ja näiden kuoriproteiineja kuin mitä geenitekninen muuntaminen voisi niihin tuoda (vrt. luku 3).
- Viruskestävyys antaa kasveille luonnon valintapaineessa kilpailuetua, joten on ajateltavissa, että ne voisivat tämän takia joko levitä helpommin rikkakasveina tai risteytyä villien sukulaistensa kanssa, jolloin tuloksena olisi aiempaa elinvoimaisempien rikkakasvien syntyminen. Näitä tapauksia koskevat edellisillä sivuilla esitetyt huomiot.
- Tällä hetkellä ei ole näyttöä siitä, että viruksen kuorikerroksen valkuaisaineita koodaavat geenit voisivat yhdistyä uudella tavalla ulkoa tulevien virusgeenien kanssa ja näin johtaa uusien virusten syntymiseen. Luonnossa esiintyvien virusten uudelleen kombinoitumisen ei tiettävästi ole todettu johtavan uusien virusten kehittymiseen, vaikka kasvit ovat jatkuvasti useampien virusten hyökkäysten kohteena. Uudet virukset syntyvät mutaatioiden tuloksena, eivät virusten kombinoitumisen kautta.
- Teoreettisesti on mahdollista, että siirrettyjen geenien tuottamat viruksen kuorivalkuaisaineet voisivat liittyä luonnolliseen virukseen, jolloin tuloksena voisi syntyä nykyistä haitallisempia tautiviruksia. Tämän tapahtuman todennäköisyys on kuitenkin erittäin alhainen, koska se edellyttäisi yhdestä ainoasta viruspartikkelista syntyvän populaation muodostumista ja leviämistä.²¹⁰ Mahdollisuutta voidaan pienentää muuttamalla kuoriproteiinin aminohappokoostumusta siten, että se ei toimi kapselina, mutta antaa kuitenkin vielä suojan virusinfektiota vastaan.

²⁰⁸ Kendall et al. (1997), Malnoë (1995).

²⁰⁹ Kendall et al. (1997), Malnoë (1995).

²¹⁰ Malnoë (1995).

- o Myös kasvivirusten ribonukleiinihappoja (RNA) koodaavat geenit antavat suojan kasviviruksia vastaan. Jos näitä geneja käytetään virusresistenssin aikaansaamiseksi, kasvilla oleva virus-RNA ja elävän tautiviruksen RNA voisivat periaatteessa muodostaa uuden tautiviruksen. Todennäköisyys on kuitenkin olematon, koska tavallisilla kasveilla, jotka ovat jatkuvasti monen viruksen samanaikaisen hyökkäyksen kohteena, tällaista virusten yhdistymistä ei ole osoitettu tapahtuneen.²¹¹ Kasvien geeniteknisessä muuntamisessa mahdollisuus kuitenkin minimoidaan siirtämällä tautiviruksen genomista kasviin mahdollisimman pieni, vain suojan antamiselle välttämätön osa RNA:ta.

ANTIBIOOTTIRESISTENSSI

Haluttua ominaisuutta koodaavan geenin ohella kasveihin on usein siirretty myös antibioottiresistenssigeeni, jonka avulla kasvinjalostuksen valintavaiheessa voidaan helpottaa niiden kasviyksilöiden tunnistamista, joissa geenin siirto on onnistunut (ks. luku 1). Siirrettävissä geenirakenteissa on usein mukana ampisilliiniresistenssigeeni, jota on käytetty rikastettaessa geneja kolibakteeriviljelmissä.

On ajateltavissa, että siirtogeenisten kasvien laajamittainen viljely voisi lisätä maaperän bakteerien antibioottiresistenssiä maatalousmailla ja luonnossa. Tähän mennessä ei antibioottiresistenssin siirtymistä kasveista maaperän bakteereihin ole kuitenkaan voitu osoittaa,²¹² vaikka laboratorio- ja kenttäkokeissa siirtogeenisten kasvien DNA voidaan tunnistaa maanäytteistä pitkänkin ajan kulutta.

Jotta antibioottiresistenssin mahdollinen siirtyminen kasveista bakteereihin voitaisiin seurata, on ensin tunnettava antibioottiresistenssigeenien luonnolliset pitoisuudet maabakteeripopulaatioissa. Esimerkiksi maanäytteistä saaduista bakteereista noin 1 % on osoittautunut kanamysiiniresistenteiksi, ja eniten kanamysiiniresistenttejä bakteereja on lantalietteen bakteereissa (38 %). Lantalietteen käyttö maanviljelyksessä ei kuitenkaan ole lisännyt maanviljelysmaassa elävien bakteerien antibioottiresistenssiä.

Redenbaugh et al. (1994) tekivät teoreettisia laskelmia kanamysiiniresistenssin siirtymismahdollisuuksista siirtogeenisten tomaattien (Flav Savr®) viljelyksiltä. Heidän mukaansa kasveista ja kasvijätteistä vapautuva DNA voisi pahimmassa tapauksessa lisätä maabakteerien antibioottiresistenssiä 1/10 000 000 -osalla. Toisaalta Schlüter et al. (1995) osoittivat, että ampisilliiniresistenssi siirtyy perunasta kasvipatogeeniseen bakteeriin (*Erwinia chrysanthemi*) äärimmäisen alhaisella frekvenssillä: harvemmin kuin

²¹¹ Malnoë (1995).

²¹² Smalla (1995).

2×10^{-17} (so. alle 20 kertaa miljardissa miljardissa). Menetelmä ei sallinut alhaisemman frekvenssin tunnistamista, joten tutkijat pitivät mahdollisena, ettei horisontaalista siirtymistä tapahdu lainkaan.

Antibioottiresistenssigeenien käytöstä pyritään eroon siten, että merkkigeeneinä käytetään muita geenejä, esimerkiksi herbisidiresistenssigeenejä, tai että antibioottiresistenssigeenit poistetaan kasvista siirron jälkeen. Nämä menettelyt eivät kuitenkaan ole lyhyellä tähtäimellä käytettävissä (vrt. luku 3).²¹³

Nykytietämyksen valossa antibioottiresistenssi ei kasvigeenitekniikan yhteydessä aiheuta merkittävää riskiä sen enempää ympäristölle kuin terveydellekään. Huomattavasti ongelmallisempaa antibioottiresistenssin kehittymisen kannalta on ollut antibioottien eräin osin varomaton käyttö lääkeshoidoissa viimeisten kolmenkymmenen vuoden aikana, sekä toisaalta niiden käyttö muun muassa eläinten lääkinnässä ja rehuaineissa.²¹⁴

MAAPERÄN EKOSYSTEEMIT

Siirtogeenisten kasvien viljelyn välittömät vaikutukset maaperän ekosysteemeihin jäävät luultavaksi vähäisiksi, koska siirrettyjen geenien tuottamat valkuaisaineet hajoavat ympäristössä yleensä varsin nopeasti. Sen sijaan merkittäviksi saattavat osoittautua välilliset vaikutukset, joihin kuuluvat muun muassa määrälliset ja laadulliset muutokset lannoitteiden ja torjunta-aineiden käytössä.²¹⁵ Tosin arviointia vaikeuttaa osaltaan se, että jo muutenkin käytössä olevat viljelymenetelmät - kuten esimerkiksi voimaperäinen kyntäminen - saattavat alentaa maaperän hedelmällisyyttä. Tästä syystä siirtogeenisten kasvien viljelyn kokonaisvaikutuksista maaperän ekosysteemeihin on vaikea antaa tarkkoja arvioita.²¹⁶

Bakteerien tiedetään pystyvän ottamaan DNA:ta ympäristöstään. Siirtogeenisten kasvien viljely saattaisi siis periaatteessa johtaa siihen, että kasvista vapautuva DNA sitoutuu ensin maapartikkeleihin ja siirtyy sieltä edelleen bakteereihin. Tämä on kuitenkin erittäin epätodennäköistä, koska maahan joutuneet orgaaniset molekyylit hajoavat yleensä nopeasti tai sitoutuvat erittäin lujasti maa-ainekseen. Niin ikään Nielsen (1997) toteaa, että siirtymistä kasveista maabakteereihin ei ole voitu osoittaa laboratorio- tai kenttäolosuhteissa. Samalla hän kehottaa kuitenkin varovaisuuteen uusien siirtogeenien kasvien ja

²¹³ Smalla (1995), OPECST (1998).

²¹⁴ Ks. OPECST (1998) ja Levy (1998).

²¹⁵ Snow ja Palma (1997). Esimerkiksi siirtyminen hitaasti hajoavien torjunta-aineiden käytöstä nopeammin hajoavien aineiden käyttöön on ympäristön kannalta suotavaa.

²¹⁶ Ks. Seidler ja Levin (1994).

bakteerien levittämisessä, koska kaikista maabakteereista vain noin 1 % on laboratoriossa viljeltävissä ja analysoitavissa.

DNA:n siirtyminen bakteereihin voidaan estää muokkaamalla siirrettävä geenimateriaali sellaiseksi, että bakteerit eivät pysty käyttämään sitä suoraan hyväkseen. Geenien siirtyminen maassa eläviin homeisiin on äärimmäisen epätodennäköistä, koska geenejä on huomattavasti vaikeampi siirtää sieniin kuin bakteereihin.

RIKKAKASVIHÄVITTEIDEN KÄYTTÖ

Rikkakasvihävitteitä eli *herbicidejä* on tyypillisesti kehitetty etsimällä sellaisia kemiallisia yhdisteitä, jotka tehoaisivat yhteen tai useampaan rikkakasviin, mutta jotka eivät vaurioittaisi viljeltävää kasvia. Näin löydetty uudet herbisidit ovat useimmiten olleet *selektiivisiä*, koska ne eivät ole tehonneet kaikkiin rikkaruohoihin eikä niitä ole voitu käyttää kaikkien kasvien viljelyksillä.

Kasvigeenitekniikkaan perustuvassa rikkakasvien torjunnassa sen sijaan lähtökohdaksi on otettu kaikkiin kasveihin tehoavat ja ympäristön kannalta tavanomaisia rikkakasvihävitteitä haitattomammat aineet, joita ovat esimerkiksi totaaliherbisideinä tunnetut glyfosaatti ja glufosinaatti.²¹⁷ Siirtogeenisiä lajikkeita on jalostettu siirtämällä kasveihin geenejä, joiden toiminnan tuloksena kasvi kestää pienehköjä määriä²¹⁸ näitä tehoaineita. Torjunta-ainekäsittelyjen kehittämisessä ei siis ole kyse uusien herbisidien etsimisestä, vaan sellaisten lajikkeiden kehittämiseen, jotka kestävät jo tunnettuja herbisidejä.

On esitetty erilaisia näkemyksiä siitä, miten herbisidejä kestävien siirtogeenisten lajikkeiden viljely vaikuttaa käytettävien torjunta-aineiden määrään ja laatuun. Mahdollisia muutoksia valottavat seuraavat huomiot:²¹⁹

- Kehittyneissä maissa herbisidejä käytetään jo nyt lähes kaikkien kasvien viljelyksillä. Tästä syystä herbisidiresistenttien lajikkeiden viljely ei juurikaan lisää sitä pinta-alaa, jolla herbisidejä ylipäätään käytetään.
- Glyfosaatin ja glufosinaatin kaltaisia totaaliherbisidejä tarvitaan tehoaineen määrällä mitattuna vähemmän kuin tavanomaisia kemiallisia rikkakasvihävitteitä, mistä johtuen käytettävien herbisidien kokonaismäärä voi vähetä (ks. luku 6). Nämä aineet

²¹⁷ EU:ssa herbisidiresistenttien kasvien tutkimus- ja kehityskokeista noin 90 % on tehty glyfosaattia tai glufosinaattia kestäville kasveille; ks. Bjerregaard et al. (1998).

²¹⁸ Esimerkiksi glyfosaattia kestäväillä rapsilla glyfosaattia käytetään noin kolmasosa siitä määrästä, jota normaalissa glyfosaattikäsittelyssä käytettäisiin.

²¹⁹ Bjerregaard et al. (1997).

myös hajoavat luonnossa nopeammin, mikä vähentänee rikkakasvien torjunnan jäämäpitoisuuksia maaperässä ja pohjavedessä.

- Torjunta-aineiden käytön on arveltu vähenevän myös siksi, että viljelijän ei tarvitse käyttää useita selektiivisiä herbisidejä eri rikkakasveja vastaan. Myös torjunta-ainekäsittelyn vapaampi ajoittaminen saattaa vähentää torjunta-aineiden määrää: esimerkiksi rapsin kohdalla torjuntaa ei tarvitse tehdä ennen taimettumista, vaan se voidaan tehdä myös taimettumisen aikana ja jälkeen, jolloin rikkakasviongelman laajuus on paremmin tiedossa.
- Eräät verraten pienillä alueilla viljeltävät kasvit, kuten salaatti, eivät kestä juuri mitään nykyisistä herbisideistä. Jos näistä kasveista jalostetaan totaaliherbisidejä kestäviä lajikkeita, niin totaaliherbisidien käyttö saattaa lisääntyä. Ei kuitenkaan ole luultavaa, että näistä kasveista tuotaisiin markkinoille siirtogeenisiä lajikkeita lähitulevaisuudessa, koska niiden kehittäminen ja markkinoille saattaminen on erittäin kallista.

Totaaliherbisideihin perustuvien torjuntamenettelyjen on arveltu vähentävän sitä tutkimus- ja kehityspanostusta, joka muuten tähtäisi vaihtoehtoisten torjuntamenetelmien kehittämiseen. Yhtenä totaaliherbisidien käytön riskinä on pidetty viljelysympäristön biodiversiteetin vähentymistä, koska totaaliherbisidit tuhoavat olennaisesti kaikki rikkakasvit sekä välillisesti osan myös näitä ravintonaan käyttävistä ja toisinaan viljelyn kannalta hyödyllisistä hyönteisistä. Tällainen viljelysympäristön biodiversiteetin yksipuolistuminen saattaisi johtaa hyönteisten torjumiseksi käytettävien torjunta-aineiden käytön lisääntymiseen sekä edistää niiden rikkakasvien leviämistä, joihin sovellettavat torjunta-ainekäsittelyt eivät tehoa.

Herbisidejä kestävien rikkakasvien syntyminen on ollut vähäisempää kuin torjunta-aineita kestävien hyönteisten kehittyminen. Tällä hetkellä ei tunneta esimerkiksi glyfosaattia kestäviä rikkakasveja, vaikka glyfosaattia on käytetty verraten laajasti jo 15 vuotta. Sen sijaan jos herbisidiresistentit kasvit leviävät muiden kasvien viljelyksille tai herbisidikestävyyden antavat geenit leviävät rikkaruohoihin, niin kyseisten herbisidien käyttökelpoisuus heikkenee. Tämä vähentäisi viljelijän käytössä olevien torjuntakäsittelyvaihtoehtojen määrää, ja hän saattaisi joutua palaamaan aiemmin käytettyihin, verraten vahvoihin kemiallisiin torjunta-aineisiin.²²⁰

BT-TOKSIINIT SIIRTOGEENISISSÄ KASVEISSA

Tuholaishyönteiset aiheuttavat merkittäviä satotappioita, ja niiden torjumiseksi käytettävät kemialliset torjuntamenetelmät eivät ole ongelmattomia, koska torjunta-aineet

²²⁰ Bjerregaard et al. (1997).

säilyttävät toksisuutensa maaperässä jonkin aikaa vielä torjunta-ainekäsittelyn jälkeenkin. Kemialliset hyönteismyrkyt eivät myöskään yleensä ole valikoivia, vaan ne tuhoavat myös hyödyllisiä hyönteisiä. Kemiallisia torjunta-ainekäsittelyjä korvaavien menetelmien kehittämiseen on näistä syistä panostettu aktiivisesti.

Hyönteisresistenttejä kasveja on toistaiseksi jalostettu siirtämällä *Bacillus thuringiensis*-bakteerin geenejä, jotka saavat kasvin tuottamaan tietyille hyönteisille myrkyllisiä valkuaisaineita (*Bt*-toksiineja). Geenien tuottamat toksiinit vaurioittavat hyönteisen ruoansulatuskanavaa siten, että hyönteinen useimmiten menehtyy mikäli se käyttää siirtogeeneistä kasvia kerrankin ravintonaan. *Bt*-toksiinien ei ole todettu vaikuttavan ihmiseen tai muihin selkärangkaisiin.

Puhdistettuja *Bt*-toksiineja käytetään myös ulkoisesti ruiskutettavina hyönteisten torjunta-aineina, joiden etuna on nopea hajoaminen luonnossa. *Bt*-toksiinien tehokkuus saattaa kuitenkin vaarantua, mikäli siirtogeeneisten *Bt*-toksiineja sisältävien lajikkeiden viljelyn laajentuminen johtaa *Bt*-toksiineille resistenttien hyönteiskantojen kehittymiseen, joihin *Bt*-toksiineja sisältävät torjunta-aineet eivät enää tehoaisi. Tätä mahdollisuutta on pidetty yhtenä merkittävimmistä kasviteknologian ympäristöriskeistä, mistä johtuen *Bt*-toksiinikysymystä tarkastellaan seuraavassa lähemmin.

Bt-bakteerin ja toksiinien historiaa

Bacillus thuringiensis (*Bt*)-bakteeri eristettiin silkkiperhosen toukasta Japanissa vuonna 1901. Saksassa kehitettiin vuonna 1927 ensimmäinen perhostoukkien torjuntaan tarkoitettu *Bt*-valmiste, jossa käytettiin edelleen käytössä olevaa *Bacillus thuringiensis* v. *kurstaki* -bakteerikantaa. Ensimmäinen kaupallinen *Bt*-valmiste tuotiin markkinoille vuonna 1938 Ranskassa nimellä *Sporeiini*.

Vuonna 1966 USDA:n tutkija Howard Dulmage eristi aiempaa tehokkaammin hyönteismyrkkyä toimivan *Bacillus thuringiensis* v. *kurstaki*-kannan (HD-1), josta tuli nopeasti uusien kaupallisten *Bt*-bakteerivalmisteiden perusta. Tätä bakteerikantaa käytetään vieläkin, vaikka käytössä on muitakin *Bt*-kantoja. Kaikkiaan tunnetaan ainakin 14 eri bakteerikannan tuottamien *Bt*-toksiinien myrkyvaikutus eri hyönteisiin.²²¹

1970-luvun lopulla erään *Bt*-lajin osoitettiin tappavan myös kärpästen ja hyttysten toukkia, mikä oli ensimmäinen osoitus siitä, että *Bt*-bakteerilla voidaan torjua myös muita hyönteisiä kuin perhostoukkia. Muun muassa suomalainen tutkija G. Carlberg on kehittänyt kärpästoukkiin tehoavan valmisteen nimeltä *Dudustop*. Valmistetta on kokeiltu menestyksellä Afrikassa ja sitä on saatavana Suomessakin.

²²¹ Krattiger (1997).

Vuonna 1981 *E. Schnepf* ja *H. Whiteley* tuottivat kloonamalla erään *Bt*-toksiinin geenin ja määrittivät sen rakenteen (so. nukleotidijärjestyksen). Vuoteen 1989 mennessä oli eristetty ja määritetty yli 40 erilaista *Bt*-toksiinia. Kenttäkokeisiin ensimmäiset *Bt*-toksiineja tuottavat kasvit tulivat 1990-luvun alussa, ja *Bt*-lajikkeiden tuotannollinen viljely alkoi vuonna 1995 USA:ssa. Tällä hetkellä viljeltävänä on ainakin puuvilla-, maissi- ja perunalajikkeita, joihin on siirretty jokin *Bt*-toksiineja koodaava geeni. Tuloksia riisille tehdystä *Bt*-toksiinigeenin siirrosta julkaistiin vuonna 1993, ja vuonna 1995 IRRI:n²²² tutkimuslaitoksissa osoitettiin *Bt*-riisin kestävästä riisikoisan (engl. rice stem borer) toukkia.²²³ Kenttäkokeita on tehty myös tomaatilla, saksanpähkinällä, sokerijuurikkaalla ja tupakalla.²²⁴

Bt-toksiinit hyönteismyrkkyinä

Bt-bakteerien itiövalmisteita tai kiteisiä toksiinivalmisteita käytetään biopestisideinä puutarhoissa, kasvihuoneissa ja jossain määrin myös peltoviljelmillä. *Bt*-valmisteiden osuus hyönteisiä vastaan käytetyistä torjunta-aineista on alle 1 %, mutta yli 90 % biopestisideistä, joita käytetään muun muassa luonnonmukaisessa viljelyssä. *Bt*-valmisteista käytetään yli puolet USA:ssa, ja on arvioitu, että vuonna 2000 *Bt*-biopestisidien markkinat maailmassa ovat noin 300 miljoonaa dollaria. Biopestisidipatentteja on maailmassa yli 70 kpl.²²⁵

Mielenkiinto *Bt*-toksiineja kohtaan johtuu muun muassa siitä, että niiden on todettu olevan myrkyttömiä korkeammille eläimille ja ihmisille²²⁶ sekä kasvien kannalta hyödyllisille hyönteisille kuten mehiläisille, leppäpörköille ja loispistiäisille.²²⁷

Bt-toksiinigeenien eristäminen ja karakterisointi on tehnyt mahdolliseksi hyönteisten torjumisen geenitekniikalla muunnetuilla kasveilla, jotka tuottavat haluttua *Bt*-toksiinia kasvukauden ajan joko koko kasvissa tai hyönteisten uhkaamissa kasvinosissa. Kiinnostus *Bt*-toksiinien käyttöön on huomattavaa, ja maailmassa on arviolta ainakin 350 *Bt*-bakteerin geeneihin liittyvää patenttia. Patenteista kolme neljäsosaa on kahdeksan yhtiön hallussa, mikä kertoo kaupallisiin sovelluksiin tähtäävän kehitystyön keskittymisestä. Eniten *Bt*-geeneihin liittyviä patenteja oli *Mycogen*-, *Novartis*-, *AgrEvo*-, *Monsanto*- ja *Zeneca*-yhtiöillä.

²²² International Rice Research Institute.

²²³ IRRI (1996).

²²⁴ Krattiger (1997).

²²⁵ Krattiger (1997).

²²⁶ Noteborn et al. (1996).

²²⁷ Krattiger (1997), IRRI (1996).

Alunperin *Bt*-toksiinit jaettiin 14 eri ryhmään ja 4 luokkaan sen mukaan, mihin hyönteisiin ne vaikuttavat:

- Cry I Vaikuttavat perhosiin (*Lepidoptera*)
- Cry II Vaikuttavat perhosiin ja kaksisiipisiin (*Lepidoptera* ja *Diptera*)
- Cry III Vaikuttavat kovakuoriaisiin (*Coleoptera*)
- Cry IV Vaikuttavat kaksisiipisiin (*Diptera*).

Luokkia on myöhemmin tullut lisää, ja toksiinien aminohappojärjestyksiä vertaamalla *Bt*-toksiinien sukupuusta on löydetty kaikkiaan kahdeksan *Bt*-toksiiniryhmää. Esimerkiksi Cry I-ryhmään kuuluu kaikkiaan 9 eri toksiinia, jotka ovat rakenteeltaan sukua toisilleen ja joita koodaavat geenitkin muistuttavat siten toisiaan. Kaikkiaan *Bt*-toksiineja on nimetty 113 kpl. Joidenkin uusien bakteerikantojen on osoitettu tehoavan myös sukku-
lamatoihin.²²⁸

Bt-toksiinivalkuaisaineryhmän alaryhmät ovat vaikutukseltaan varsin selektiivisiä, joten yksi ryhmä saattaa vaikuttaa vain joihinkin perhoslajien toukkiin kun taas toiset toksiinit vaikuttavat joihinkin kovakuoriaisryhmiin. Auringonvalossa tai kasvinjätteiden seassa *Bt*-toksiinit hajoavat nopeasti, eikä niillä ole todettu olevan haitallisia vaikutuksia hyödyllisiin, esimerkiksi tuhohyönteisiä ravintonaan käyttäviin hyönteisiin.²²⁹

Korkeampien eläimien ruoansulatuskanavan seinämiin *Bt*-toksiinit eivät tartu, ja koska ruoansulatusentsyymit hajottavat *Bt*-toksiinit nopeasti, ei toksiineista ole haittaa imettäväsille. Niiden mahdollisia vaikutuksia on kuitenkin testattu monissa kokeissa: esimerkiksi hiirille ja kaniineille tehdyssä ns. akuuttitoksisuuskokeessa eläimille syötettiin kolibakteerissa tuotettua puhdasta *Bacillus thuringiensis*- CRY1A(b) toksiinia annoksina, jotka ihmisillä vastaisivat 60-500 kg päiväannosta *Bt*-toksiineja sisältäviä tomaatteja. Kokeessa ei havaittu myrkyvaikutuksia koe-eläimissä. Tutkijat totesivat kuitenkin, että kokeissa käytetyn toksiinin rakenne saattaa jossain määrin erota kasvin tuottaman toksiinin rakenteesta.²³⁰

Bt-resistenssin kehittyminen

Riskinä siirtogeenisten, *Bt*-toksiinia tuottavien kasvien laajamittaisessa viljelyssä on se, että hyönteiset kehittävät vastustuskyvyn kasvin tuottamaa *Bt*-toksiinia vastaan, jolloin toksiinin teho häviää ja hyönteisten torjunnassa joudutaan palaamaan takaisin kemiallisiin torjunta-aineisiin. Ongelmallisinta tämä on luonnonmukaisen viljelyn kannalta, jossa kemiallisia torjunta-aineita ei sallita.

²²⁸ Krattiger (1997).

²²⁹ Ks. esim. Flexner et al. (1986), Kreig ja Landenbruch (1981), Melin ja Cozzi (1989).

²³⁰ Noteborn et al. (1996).

Hyönteisten tiedetään yleisesti mukautuvan ja muuntuvan siten, että niille kehittyy vähitellen vastustuskyky eli *resistenssi* sekä ruiskutettavia torjunta-aineita että niitä toksineja vastaan, joita kasvit on kasvinjalostuksen keinoin saatu tuottamaan. Yleensä hyönteiset ovat mukautuneet noin 2-10 vuodessa, ellei viljelytekniikoiden avulla resistenssin kehittymistä ole voitu hidastaa. Vuosien 1985-1997 aikana kaikkiaan 10 hyönteislajin on osoitettu kestävän *Bt*-toksiinivalmisteita.²³¹

Useat tuohyönteiset ovat tulleet resistenteiksi kemiallisille torjunta-aineille, joita näin ollen joudutaan käyttämään yhä suurempia määriä. Esimerkiksi kaalikoin (*Plutella xylostella*, engl. diamondback moth) torjunta on varsinkin Kaakkois-Aasiassa ongelmallista, koska kaalikoi kestää useita kemiallisia torjunta-aineita kuten organofosforiyhdisteitä, karbamaatteja ja pyrethroideja. Kaalikoin torjunnassa on tämän takia siirrytty muun muassa tertiääristen amiinien ja *Bt*-biopestisidivalmisteiden käyttöön, joille kaalikoi on niin ikään tullut resistentiksi. *Bt*-toksiinia ja tertiäärisiä amiineja vastaan kehittyneen resistenssin pysyvyyttä ja periytyvyyttä koskevassa tutkimuksessa Hama et al. (1992) totesivat, että *Bt*-resistenssi aleni jälkeläissukupolvissa, kun biopestisidiä ei enää käytetty. Tertiäärisiä amiineja vastaan hankittu kestävyys säilyi vahvana vielä käytön lopettamisen jälkeenkin.

Mikäli suositeltuja resistenssin kehittymisen esto- ja hidastamistoimia noudatetaan, puuvillakoin (*Heliothis virescens*) kohdalla on arvioitu kestävän vähintään 10 vuotta ennen kuin *Bt*-toksiiniresistenssistä tulee ongelma. Yleensä hyönteismyrkkujen käyttökelpoisuus aika on ollut lyhyempi, koska hyönteismyrkyn käytön oikea-aikainen ja -määräinen kohdentaminen sekä tuholaitten resistenssin kehittymisen valvonta eivät ole olleet riittävän kurinalaisia.²³²

Toisaalta *Bt*-resistenssiä koskevissa tutkimuksissa on todettu, että resistenssi voi kehittyä jo tavallisessakin viljelyssä *Bt*-torjunta-aineita käytettäessä muutaman sukupolven aikana. Resistenssi kehittyy usein useampaa *Bt*-toksiinia kohtaan, jotka kuuluvat samaan toksiiniryhmään. Koska eri *Bt*-toksiiniryhmät ovat eri geenien tuottamia, niin eri ryhmiä vastaan tarvittavan resistenssin kehittymistä varten hyönteiset tarvitsevat eri geenit.²³³

Keinoja *Bt*-resistenssin kehittymisen hidastamiseksi

Resistenssin kehittymistä voidaan hidastaa rajaamalla *Bt*-toksiineja tuottavien kasvien viljelyä. USA:ssa resistenssin hidastamista ovat peräänkuuluttaneet muun muassa luomu-

²³¹ Huang et al. (1997).

²³² Roush ja Shelton (1997).

²³³ Tabashnik et al. (1997), Huang et al. (1997), Roush ja Shelton (1997).

viljelijöiden järjestö ja ympäristöjärjestöt, jotka ovat vaatineet ympäristöviranomaisia lopettamaan *Bt*-satokasvien hyväksymisen, koska siementuottajilta ei ole vaadittu riittävän tehokkaita toimenpiteitä resistenssin kehittymisen hidastamiseksi. Ympäristöjärjestöjen kannan mukaan resistenssin kehittymisen hidastaminen edellyttää riittävän suuria ”pakopaikka”-alueita (so. alueita, joilla viljellään lajikkeita, jotka eivät tuota *Bt*-toksiineja ja joita hyönteiset voivat näin siis käyttää ravinnokseen).

Pakopaikkamenetelmä - jota on myös kritisoitu - perustuu siihen, että ei-resistentit hyönteiset risteytyvät mahdollisesti resistenssin jo kehittäneiden yksilöiden kanssa, jolloin *Bt*-toksiinit tehoavat edelleen risteytymisen tuloksina syntyviin jälkeläisiin. Resistenssin kehittymistä voidaan hidastaa myös siten, että kasvit tuottavat riittävän suuria *Bt*-toksiinimääriä, minkä seurauksena kaikki *Bt*-toksiineja sisältäviä kasveja ravintonaan käyttäneet hyönteiset kuolevat. Suuria *Bt*-toksiinimääriä käytetään yleensä yhdessä pakopaikkojen kanssa.

Alhaisella *Bt*-toksiinin tuotolla kasveissa voidaan periaatteessa pyrkiä heikentämään hyönteisten lisääntymiskykyä, jolloin hyönteiset tulevat helpommin vihollistensa hävittämiksi. Monen geenin samanaikainen käyttö vähentää mutaation kautta syntyvän resistenssin mahdollisuutta. Suunnattu *Bt*-toksiinituotto kasvissa vähentää toksiinin vaikutusaikaa tuhohyönteisiin, koska *Bt*-toksiinia syntyy vain jossain kasvinosissa ja vain tiettyinä aikoina, esimerkiksi silloin, kun hyönteinen vahingoittaa kasvia.²³⁴

Kuvaavia ovat myös seuraavat ohjeet, joita USA:n keskilännen osavaltioiden hyönteistutkijat ovat antaneet viljelijöille, jotta maissikoisan *Bt*-resistenssin kehittyminen hidastuisi:²³⁵

- Käytä *Bt*-maissihybridejä vain alueilla, joilla maissikoisa aiheuttaa pahoja tuhoja.
- Merkitse huolellisesti, minne *Bt*-maissia ja ei-*Bt*-maissia on kylvetty, jotta *Bt*-maissin tehoa voidaan seurata ja ei-*Bt*-maissialueet voidaan tarvittaessa myrkyttää tavallisilla hyönteisten torjunta-aineilla.
- Ei-*Bt*-maissia tulee kylvää 20-30 % pinta-alasta. Kylvö on suoritettava samaan aikaan ja lähelle *Bt*-maissia. Jos ei-*Bt*-maissia aiotaan ruiskuttaa torjunta-aineilla, pakopaikka-alueen tulee olla vähintään 40 % pinta-alasta.
- Integroitua tuhohyönteistorjuntaa (*Integrated Pest Management*, IPM)²³⁶ ei tule lopettaa: *Bt*-maissi on vain yksi keino maissikoisan torjumiseksi ja monet muut tuhohyönteiset kestävät *Bt*-toksiineja.

²³⁴ Krattiger (1997).

²³⁵ NC-205 (1997).

²³⁶ IPM on sekä laadultaan, määrältään että ajankohdaltaan tarkoituksenmukaisesti suunnattua torjunta-aineiden käyttöä.

- *Bt*-maissia tulee seurata koko viljelykauden ajan, jotta maissikoisan torjunnan teho saadaan kirjattua ja resistenssissä mahdollisesti tapahtuvat muutokset tulevat siementuottajien ja viljelijöiden tietoon.

Myös Monsanto kehottaa vuoden 1998 tuoteohjekirjasessaan viljelijöitä luomaan pako-paikkoja, seuraamaan maissikoisan esiintymistä ja yhdistämään tavanomaisten hyönteis-myrkkysten käytön *Bt*-maissin viljelyyn. Samanlaisilla toimintatavoilla on tarkoitus hidastaa resistenssin kehittymistä tulevilla riisiviljelmillä.²³⁷ Resistenssin kehittymisen hidastaminen on yritysten edun mukaista, sillä ne ovat 10 vuoden ajan kehittäneet uusia lajikkeita, joista saatavat edut vähenevät olennaisesti, mikäli *Bt*-toksiineja kestävät hyönteiskannat leviävät.²³⁸

Novartiksen *Bt*-maissin hyväksyntään liittyen EU on aloittanut kansainvälisen seuranta-tutkimuksen *Bt*-toksiinien vastustuskyvyn kehittymisestä. Novartis on mukana tutkimus-suunnitelmaa koskevissa neuvotteluissa, ja yhtiö on jo aloittanut vuonna 1996 seuranta-tutkimuksen Milanon yliopiston hyönteistieteellisen laitoksen kanssa.

²³⁷ IRRI (1996).

²³⁸ Ks. <<http://www.epa.gov/epahome/comments.html>>.

5. KEHITYSMAIDEN RAVINTOHUOLTO

Lähivuosien aikana kehitysmaiden väestö kasvaa nopeasti samalla kun kulutustottumusten muutokset lisäävät ravinnon kokonaiskysyntää. Kehitysmaiden kannalta olennainen kysymys on se, miten kasvigeenitekniikka vaikuttaa niiden maatalouteen ja ravintohuoltoon.

1. Vuoteen 2010 mennessä maailman väestö kasvaa nykyisestä 5,8 miljardista noin 6,9 miljardiin. Kasvu tapahtuu lähes yksinomaan kehitysmaissa, joissa maatalouden tuottavuuden kasvu on muun muassa eroosion, hyvälaatuiseen viljelymaan vähyyden ja ravinneköyhyyden seurauksena alentunut. Useiden kansainvälisten tutkimuslaitosten mukaan kasvavaan ravinnontarpeeseen vastaaminen edellyttää jatkuvaa teknologista kehitystä maataloudessa.
2. Kasvigeenitekniikka tarjoaa kehitysmaissa periaatteellisia mahdollisuuksia satojen nostamiseen ja viljelyvarmuuden parantamiseen. Näitä tavoitteita tukevia sovelluksia ovat muun muassa hyönteisresistentit kasvit, entistä satoisammat lajikkeet sekä pidemmällä aikajänteellä myös epäsuotuisia olosuhteita (kuivuus, kylmyys, suolaisuus) kestävät lajikkeet.
3. Kasvigeenitekniikan vaikutukset kehitysmaissa riippuvat keskeisesti näiden maatalouden sosiaalisista ja taloudellisista rakenteista (omistussuhteet, viljelijöiden koulutustaso, varallisuuden jakaantuminen, infrastruktuuri). Esimerkiksi herbisidiresistenttien lajikkeiden viljely edellyttää enemmän osaamista ja resurssointia, joten on luultavaa, että nämä lajikkeet tulevat ensin käyttöön keskimääräistä suuremmilla ja vauraammilla tiloilla. Vallitsevien rakenteiden puitteissa köyhimmat viljelijät eivät hyödy kaikista kasvigeenitekniikan sovelluksista ainakaan ensimmäisinä.

4. Kasviteknologian tutkimus on keskittynyt kehittyneisiin teollisuusmaihin, eivätkä monikansalliset yritykset ole toistaiseksi panostaneet kovinkaan paljon kehitysmaiden ongelmien ratkaisemiseen tähtäävien sovellusten kehittämiseen. Tällaiset sovellukset saattaisivat kuitenkin olla arvokkaita kehitysmaiden maatalouden kannalta, minkä vuoksi kansainvälistä julkisrahoitteista tutkimusta pidetään tärkeänä.
5. Suurin osa maailman geneettisistä resursseista on kehitysmaissa. Vaikka Rio de Janeiron biodiversiteettisopimus vuodelta 1992 takaakin kehitysmailla oikeuden saada korvaus näiden resurssien hyödyntämisestä, ei kehitysmaiden asema ole kovin vahva resurssien taloudellista arviointia ja korvaamista koskeissa neuvotteluissa.

RAVINNONTUOTANNON JA -TARPEEN KASVU²³⁹

Parin viime vuosikymmenen aikana maailman ravinnontuotanto on kasvanut nopeasti. 1990-luvun alussa kehitysmaissa tuotettiin yli 30 % enemmän ravintoa henkeä kohden 1960-luvun alkuvuosiin verrattuna. Vielä 1970-luvun taitteessa yli puolet (56 %) maailman väestöstä eli maissa, joissa ravinnon saanti oli erittäin alhainen (alle 2 200 kaloria päivässä), mutta vuosina 1992-94 näin vähällä ravinnolla joutui tulemaan toimeen vain joka kymmenes.

Nopeasta väestön kasvusta johtuen aliravitsemuksesta kärsiviä on silti lukumääräisesti lähes yhtä paljon kuin ennen, noin 800 miljoonaa, ja lisäksi erilaisista ravitsemushäiriöistä kärsiviä on satoja miljoonia. Alueelliset erot ravintohuollon kehittämisessä ovat merkittäviä: esimerkiksi Kiina on edistynyt huomattavasti, kun taas Saharan eteläpuolisessa Afrikassa tilanne ei ole parantunut juuri lainkaan.

Tällä hetkellä maailman väestö lisääntyy nopeammin kuin koskaan ennen, ja vuoteen 2010 mennessä sen arvioidaan kasvavan noin 6,9 miljardiin. Lisäys tapahtuu lähes yksinomaan kehitysmaissa, joissa on noin 82 % maailman väestöstä vuonna 2010. Kahta vuosikymmentä myöhemmin, vuonna 2030, maailman väkiluvuksi on arvioitu 8,4 miljardia, josta kehitysmaiden osuus on 85 %.²⁴⁰ On arvioitu, että vuosien 1995 ja 2025 välisenä aikana maailman ravinnontarve kaksinkertaistuu.²⁴¹

²³⁹ Haen et al. (1998).

²⁴⁰ YK:n arvioita vuodelta 1996. Ks. de Haen et al. (1998).

²⁴¹ Kern (1998).

On erilaisia näkemyksiä siitä, missä määrin kasvavaan ravinnon tarpeeseen pystytään tuotantoa lisäämällä vastaamaan. Varsin yleisesti²⁴² on päädytty käsitykseen, että maataloustuotannon lisäys riittää kokonaismäärältään kattamaan maailman ravintotarpeen. Maataloustuotannon vuotuinen kasvu hidastunee edelleen samalla kun keskeisten viljakasvien maailmanmarkkinahintojen lasku jatkuu. Tuotannon kasvu tulee entistä selvemmin perustumaan satoisuuden parantamiseen.

International Food Policy Research Institute (IFPRI) on vuoteen 2020 ulottuvassa selvityksessään arvioinut²⁴³, että kehitysmaissa tuotannon kasvu ei kaikin osin kata kasvavaa kysyntää. Monet seikat - kuten kehitysavun vähentyminen, viljavarantojen supistuminen ja sotilaalliset selkkaukset - johtavat tilanteeseen, jossa etenkin köyhimpien maiden ravintohuolto on epävakaa pohjalla. IFPRI arvioikin, että vuonna 2020 keskeisten viljakasvien (riisi, maissi, vehnä) osalta on vajausta, koska 1) lihan kulutus kehitysmaissa kasvaa, minkä seurauksena viljaa tullaan käyttämään nykyistä enemmän rehuksi, ja 2) vuosina 1993-2020 maataloustuotannon vuosittainen kasvu hidastuu 1,5 %:iin vuosien 1982-1994 2,3 %:n tasolta.

Kehitysmaiden kannalta tilanne ongelmallinen myös siksi, että vuoteen 2010 mennessä niiden asema muuttuu ravinnon nettoviejistä nettotuojiksi. Tällöin köyhimmät maat, joilla ei ole riittävästi valuuttaa, eivät välttämättä pysty ostamaan tarvitsemiaan elintarvikkeita maailmanmarkkinoilta. Esimerkiksi noin 30 % Saharan eteläpuolisen Afrikan väestöstä - 260 milj. ihmistä - tulee nykyarvioiden mukaan kärsimään aliravitsemuksesta vuonna 2010.²⁴⁴ Afrikan lisäksi laajaa aliravitsemusta saattaa esiintyä myös Etelä-Aasiassa.

RAVINNONTUOTANNON REUNA-EHTOJA

Maailmanpankin arvioiden mukaan²⁴⁵ kasvavan väestön ravitseminen edellyttää maataloustuotannon lisäämistä ja tuottavuuden parantamista. Keinoja tähän tavoitteeseen ovat muun muassa energia-intensiivisen maanviljelyn käyttöönotto (joka eräillä alueilla tarkoittaa lannoitteiden käytön lisäämistä maan köyhtymisen estämiseksi), maan ja veden säästeliäs käyttö sekä eroosion torjunta, biodiversiteetin säilyttäminen, tuhohyönteisten tehokkaampi torjuminen, keinokastelun lisääminen, karjanhoidon tehostaminen, satoisampien sekä paremmin tuhohyönteisiä ja kuivuutta kestävien lajikkeiden kehittäminen sekä hyönteismyrkköjen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vähentäminen.

²⁴² Mm. Haen et al. (1998) luovat katsauksen viimeaikaisiin, lähinnä ekonometrisiin malleihin perustuviin tuloksiin.

²⁴³ Pinstrup-Andersen et al. (1997).

²⁴⁴ Haen et al. (1998)

²⁴⁵ Kendall et al. (1997).

Tuotannon lisäämistä rajaavat kuitenkin muun muassa seuraavat tekijät:

1. *Viljelyspinta-alan vähyys*: Kun vuonna 1961 yhden henkilön ravitsemiseksi viljelysmaata oli 0,44 hehtaaria, niin vuonna 2050 maata on arvioitu olevan käytettävissä alle viidesosa tästä, vain 0,08 hehtaaria.²⁴⁶ Toisin sanoen pinta-alayksikköä kohden on tuotettava enemmän ravintoa kuin aikaisemmin. Vaikka viljelyn intensiivisyyttä nostettaisiin, niin viljelysmaasta tulee luultavasti olemaan pulaa esimerkiksi Etelä-Aasiassa.
2. *Eroosion eteneminen*: Kestävän kehityksen vastaiset viljelykäytännöt teollisuus- ja kehitysmaissa ovat aiheuttaneet tulvia, vesi- ja tuulieroosiota sekä maan kovettumista ja suolapitoisuuden nousua. Eniten eroosion hävittämää maata on Aasiassa, lähes 30 %. Kaikilla tärkeimmillä viljeltävillä alueilla hävikki on keskimäärin yli 12 %.
3. *Keinokastelun rajat*: Keinokastelua ei voida merkittävästi lisätä, koska edullisimmin kasteltavat alueet on jo otettu keinokastelun piiriin ja muilla alueilla veden puute ja ympäristöhaitat ovat esteenä sen käytölle. Noin 10-15 % keinokastellusta alueesta on kärsinyt vaurioita joko maan vesittymisen tai suolapitoisuuden lisääntymisen takia. Osa keinokastelusta perustuu hitaasti uusiutuvaan, fossiiliseen pohjaveteen, jota pumpataan nopeammin kuin sitä tulee uutta, mikä on johtamassa ongelmiin muun muassa Afrikassa, Kiinassa, Intiassa, USA:ssa ja Lähi-Idässä varsinkin Israelissa ja Jordaniassa.²⁴⁷
4. *Ilmaston lämpeneminen*: IPCC:n²⁴⁸ mukaan maailman ilmasto lämpenee ihmisen toiminnan seurauksena keskimäärin 2°C vuoteen 2100 mennessä. Koska kasvitautien on osoitettu lisääntyvän lämpötilan noustessa, ilmaston lämpeneminen saattaa lisätä ruoan puutetta ja nälänhätää varsinkin subtrooppisilla ja trooppisilla alueilla, jotka jo nyt ovat osittain tai kokonaan aavikoituneet ja joilla maailman köyhimmät ihmiset elävät.

KASVIGEEENITEKNIikka JA SATOISUUDEN LISÄYS²⁴⁹

Uuden teknologian kehittäminen on muun muassa IFPRI:n raporteissa nähty edellytyksenä maailman ravintohuollon varmistamiselle.²⁵⁰ Tällöin ei kuitenkaan ole kysymys pelkästään kasvigeenitekniikasta, vaan yleensä eri alojen - kuten biotekniikan, viljelytekniikan ja tietotekniikan - tutkimukseen pohjautuvien uusien ratkaisujen etsimisestä ja käyttöönottamisesta. Esimerkiksi tietotekniikka mullistaa maataloutta, mutta

²⁴⁶ Pehu ja Rojas (1997).

²⁴⁷ Haen et al. (1998).

²⁴⁸ IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

²⁴⁹ Kendall et al. (1997).

²⁵⁰ Pinstrup-Andersen et al. (1998).

eniten kehittyneissä maissa, joilla on varaa infrastruktuurin rakentamiseen ja joiden viljelijöillä on riittävät valmiudet tietotekniikan hyödyntämiseen.²⁵¹

Monet kansainväliset asiantuntijajärjestöt ovat pitäneet biotekniikan hyödyntämistä tärkeänä kestävä kehityksen mukaisen maataloustuotannon kannalta. Vuonna 1992 maailmanpankin, FAO:n ja YK:n kehitysohjelman (UNDP) koolle kutsuma asiantuntijaryhmä arvioi, että maailman ravinnontuotannon turvaaminen ympäristöä vaurioittamatta on lähes mahdotonta ilman modernia biotekniikkaa.²⁵² Toisaalta FAO:n tuoreempien selvitysten mukaan kasvigeenitekniikka ei vuoteen 2010 mennessä tule suuresti vaikuttamaan tuotannon kokonaistason, joskin uusien sovellusten vaikutus voi olla huomattava joko 2010 vaiheilla tai pian sen jälkeen. Merkittäviä sovelluksia saattaisivat tällöin olla nykyistä satoisammat riisi- ja maissihybridilajikkeet.²⁵³

Kasvigeenitekniikan merkitystä havainnollistaa Kernin (1998) arvio siitä, miten maailman ravinnontuotanto lähes kaksinkertaistuu vuoteen 2025 mennessä. Tärkeimmät keinot tuotannon lisäämiseksi ovat satotason nostaminen viljely- ja korjuutekniikkaa kehittämällä (31 %), keinokastelu (23 %), lannoitteiden käyttö (17 %) ja biotekniikan hyödyntäminen (29 %). Biotekniikan osuus on huomattava, vajaa kolmannes, ja se sisältää myös kasvigeenitekniikan käytön (ks. kuva 6.1).

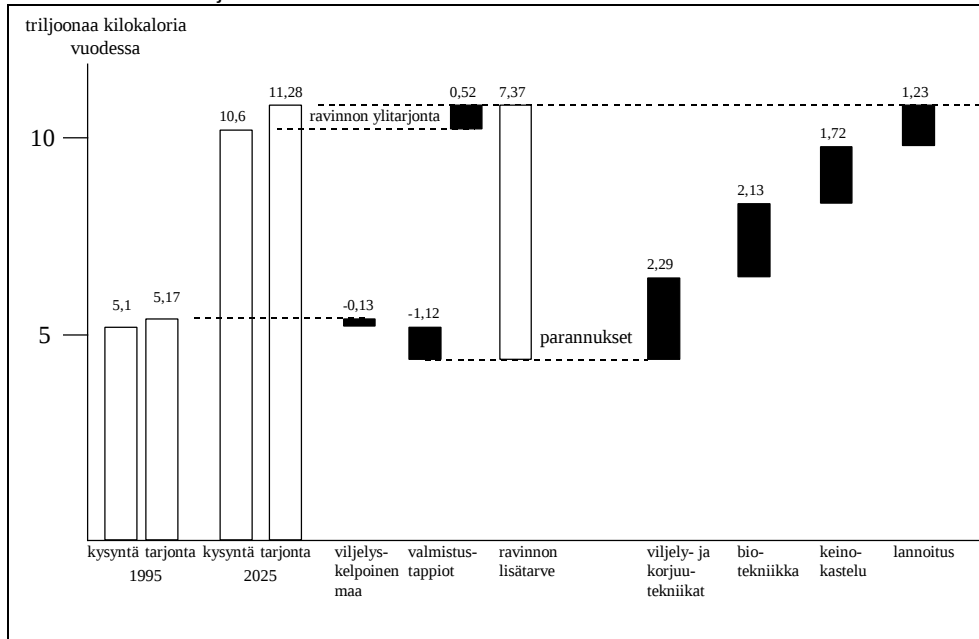
Geenitekniikalla on ollut huomattava vaikutus ns. vihreän vallankumouksen aikana alkaneeseen tuottavuuden lisäykseen, ja eräiden arvioiden mukaan sen vaikutus satotasojen lisäykseen voi nousta 50 %:iin²⁵⁴. Tällöin ei kuitenkaan ole kyse kasvien geeniteknisestä muuntamisesta, vaan niiden muiden työvälineiden ja menetelmien soveltamisesta, joita geenitekniikka antaa kasvinjalostukselle (ks. kuva 1.7).

²⁵¹ Haen et al. (1998).

²⁵² Ks. <<http://www.cgiar.org/ifpri/2020/briefs/number35.htm>>.

²⁵³ Ks. Haen et al. (1998).

²⁵⁴ Paillotin (1998).

Kuva 6.1 Eri keinojen vaikutus ravinnontuotannon lisäämiseen²⁵⁵

Kasvigeenitekniikan sovellukset kehitysmaissa ovat samantapaisia kuin teollisuusmaissa (ks. luku 1). Resistenssiominaisuuksista tärkeimmät ovat²⁵⁶:

1. *Tuhohyönteiskestävyyden lisääminen.* Hyönteistoukkien aiheuttamia tuhoja voidaan vähentää siirtämällä kasveihin geenejä, jotka koodaavat samoja toksineja kuin *Bacillus thuringiensis*-bakteeri. Bt-toksiineja on käytetty torjunta-aineena vuosikymmeniä, ja tällä hetkellä Bt-maissia ja -puuvillaa viljellään USA:ssa laajalti. Kehitysmaissa viljelyyn saattaa tulla Bt-riisi, joka on parhaillaan kenttäkokeissa. Hyönteiskestävyyttä voidaan parantaa myös siirtämällä muita geenejä, joiden tuottamat valkuaisaineet hidastavat hyönteisten toukka- ja aikuismuotojen kasvua.
2. *Virustautikestävyyden lisääminen.* Virustautikestävyyttä on lisätty siirtämällä kasveihin virusten kuoren valkuaisaineiden tuottoa ohjaavia geenejä (coat protein mediated resistance; CP-MR). Muun muassa perunan viruskestävyyttä on lisätty tällä tavalla.
3. *Home- ja bakteeritautikestävyyden kehittäminen* on osoittautunut teknisesti vaikeaksi. Homeen kasvua estäviä ja homeen seinämiä hajottavia valkuaisaineita tuottavien geenien siirtoa on kuitenkin testattu. Myös sellaisten geenien on osoitettu toimivan tautiherkässä kasvissa, jotka antavat vastustuskyvyn kasveissa luontaisesti esiintyviä patogeenejä vastaan.

²⁵⁵ Kern (1998). Vuonna 2025 maailmassa pystytään ruokkimaan 9 miljardia ihmistä. Ennusteessa on pieni ylituotantomarginaali, jonka perusteena on mm. lihan kasvava kulutus Aasiassa sekä uusiutuvien non-food tuotteiden lisääntyvä käyttö kehitysmaissa.

²⁵⁶ Kendall et al. (1997).

4. *Laajaspektristen hyönteismyrkköjen käyttötarpeen vähentäminen.* Laajaspektrisiä hyönteismyrkkyjä voidaan käyttää kaikkien kasvien viljelyssä. Niiden käyttöä voidaan pyrkiä vähentämään jalostamalla lajikkeita, jotka itse tuottavat toksiineja haluttuja tuhohyönteisiä vastaan.

Resistenssiominaisuuksien ohella satoisuutta voidaan pyrkiä parantamaan myös muita ominaisuuksia muuttamalla. Esimerkkejä ovat:

1. *Hedesteriilien hybridilajikkeiden kehittäminen.* Ensimmäisen F1-sukupolven kasveilla on tällöin yleensä poikkeuksellisen korkea satoisuus (ks. luku 1).
2. *Kukinnan aikaistaminen sekä kasvin sopeuttaminen lyhyempään päivän pituuteen tai alempaan lämpötilaan.* Kasvukauden pidentämisen tuloksena kasvi tuottaa satoa tavallista kauemmin, jolloin satotaso nousee. Muun muassa perunan tärkkelyspitoisuutta on nostettu tällä tavalla.

Esimerkkejä kasvigeenitekniikasta kehitysmaissa²⁵⁷

Kasvigeenitekniikan käyttö riisin satoisuuden parantamiseksi nostanee satotasoa Aasiassa 10-25 prosenttia seuraavien kymmenen vuoden aikana. Satoja parantaa muun muassa Kiinassa käyttöön otettava hybridiriisi sekä hyönteisresistenttien riisilajikkeiden viljely useissa Aasian maissa. USA:n ja Kiinan tutkijat ovat yhdessä kehittäneet sukusiitosjalostusmenetelmän, jonka toivotaan johtavan vuositasolla noin 3-5 % suuruiseen satoisuuden kasvuun seuraavien 15-20 vuoden aikana. Riisin parissa tehtävä jalostustyö on ravintohuollon kannalta tärkeää, koska Etelä-Aasiassa väestön kasvu on erittäin nopeaa ja muilla keinoilla saavutettava riisin satoisuuden kasvu on viime vuosina hidastunut²⁵⁸.

Maissan satotaso kehitysmaissa voi nousta, mikäli USA:ssa tehtävä tutkimustyö johtaa myös trooppisiin maihin soveltuvien geenien löytymiseen. Vaikka suurin osa maissitutkimuksesta tehdään yksityisissä yrityksissä, jotkut sovelluksista voivat periaatteessa tulla kehitysmaiden käyttöön. Sovellusten korkea hinta voi kuitenkin estää kehitysmaissa niiden laajamittaisen käytön.

*Kassavan*²⁵⁹ ja *banaanin* geenitekniset muunnokset, jotka saattaisivat olla kehitysmailla tärkeitä, eivät toteutune lähitulevaisuudessa. Kassava on erityisesti Afrikan kuivilla seuduilla tärkeä kasvi, sillä se antaa ravintoa 600-800 miljoonalle ihmiselle. Kassava voi kasvaa ilman sadetta neljä kuukautta, mutta se kärsii monista virustaudeista ja tuhohyönteisistä. Esimerkiksi afrikkalainen kassavan mosaiikkivirus (engl. African cassava mosaic virus) vähentää satoisuutta noin 30-80 %.²⁶⁰

²⁵⁷ Kendall et al. (1997).

²⁵⁸ Ks. <<http://www.cgiar.org/ifpri/pressrel/061595d.htm>>.

²⁵⁹ Kassavasta käytetään myös nimeä maniokki.

²⁶⁰ Reiss ja Straughan (1996).

Rikkaruohot ovat kehitysmaissa merkittävä haitta, joten *torjunta-aineita kestävien lajikkeiden* ja torjunta-aineiden käytöllä satotasojä voitaisiin periaatteessa nostaa. Köyhissä maissa viljelijöillä ei kuitenkaan ole varaa torjunta-aineiden ostamiseen, joten kasvien torjunta-ainekestävyys hyödyttäisi kehitysmaita vain sillä edellytyksellä, että torjunta-aineet halpenisivat merkittävästi. Eräiden torjunta-aineille myönnettyjen patenttien vanhentuminen saattaa alentaa hintoja jossain määrin lähitulevaisuudessa.

Monet kasvien *tuholais-* ja *tautikestävyttä* lisäävistä geeneistä sopivat tropiikin alueille. Nämäkin geenit on useimmiten patentoitu ja ne voivat siten olla liian kalliita kehitysmaiden lunastettaviksi. Tosin Monsanto on antanut korvauksetta Meksikolle perunan viruskestävyysgeenin sekä kouluttanut meksikolaiset tutkijat kasvien geeninsiirtoon ja muuhun tarvittavaan biotekniikkaan. Monsanto on lisäksi luovuttanut samanlaisen viruksen hallitsemistekniikan Kenialle ja Indonesialle bataatin viruskestävyyden parantamiseksi. Tällaiset tapaukset ovat kuitenkin toistaiseksi poikkeuksia.

Kuivuuden kestävyys riippuu monista ominaisuuksista, joita ovat muun muassa kasvin pitkät ja paksut juuret, vahvat vahamaiset lehdet, kyky tuottaa elävää siitepölyä kuivanaikin aikana, kyky toipua kuivuuskaudesta, jne. Näiden ominaisuuksien geneettinen säätely on varsin monimutkaista, eikä niihin ole nykyisin menetelmin päästy käsiksi, joskin *suolansietokyky* on pystytty lisäämään. Osittain tämän takia toiveita on kohdistunut kuivuuden sietokyvyn parantamiseen, koska suolapitoisuus ja kuivuus aiheuttavat kasveissa samantapaisia reaktioita. Kenttäkokeissa suolansietokyvyn parantaminen ei kuitenkaan ole parantanut kuivuuden sietokykyä.

Tärgkelystä varastoivilla kasveilla *satopotentiaalia* voidaan nostaa muokkaamalla varastoravinteiden, kuten esimerkiksi tärgkelyksen syntyreittejä geenitekniikan avulla. Perunalla tässä on jo jossain määrin onnistuttu. On mahdollista, että perunan ja muiden mukulakasvien - kuten kassavan, jamssin ja bataatin - satopotentiaalia pystytään näin lisäämään.

Suuria toiveita on asetettu sellaisten kasvien jalostamiseen, joilla on oma *typensidontakyky*. Tavoitteeseen on panostettu miljoonia dollareita sekä julkista että yksityistä rahaa, mutta toistaiseksi hernekasvien biologista typensidontaprosessia ei ole onnistuttu siirtämään toisiin kasveihin.

On kuitenkin huomattava, että siirtogeenisten lajikkeiden viljely on erottamattomasti yhteydessä niille soveltuvien viljelykäytäntöjen noudattamiseen. Esimerkiksi USA:ssa viljelijät käyttävät pelkästään ensimmäisen, ns. F1-sukupolven hybridimaissia, joka on saatu risteyttämällä siirtogeeninen vanhempi ei-siirtogeenisen maissin kanssa. Hybridimaissis-

sa on yksi kopio resistenssigeeniä, sillä toistaiseksi torjunta-ainekestävyyssgeenin siirtäminen molempiin vanhempiin on liian työlästä. USA:ssa viljelijät ostavat tätä siemenmaissia joka vuosi ja kylvävät sitä vain kerran, jolloin kaikki kylvetty maissi on siirtogeenistä.

Tämä käytäntö ei kuitenkaan toimi kehitysmaissa. Esimerkiksi El Salvadorissa useimmat viljelijät ostavat maissin F1-hybridisiementä vain joka kolmas vuosi, koska se on heidän kannaltaan liian kallista: ensimmäisenä vuonna he kylvävät kaupallista siementä ja seuraavina kahtena vuonna he käyttävät omilta pelloiltaan saamaansa satoa siemenenä. Seuraavissa sukupolvissa torjunta-ainekestävyyssgeenin osuus maississa kuitenkin alenee, joten koko sato ei enää ole torjunta-ainetta kestävä, ja jo toisessa sukupolvessa ruiskutukset pudottavat satotasoa 25 %. Tästä syystä torjunta-ainetta kestävä maissi ei voi viedä El Salvadoriin, ellei viljelijöitä samalla kouluteta oivaltamaan, että heidän on aina käytettävä F1-polven ostosiementä. Samoin hyönteisresistenttiä maissilajiketta ei kannata viedä USA:sta Länsi-Afrikkaan, jos se ei kestä afrikkalaisia tuhohyönteisiä.

Kasvibioteekniikan tutkimus kehitysmaissa

Kehitysmaat voivat saada kasvigeeniteekniikan sovelluksia käyttöönsä siten, että 1) molekyylibiologista tutkimusta suunnataan nimenomaan kehitysmaiden tarpeisiin tai 2) ensisijaisesti teollistuneiden maiden tarpeita palvelevia sovelluksia tuodaan kehitysmaiden ulottuville. Kummassakin tapauksessa uusien lajikkeiden käyttöönotto riippuu kasvinjalostajien ja bioteknologien välisestä yhteistyöstä sekä kehitysmaiden tutkijoiden kyvystä soveltaa bio- ja geeniteknikkaa paikallisen viljelyn ongelmiin.

Suurin osa kasvibioteekniikan ja -geeniteekniikan tutkimuksesta tehdään teollistuneissa maissa niitä kiinnostavilla viljelykasveilla. Pelkästään EU:ssa oli vuonna 1997 käynnissä noin 2000 projektia, joista 1300 tähtäsi muunnettuihin ominaisuuksiin perustuviin sovelluksiin. Noin 210 projektia tutki vehnää, ohraa ja muita viljalajeja, 150 tutki perunaa, 125 rapsia ja noin 90 maissia.²⁶¹

Tällä hetkellä viljelykasvien biotekniikan tutkimusta edistetään kehitysmaissa viidessä kansainvälisessä ohjelmassa:

- *Agricultural Biotechnology for Sustainable Productivity* (ABSP) on USA:n kansainvälisen kehityksen viraston (*US Agency for International Development*, USAID) tukema projekti, johon osallistuu amerikkalaisia yliopistoja ja yksityisiä yrityksiä. ABSP keskittyy viiteen viljelykasvien tuhohyönteiskysymykseen: peruna ja perunakoi-
sa (engl. potato tuber moth); bataatti ja bataattikärsäkäs; maissi ja maissikoisa; tomaatti ja tomaatin keltavirus (engl. yellow leaf virus) sekä kurpitsa ja sen virukset.

²⁶¹ Kendall et. al (1997).

- *Netherlands Directorate General for International Cooperation* rahoittaa kassavan biotekniikkaverkostoa. Verkosto pyrkii muuttamaan kassavaa pienviljelijöille, jalostajille ja kuluttajille paremmin sopivaksi.
- *Laboratory of Tropical Agricultural Biotechnology on Scripps Instituten* (Kalifornia) ja *l'Institut français recherche scientifique pour le développement en coopération* (ORSTROM, Ranska) yhteishanke, joka rahoittaa riisin, kassavan ja tomaatin kasvitautien hallitsemiseen tähtäävää tutkimusta. Hanke saa varoja myös Rockefeller-säätiöltä, ABSP:ltä ja USAID:ilta.
- *Rockefeller-säätiö* ryhtyi rahoittamaan riisin biotekniikan tutkimusta kehitysmaissa vuonna 1984. Tutkimusohjelma pyrkii 1) kehittämään kehitysmaiden tarpeisiin soveltuvia riisilajikkeita ja 2) varmistamaan, että kehitysmaiden tutkijat pystyvät soveltamaan kasvigeenitekniikkaa tarpeisiinsa. Ohjelman puitteissa on kehitetty kenttäkoeasteelle useita riisilinjooja, joilla on kehitysmaita ajatellen käyttökelpoisia viljelyominaisuuksia.
- *McKnight Foundation* on perustanut yhteistoiminnallisen viljatutkimusohjelman (*Collaborative Crop Research Program*), jonka tarkoituksena on vahvistaa valituissa kehitysmaissa tehtävää tutkimusta ja suunnata USA:n kasvitutkijoiden työtä kehitysmaiden ravintohuoltoa tukeviin sovelluksiin.

Näiden viiden kasvigeenitekniikkaan painottuvan ohjelmien yhteenlasketut resurssit ovat noin 20 miljoonaa dollaria vuosittain. Kokonaisuudessaan kehitysmaissa tehtävä ja sinne suunnattu biotekniikkatutkimus lieenee noin 50 miljoonaa dollaria vuosittain. Kehitysmaiden valmiudet omaksua biotekniikan menetelmiä vaihtelevat paljon: eräät maat - kuten Brasilia, Kiina, Egypti - hallitsevat biotekniikan menetelmät kohtalaisen hyvin, mutta useimmat kehitysmaat eivät pysty soveltamaan biotekniikkaan ilman teollisuusmaiden voimaperäistä ja hyvin suunnattua tukea ja koulutusta.

Monikansallisten suuryritysten biotekniikkatutkimus ei luultavasti tule paneutumaan kehitysmaiden pienviljelijöiden erityisongelmiin, joiden ratkaisemisesta saatavat tulot eivät kata tutkimuksen aiheuttamia kustannuksia. Tällaisen tutkimuksen yhteiskunnalliset hyödyt voivat kuitenkin olla huomattavia: vähäinenkin maatalouden tutkimukseen suunnattu kansainvälinen lisätuki saattaa johtaa ravinnon tuotannon merkittävään kasvuun, kun taas jo suhteellisen pienet leikkaukset saattavat aiheuttaa vakavia kielteisiä vaikutuksia.²⁶² Kansainvälisen tuen merkitys korostuu myös siksi, että köyhimmissä kehitysmaissa maatalouden tutkimusresurssointi on suhteellisesti (so. resurssoinnin osuus maatalouden tuoton arvosta) alhaisempi kuin muissa maissa.²⁶³

²⁶² Rosegrant et al. (1995).

²⁶³ Pardey ja Alston (1996).

SOSIAALISIA NÄKÖKOHTIA²⁶⁴

Monet ekonomistit ja modernin biotekniikan tutkijat ovat arvioineet kasvigeenitekniikan edistävän kestäväen kehityksen mukaista viljelyä, joka vähentää eroosiota, tukee veden taloudellista käyttöä ja auttaa maan ravinnepitoisuuden ylläpitämisessä. Tällöin kestäväen kehityksen mukainen viljely näkyisi 1) torjunta-aineiden käytön vähenemisenä sekä modernin biotekniikan avulla kehitettyjen, nykyistä parempien lajikkeiden hyödyntämisenä sekä 2) sellaisten kasvien käyttönä, jotka helpottavat ympäristösaasteiden levinneisyyden seuraamista ja niiden vähentämistä (bioremediaatio).²⁶⁵

Näitä käsityksiä kasvigeenitekniikan myönteisistä vaikutuksista kehitysmaiden ravintohuoltoon ei kuitenkaan ole varauksetta hyväksytty, ja kielteisissä kannanotoissa kasvigeenitekniikan - tai "geenimanipulaation" - on nähty pikemminkin syventävän kehittyneiden ja kehitysmaiden välistä kuilua ja näin pahentavan nälkäongelmaa. Uusien teknologisten ratkaisujen merkitys maailman ravintohuollon parantamisessa on kyseenalaistettu muun muassa siksi, että aliravitsemuksen syiden on nähty liittyvän pikemminkin sosiaalisiin rakenteisiin (maanomistussuhteet, riippuvuus ulkoisista tuotantopanoksista) kuin tuotannon tehostamiseen sinänsä.²⁶⁶ Tässä yhteydessä kasvigeenitekniikka on nähty suurten monikansallisten yritysten hallitsemana teknologiana, joka lisää kehitysmaiden viljelijöiden riippuvuutta yritysten toimittamasta siemenaineksesta ja torjunta-aineista.²⁶⁷ Riippuvuuden puolestaan pelätään vähentävän kehitysmaiden viljelijöiden kykyä elättää itsensä ja perheensä sekä antavan kilpailuetua suurille tuottajamaille (USA, Australia, Argentiina).

Vihreän vallankumouksen eräiden vaiheiden perusteella huoli ei ole täysin perusteeton: kun maanviljelijät Etelä-Koreassa siirtyivät osin armeijan pakottamina perinteisten lajikkeiden viljelystä uusien tehokkaampien ja kalliimpien lajikkeiden viljelyyn, niin velkaisen viljelijöiden määrä kasvoi 76 prosentista vuonna 1971 peräti 98 prosenttiin vuonna 1988, minkä seurauksena suuri joukko viljelijöitä muutti kaupunkeihin. Sitten monet viljelijät ovat palanneet takaisen perinteisten lajikkeiden viljelyyn.²⁶⁸

Kaiken kaikkiaan kehitysmaiden ravintohuollon parantaminen on äärimmäisen vaikea ongelma, jonka pelkistäminen kokonaistuotantoa ja -kysyntää kuvaaviksi laskennallisiksi

²⁶⁴ Kendall (1997).

²⁶⁵ Watanabe ja Raman (1997).

²⁶⁶ Hildyard (1996).

²⁶⁷ Muun muassa Euroopan parlamentti toteaa mietinnössään "Bioteknologian vaikutukset maatalouteen" (ks. EP, 1998, s. 6), että GMO:iden käyttö seurauksena viljelijät saattavat joutua toimimaan vain muutamien siementoimittajien varassa.

²⁶⁸ Bello ja Rosenfeld (1990).

malleiksi ei huomioi maanomistussuhteiden keskeistä merkitystä aliravitsemuksen taustalla. Laskennallisia ekonometrisiä malleja on kritisoitu erityisesti siitä, että ne korostavat aliravitsemusongelman ratkaisemisessa tuottavuuden kasvattamista (so. satoisampien lajien käyttöä) sen sijaan, että painoa annettaisiin maareformeille ja kehitysmaiden viljelijöiden edellytyksille elättää itsensä kansainvälisen markkinatalouden sijasta paikallistalouden puitteissa, jota maailman ravintohuoltoa kuvaavat mallit eivät huomioi.²⁶⁹

Monien muidenkin ongelmien on esitetty osaltaan pahentavan maailman aliravitsemustilannetta: näitä ovat muun muassa köyhyys, yhteiskunnallisen infrastruktuurin riittämättömyys (esim. tuotteiden markkinoille kuljetuksessa tarvittava tieverkosto), kehitysmaiden kannalta epäedullinen kauppapolitiikka, tuotantopanosten (kuten lannoitteiden) puute, koulutustason alhaisuus sekä vähätuottoiset viljelykäytännöt. Entistä satoisampien lajikkeiden merkitys voi jäädä vähäiseksi, ellei näihin ongelmiin onnistuta löytämään ratkaisuja.²⁷⁰

Modernilla biotekniikalla - jolloin kyse ei ole pelkästään kasvigeenitekniikasta - on kehitysmaissa monisyisiä sosiopoliittisia vaikutuksia. Kehitysmaiden kannalta kolme keskeistä huolenaihetta ovat:²⁷¹

1. Teollistuneiden maiden ja kehitysmaiden välisen kuilun syveneminen sen seurauksena, että geenitekniikan avulla teollistuneet maat voivat osin itse tuottaa niitä tuotteita, joita ne ovat perinteisesti tuoneet kehitysmaista. Esimerkiksi vanilliinin tuotanto teollisuusmaissa on vähentänyt Madagaskarilla tuotettavan vaniljan kysyntää.
2. Suurin osa geneettisistä resursseista sijaitsee kehitysmaissa, ja suurten yritysten pelättään ottavan nämä resurssit käyttöönsä ilman, että paikallinen väestö saa kohtuullista korvausta siitä työstä, jonka se on tehnyt hyödyllisten kasvien tunnistamiseksi ja jalostamiseksi. Rion biodiversiteettisopimuksen 19 pykälän mukaan kehitysmailla on oikeus saada korvaus geneettisten resurssiensa käytöstä.
3. Biotekniikka luultavasti lisää viljelijöiden välistä eriarvoisuutta, koska hyvässä asemassa olevilla viljelijöillä on parhaat edellytykset hyötyä biotekniikasta. Ilman sosiaalisia uudistuksia bioteknisiin innovaatioihin liittyvät hyödyt eivät siis välttämättä jakaudu tasaisesti.

Sosiopoliittiset vaikutukset riippuvat muun muassa siitä, millainen tutkimuskapasiteetti maassa on, mikä on maatalouden osuus viennistä, ja millainen maan maatalouden rakenne ylipäätään on. Eniten biotekniikasta saattavat hyötyä ne kehitysmaat, joilla on vahva tutkimuspotentiaali ja jotka tuovat paljon ruokaa ulkomailta, sillä biotekniikan

²⁶⁹ Hildyard (1996).

²⁷⁰ Ks. <<http://www.ucsusa.org/agriculture/world.food.htm>>.

²⁷¹ Leisinger (1995) ja <<http://www.foundation.novartis.com/biotech.htm#42>>.

avulla ne voivat mahdollisesti lisätä omavaraisuuttaan. Haavoittuvimmassa asemassa ovat puolestaan ne maat, joiden vientituotteet ovat muissa maissa tapahtuvan bioteknisen tuotannon avulla korvattavissa.²⁷²

²⁷² Commandeur ja Rozendaal (1993).

6. TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

Kasvigeenitekniikan taloudellisten vaikutusten tarkastelu tukee seuraavia huomioita:

1. Vuosina 1996 ja 1997 siirtogeenisten kasvien viljelypinta-ala kasvoi 2,8 milj. hehtaarista 12,8 milj. hehtaariin, mistä Pohjois-Amerikan osuus oli 9,4 milj. ha. Saatujen kokemusten valossa siirtogeenisten kasvien viljely on johtanut noin 5-20 % parempaan tuottavuuteen, jonka taustalla ovat parantunut satotaso ja -varmuus sekä alentuneet torjunta-ainekustannukset. Koska perinteisessä kasvinjalostuksessa jo muutaman prosentin sadonlisäystä pidetään suurena, on tässä kysymys erittäin merkittävästä, myös maatalouden kilpailukykyyn vaikuttavasta lisäyksestä.
2. Siirtogeenisten kasvien viljely lisääntyy nopeasti erityisesti Pohjois-Amerikassa, mutta myös Kiinassa, Meksikossa ja Argentiinassa. Vuonna 1998 siirtogeenisiä kasveja viljellään noin 26 milj. hehtaarilla ja vuonna 2000 noin 60 milj. hehtaarilla, mistä Euroopassa noin yksi prosenti. Vuosien 2000 ja 2010 välillä siirtogeenisten kasvien lajikkeiden markkinoiden uskotaan kasvavan 2-3 mrd. dollarista noin 20 mrd. dollariin.
3. USA:ssa GMO-tuotteiden erottelua ja merkitsemistä ei edellytetä, mistä joh-tuen esimerkiksi GMO:ita sisältämättömästä soijasta on siellä muodostumas-sa tavanomaista "bulkisoijaa" kalliimpi erityislaatu. Koska siirtogeenisten la-jikkeiden viljely yleistyy, on mahdollista, että GMO-vapaista elintarvikkeista (joissa ei ole siirtogeenisiä ainesosia) muodostuu tulevaisuudessa oma tuote-ryhmänsä, jonka tuotteet saattavat olla hieman tavallisia kalliimpia. EU:ssa merkintävelvoitteiden mukainen GMO:iden erottelu edellyttää elintarvikeket-jun tuotanto- ja jakelutoimintojen sopeuttamista.
4. Vaikka kasvigeenitekniikka voikin parantaa maatalouden tuottavuutta, niin sen vaikutukset elintarvikkeiden hintoihin jäävät kuitenkin vähäisemmiksi, koska 1) raaka-aineiden osuus on usein verraten pieni osa elintarviketuotteen kulut-tajahinnasta ja 2) elintarvikeketjun eri toimijat voivat pidättää osan tuottavuus-

den lisäyksestä itsellään. Jos esimerkiksi siirtogeenisen rapsin viljelyn tuottavuuslisäys välittyisi täysimääräisenä siitä valmistetun margariinin hintaan, voisi tämä margariini olla pari hprosenttia tavanomaista edullisempi. Huomattava osa markkinoiden kasvua koskevista odotuksista perustuukin laadullisiin ominaisuuksiin - kuten esimerkiksi terveellisempään rasvahappokoostumukseen - jonka tuloksena siirtogeenisestä kasviraaka-aineesta ollaan valmiita maksamaan enemmän.

5. Parhaat resurssit siirtogeenisten sovellusten kaupallistamiseksi on suurilla kansainvälisillä siementuottajilla ja torjunta-ainevalmistajilla, joilla on kattavat patenttisalkut hallussaan. Nämä eivät välttämättä lähde kehittämään lajikkeita Suomen pienille markkinoille. Useimpien kasvien kohdalla Suomen ilmastoon soveltuvat lajikkeet olisi näin ollen kehitettävä joko kotimaisen tutkimus- ja kehitystyön kautta tai risteyttämällä ulkomaisia siirtogeenisiä kasveja kotimaisiin lajikkeisiin, jolloin ulkomaisille yrityksille olisi maksettava rojalteja niiden patenttoimista geeneistä.
6. Viljelyominaisuuksiin perustuvien hyötyjen arviointia vakeuttaa se, että pitkällä aikajänteellä tuottavuuden lisäys riippuu siirtogeenisten kasvien hyötyominaisuuksien pysyvyydestä, jota esimerkiksi geenien leviäminen rikkaruohoihin tai resistenttien hyönteisten kehittyminen voivat uhata. Siirtogeeniset kasvit saattavat menettää ominaisuutensa myös poikkeuksellisissa olosuhteissa. Epävarmuuksista johtuen mahdollisiin ympäristöhaittoihin liittyvien taloudellisten näkökohtien arviointi on vaikeaa.

ARVIOINNIN VAIKEUDET

Kasvigeenitekniikan pitkän aikajänteen taloudellisia vaikutuksia on vaikea ennakoida. Yksi tärkeimmistä syistä tähän on se, että siirtogeenisten kasvien laajamittainen viljely alkoi USA:ssa vasta vuonna 1996, joten tähän mennessä kertyneet kokemukset eivät anna luotettavaa pohjaa koko elintarvikeketjua koskevien arvioiden tekemiselle.²⁷³ Yleinen käsitys teollisuudessa ja kasvigeenitekniikan tutkijoiden piirissä on kuitenkin, että kasvigeenitekniikan sovellukset saattavat parantaa viljelytoiminnan tuottavuutta merkittävästi. Vuosien 1996-97 kokemusten valossa käsitys vaikuttaa perustellulta, koska siirtogeenisten kasvien viljely on useissa tapauksissa johtanut noin 5-20 % suuruiseen sadonlisäykseen.²⁷⁴

²⁷³ USDA (1998).

²⁷⁴ James (1997).

Taloudellisten vaikutusten arvioinnissa keskeistä on niiden rajausten valinta, joiden puitteissa sovellusten säästöjä ja kustannuksia tarkastellaan. Eri tahojen kannanotoissa näitä rajoituksia on linjattu eri tavoin: siinä missä eräät kasvigeenitekniikkaa kannattavat tutkijat ovat korostaneet siirtogeenisten kasvien merkitystä esimerkiksi kehitysmaiden ravinto- ja terveyden turvaamisessa²⁷⁵ (ks. luku 5), niin geenitekniikkaan kriittisesti suhtautuvat tahot ovat painottaneet epätoivottuja ympäristöhaittoja, joiden tuloksena kehitettyjen ominaisuuksien - kuten esimerkiksi hyönteisresistenssin - toimivuus saatetaan menettää (ks. luku 4).²⁷⁶

Seuraava tarkastelu keskittyy 1) niihin tuloksiin, joita siirtogeenisten muunnettujen kasvien viljelystä on parin viime vuoden aikana saatu, 2) arvioihin siitä, miten siirtogeenisten kasvien viljely tulee lähivuosina laajenemaan, 3) karkeisiin arvioihin niistä välittömistä vaikutuksista, joita kasvigeenitekniikan soveltamisella voi olla eräiden suomalaisten viljelykasvien kohdalla, ja 4) luonnehdintoihin siitä, mitä kasvigeenitekniikka saattaa merkitä elintarvikeketjun eri sidosryhmien kannalta. Näkökulma on sikäli kapeahko, että kasvigeenitekniikan välillisiä vaikutuksia (mm. viljelykäytäntöjen muutokset) ei ole erikseen arvioitu; toisaalta tekniikan kehitysnäkymiin liittyvät epävarmuudet eivät salli pidemmälle meneviä johtopäätöksiä.²⁷⁷

Tuloksiin on suhtauduttava seuraavien huomioiden valossa:

1. Siirtogeenisiä sovelluksia tulee jatkuvasti markkinoille, mistä johtuen nykyisten sovellusten tarkastelu ei anna riittävää pohjaa kasvigeenitekniikan tulevan taloudellisen merkityksen arvioinnille. Arviointia vaikeuttaa myös se, että yhtenä vallitsevana kehityssuuntana on useiden ominaisuuksien yhdistäminen samaan kasviin (esimerkiksi virus- ja torjunta-aineresistenssi), jolloin ominaisuuksien kasvinjalostukselliset edut kertautuvat.
2. Vaikka siirtogeeniset kasvit ovat eräin osin osoittautuneet perinteisiä lajikkeita tuottavammiksi, niin tuottavuuden parantuminen ei automaattisesti välity kuluttajalle alennettujen hintojen muodossa. Se, miten suuri osa alkutuotannon tuottavuuden lisäyksestä koituu kuluttajan hyödyksi, riippuu koko elintarvikeketjun rakenteesta (siementoimittajat, torjunta-ainevalmistajat, rehuteollisuus, maatalous, elintarvike-teollisuus, kauppa, kuluttajat) sekä eri osapuolten välisistä neuvottelu- ja kilpailuasetelmista.
3. Siirtogeenisten kasvien laajamittainen viljely muissa EU-maissa tai EU:n ulkopuolella saattaa aikanaan alentaa Suomessa viljeltävien maatalouskasvien sisämarkkinahintoja ja näin vaikuttaa kotimaisen maatalouden elinkelpoisuuteen. Maatalouden kilpailukykyyn kohdistuvista vaikutuksista ei kuitenkaan ole helppo antaa arvioita,

²⁷⁵ Pehu ja Rojas (1998).

²⁷⁶ Rifkin (1998).

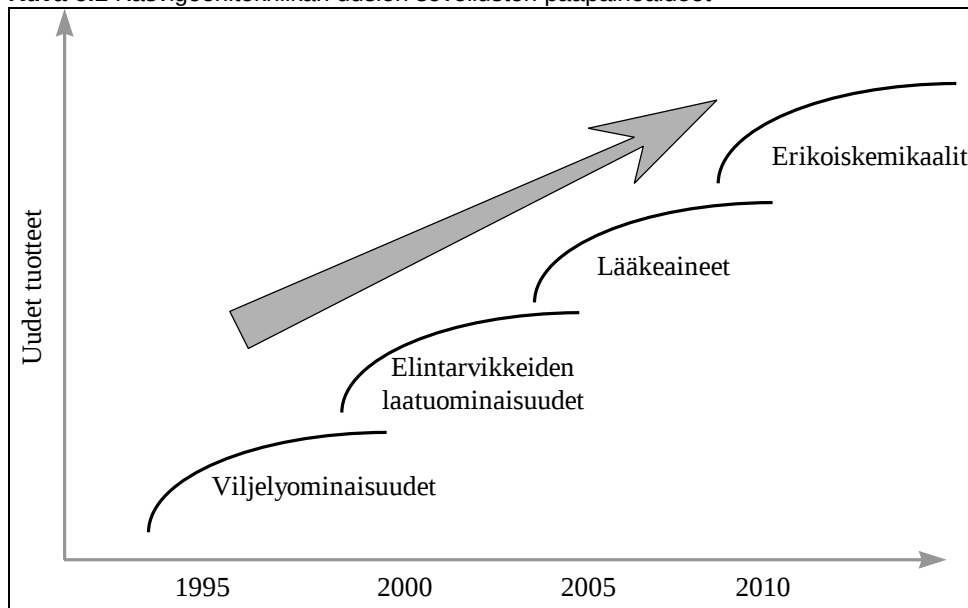
²⁷⁷ USDA (1998).

koska kilpailukyky riippuu olennaisesti enemmän monista muista tekijöistä, joista EU:n yhteinen maatalouspolitiikka (CAP)²⁷⁸ on yksi tärkeimmistä. Kasvigeeniteknikan vaikutukset voivat kuitenkin olla siksi merkittäviä, että kansallisen tutkimus- ja hyödyntämisstrategian kehittäminen saattaa olla tarpeen.²⁷⁹

4. Vaikka kasvigeeniteknikan taloudellista potentiaalia voidaankin arvioida teknologia-lähtöisesti, niin potentiaalin täysimääräisen toteutumisen edellytyksenä on kuluttajien halu ja valmius ostaa siirtogeenisistä kasveista valmistettuja elintarvikkeita. Taloudellisen vaikutusten ennakoinnin kannalta kuluttajien ostokäyttäytyminen on merkittävä epävarmuustekijä, jota ei voida yksioikoisesti laskennallisiin tarkasteluihin sisällyttää.

Tämän luvun painopiste on viljely- ja laatuominaisuuksien tarkastelussa. Silti on syytä huomata, että elintarvikekäyttöön suunnatun maataloustuotannon ohella kasvigeeniteknikka on saamassa uusia käyttökohteita. Seuraavien kymmenen vuoden aikana siirtogeenisten kasvien käyttö yleistyy muun muassa lääkeaineiden tuotannon ja erikoiskemikaalien valmistuksen parissa (ks. kuva 6.1). Esimerkiksi Shell on arvioinut, että vähenevien fossiilisten polttoaineiden käyttöä voitaisiin korvata viljelemällä siirtogeenisiä kasveja öljyraaka-aineen tuottamiseksi.²⁸⁰

Kuva 6.1 Kasvigeeniteknikan uusien sovellusten pääpainoalueet²⁸¹



²⁷⁸ Ks. esimerkiksi http://europa.eu.int/comm/agenda2000/index_fi.htm.

²⁷⁹ Menzler-Hokkanen ja Hokkanen (1998).

²⁸⁰ Paillotin (1998).

²⁸¹ Fraley (1994).

SIIRTOGEENISTEN KASVIEN VILJELY 1996-97²⁸²

Siirtogeeniset kasvit tulivat ensimmäisen kerran tuotannolliseen käyttöön vuonna 1992, kun Kiina aloitti kurkkumosaiikkivirukselle resistentin tupakan viljelyn. Kahta vuotta myöhemmin siirtogeenisten kasvien viljely alkoi USA:ssa. Tällöin markkinoille hyväksyttiin Calgene-yhtiön Flavr Savr®-tomaatti, jossa tomaatin pehmenemisprosessia oli hidastettu säilyvyyden parantamiseksi.

Kiinan ulkopuolella geeniteknikalla muunnettujen kasvien laajamittainen viljely alkoi vuonna 1996. Yksistään *Bt*-puuvillan (ks. luku 4) viljelypinta-ala oli USA:ssa noin 0,7 miljoonaa hehtaaria, ja kaiken kaikkiaan siirtogeenisten kasvien viljelypinta-alan arvelaan olleen noin 2,8 milj. hehtaaria (ks. taulukko 6.1). Viljeltävistä lajeista tärkeimmät olivat tupakka (lähinnä Kiinassa) sekä puuvilla ja soija (ks. taulukko 6.2). Ominaisuuksista yleisimmät olivat hyönteis- ja virusresistenssi (ks. taulukko 6.3).

Vuosina 1996-97 siirtogeenisten kasvien viljelypinta-ala kasvoi lähes viisinkertaiseksi 2,8 milj. hehtaarista 12,8 milj. hehtaariin. Suhteellisesti nopeinta lisääntyminen oli Argentiinassa, Meksikossa ja Kanadassa, joskin USA:n osuus siirtogeenisten kasvien kokonaispinta-alasta oli vuonna 1997 edelleen ylivoimaisesti suurin (64 %). Lajiketasolla nopeimmin lisääntyivät siirtogeenisen maissin, soijan ja kevättrapsin viljely, joiden yhteenlaskettu osuus siirtogeenisten kasvien viljelypinta-alasta oli yli 74 %. Teollisuusmaiden osuus viljelypinta-alasta kasvoi 57 %:ista 75 %:iin vuosina 1996-97.

Taulukko 6.1 Siirtogeenisten kasvien viljely maittain vuosina 1996-1997²⁸³

Maa	1996		1997		Kasvu- kerroin ²⁸⁴
	milj. ha	%	milj. ha	%	
USA	1,5	51	8,1	64	5,6
Kiina	1,1	39	1,8	14	1,6
Argentiina	0,1	4,0	1,4	11	13,0
Kanada	0,1	4,0	1,3	10	9,2
Australia	< 0,1	1,0	0,1	< 1,0	1,6
Meksiko	< 0,1	1,0	< 0,1	< 1,0	10,0
Yhteensä	2,8	100	12,8	100	4,5

Vuosina 1996-97 tapahtuneen siirtogeenisten kasvien viljelyn laajentumisen taustalla ovat:

²⁸² Tiedot perustuvat ISAAA:n raporttiin James (1997).

²⁸³ James (1997).

²⁸⁴ Kerroin ilmaisee, kuinka monta kertaa suurempia vuoden 1997 viljelypinta-alat ovat vuoden 1996 pinta-aloihin verrattuina.

1. Herbisidiresistentin soijan viljelypinta-alan moninkertaistuminen USA:ssa ja osin myös Argentiinassa (0,5 milj. hehtaaria 5,1 milj. hehtaariin).
2. *Bt*-maissin viljelyn lisääntyminen Pohjois-Amerikassa (0,3 milj. hehtaaria 3,0 milj. hehtaariin).
3. Herbisidiresistentin kevättrapsin viljelyn lisääntyminen Kanadassa (0,1 milj. hehtaaria 1,2 milj. hehtaariin).

Taulukko 6.2 Siirtogeenisten kasvien viljelypinta-alat lajeittain vuosina 1996-97

<i>Maa</i>	1996		1997		<i>Kasvu- kerroin</i>
	<i>milj. ha</i>	<i>%</i>	<i>milj. ha</i>	<i>%</i>	
Soija	0,5	18	5,1	40	10,0
Maissi	0,3	10	3,2	25	11,0
Tupakka	1,0	35	1,6	13	1,6
Puuvilla	0,8	27	1,4	11	1,8
Kevättrapsi	0,1	5	1,2	10	9,5
Tomaatti	0,1	4	0,1	1	2,0
Peruna	< 0,1	< 1	< 0,1	< 1	3,0
Yhteensä	2,8	100	12,8	100	4,5

Taulukko 6.3 Viljelypinta-alat ominaisuuksittain vuosina 1996-97

<i>Ominaisuus</i>	1996		1997		<i>Kasvu- kerroin</i>
	<i>milj. ha</i>	<i>%</i>	<i>milj. ha</i>	<i>%</i>	
Herbisidi-to- leranssi	0,6	23	6,9	54	10,7
Hyönteis- resistenssi	1,1	37	4,0	31	3,8
Virus- resistenssi	1,1	40	1,8	14	1,6
Hyönteis- & herbisidi- resistenssi	-	-	< 0,1	< 1,0	-
Laatuomi- naisuudet	0,1	< 1,0	< 0,1	< 1,0	2,0
Yhteensä	2,8	100	12,8	100	4,5

Samalla kun aiemmin kehitettyjen siirtogeenisten kasvien viljely on lisääntynyt, markkinoille on tullut uusia lajikkeita: vuonna 1997 hyväksyntä oli annettu 48 geenitekniikalla muunnetulle kasville, jotka edustivat 12 eri lajia ja 6 ominaisuustyyppiä.²⁸⁵

²⁸⁵ So. hyväksyntä vähintään yhdessä maassa.

Hyväksytyjen tuotteiden kehittäjiä oli kaikkiaan 22. Kahta lukuunottamatta 48 tuotteesta kaikki oli kehitetty yksityisissä yrityksissä, ja lukumääräisesti eniten tuotteita oli Monsanto (9), Plant Genetic Systemsillä (6), Calgenellä (4), De Kalb Geneticsillä (3) ja Novartis Seedsillä (3). Tuotteista muut kaksi oli kehitetty pohjoisamerikkalaisissa yliopistoissa.²⁸⁶

KOKEMUKSIA SIIRTOGEENISISTÄ KASVEISTA²⁸⁷

Siirtogeenisten kasvien viljely on parantanut maatalouden tuottavuutta Pohjois-Amerikassa. Vuonna 1996 puuvillan, maissin ja perunan²⁸⁸ *Bt*-lajikkeista saatu hyöty oli USA:n maataloudessa arviolta 80 milj. dollaria, ja Kanadan herbisidiresistentin rapsin noin 6 milj. dollaria. Vuonna 1997 USA:n *Bt*-maissista saatu hyöty arvioitiin 190 milj. dollariksi.

Soija

Soija²⁸⁹ on peräisin Kiinasta, jossa sitä viljeltiin jo 5000 vuotta sitten. Vuonna 1829 soija tuotiin USA:han, jossa sitä käytettiin aluksi lähinnä sojakastikkeen raaka-aineena. Viime vuosisadan lopulla soijaa alettiin kasvattaa karjan rehuksi. Soijan merkitys arvokkaana valkuaisaine- ja ravintoöljykasvina oivallettiin 1900-luvun alussa.

Soija on maailman tärkein öljykasvi ja merkittävä valkuaisaineen lähde. Euroopan rehutellisuus on valkuaisaineen osalta paljolti USA:n tuonnin varassa. Yhtenä syynä tähän on se, että soijan viljelymahdollisuudet ovat Euroopassa huonot, koska soija ei kuki pohjoisilla leveysasteilla tarpeeksi aikaisin. Toisaalta vuonna 1992 voimaan astunut EU:n ja USA:n välinen *Blair House Agreement* asettaa kiintiöt öljykasvien viljelylle EU:ssa, minkä tuloksena EU:n on käytännössä ostettava soijaa Euroopan ulkopuolelta.²⁹⁰

Vuonna 1996 noin 52 % maailman öljysiementuotannosta tuotettiin soijasta. Tärkeimpiä soijan tuottajia olivat USA (49 %), Brasilia (20 %), Kiina (10 %) ja Argentiina (9 %). Maailman kokonaistuotanto oli 132,5 milj. tonnia, mistä kansainvälisen kaupan piiriin tuli 24,4 milj. tonnia. USA:n osuus soijan viennistä oli 69 %, ja merkittävä osa tästä viennistä suuntautui Eurooppaan: vuonna 1997 EU-viennin arvo vastasi lähes kolmasosaa USA:n soijapapujen viennin kokonaisarvosta.

²⁸⁶ James (1997).

²⁸⁷ James (1997).

²⁸⁸ USA:ssa viljeltiin vuonna 3 650 hehtaarilla koloradokuoriasta kestävä perunaa, joka alensi torjuntakustannuksia noin 66 mk/ha ja lisäsi sadon määrää ja laatua noin 251 mk/ha:n arvosta.

²⁸⁹ Latinankielinen nimi *Glycine max*. Yleistietoa soijasta löytyy sivulta <<http://www.ag.uiuc.edu/%7Estratsoy/97soystats/pg2.html>>.

²⁹⁰ Ks. <<http://www.useu.be/agri/issues.html#blair>>.

Arviolta noin 60 % elintarvikkeista sisältää soijaa tai sen jatkojalosteita muodossa tai toisessa. Kokonaisia soijapapuja käytetään esimerkiksi tofun ja soijamaidon valmistukseen, kuoriosasta valmistetaan erilaisia jauhoja sekä eläinten rehuna käytettävää rouhetta, soijaöljyä käytetään margariineissa ja salaatinkastikkeissa, ja soijasta valmistettavaa lesitiiniä²⁹¹ on kekseissä ja jäätelöissä.²⁹²

Vuonna 1996 herbisidiresistentin, geenitekniikalla muunnetun soijan viljelypinta-ala oli USA:ssa noin 0,4 milj. hehtaaria, eli noin 2 % soijan kokonaisviljelypinta-alasta. Herbisidiresistenssiominaisuus soijassa mahdollistaa rikkakasvien paremman hallinnan, jolloin satovarmuus paranee.

Vuonna 1996 siirtogeeninen soija vähensi rikkakasveja vastaan käytettyjen torjunta-aineiden käyttöä noin 10-40 %, ja suurin osa (75 %) viljelijöistä käytti torjunta-aineita vain kerran. Viljelijät olivat yleisesti ottaen kokemuksiinsa tyytyväisiä. Tästä kertoo se, että vuonna 1997 siirtogeenisen soijan viljelijöiden lukumäärä viisinkertaistui ja viljelypinta-ala yhdeksänkertaistui vuoteen 1996 verrattuna.

Maissi

Maissi on peräisin Meksikon ja Guatemalan ylängöiltä, joilta se tuotiin Eurooppaan vuonna 1494. Maissia käytetään muun muassa murotuotteissa, tärkkelyksen valmistuksessa, juomavalmisteissa ja eläinten rehuna. Suurin tuottajamaa on USA, jonka osuus on noin 41 % maailman kokonaistuotannosta. EU:ssa tuotetaan maissia noin 37,9 milj. tonnia eli noin 7 % prosenttia maailman kokonaistuotannosta.²⁹³ EU on maissin suhteen lähes omavarainen, joskin vuositasolla EU tuo noin 5 % (1,8 milj. tonnia) kulutuksestaan USA:sta.

Yksi haitallisimmista maissin tuholaisista on maissikoisa, joka vaivasi vuonna 1996 noin puolta USA:n maissiviljelyksistä. Maissikoisa elää maissin varren sisällä, joten sen torjuminen torjunta-aineruiskutuksella on vaikeaa. Maissikoisan aiheuttamat tuhot ovat tyypillisesti noin 9 %:n luokkaa, toisinaan jopa 30 %.

Vuonna 1996 USA:ssa viljeltiin 0,28 milj. hehtaarilla *Bt*-maissia²⁹⁴, jonka tuottama proteiini on maissikoisalle myrkyllinen (ks. luku 4). Keskimääräinen sadonlisäys *Bt*-maissi-

²⁹¹ Lesitiini on soijassa ja munankeltuaisissa runsaana esiintyvä fosfolipidi, jota käytetään emulgointi- ja hapenestoaineena (E322).

²⁹² Ks. ESTO (1988) ja <<http://www.ag.uiuc.edu/%7Estratsoy/97soystats/pg20.html>>.

²⁹³ Tiedot ennakoarvioita kaudelle syyskuu 1997-elokuu 1998; ks.

<<http://www.ncga.com/02world/page02.html>>.

²⁹⁴ Yleistietoa *Bt*-resistenssistä on luvussa 4 sekä internetissä esimerkiksi sivulla

<<http://gophisb.biochem.vt.edu/news/1995/news95.dec.html#dec9509>>.

viljelmillä oli 9 %, mikä vastasi noin 360 mk/ha²⁹⁵ lisätuottoa. *Bt*-maissin voidaan tältä pohjalta arvioida johtaneen noin 102 milj. mk arvoiseen sadonlisäykseen, joskaan tämä arvio ei sisällä torjunta-aineiden käytön vähentymisestä syntyneitä säästöjä. Useimmat viljelijät olivat *Bt*-maissiin tyytyväisiä, sillä vuonna 1997 *Bt*-maissin viljelypinta-ala kymmenkertaistui ja nousi 9 %:iin maissin kokonaisviljelypinta-alasta.

Rapsi

Kanadalaista rapsia²⁹⁶ (engl. canola) viljellään ensisijaisesti siitä saatavan korkealaatuisen, vain vähän (7 %) tyydyttyneitä rasvahappoja sisältävän öljyn takia.

Herbisidiresistentin rapsin²⁹⁷ viljelypinta-ala oli Kanadassa 0,12 milj. hehtaaria vuonna 1996. Saatu sato oli keskimäärin 9 % suurempi, ja sato oli myös parempilaatuista: 85 % siitä kuului parhaaseen laatuluokkaan, kun tavallisesta rapsista parhaassa laatuluokassa oli 63 %. Herbisidiresistentti rapsi vähensi torjunta-aineiden käyttöä, koska neljä viidestä viljelijästä selvisi yhdellä torjunta-ainekäsittelyllä. Niin ikään siirtogeeninen rapsi salli rikkakasvien torjunnan vapaamman ajoituksen ja helpotti eroosiota ehkäisevää kevyt-muokkausta. Siirtogeenisen rapsin arvioidaan lisänneen viljelijöiden tuloja noin 270 mk/ha. Vuonna 1997 sen viljelypinta-ala kymmenkertaistui Kanadassa ja kasvoi näin 25 %:iin rapsin kokonaisviljelypinta-alasta (noin 12 milj. ha).

Tupakka

Siirtogeenistä tupakkaa on Kiinassa viljelty kaupallisesti vuodesta 1992 lähtien. Vuosina 1994-95 käyttöön otettiin lajike, jolla on torjuntakyky sekä kurkkumosaiikkivirusta että tupakkamosaiikkivirusta vastaan. Vuoteen 2000 mennessä siirtogeenisen tupakan osuus Kiinan kaikesta tupakan viljelystä nousee noin 70 %:iin.

Siirtogeenisen tupakan viljely on johtanut keskimäärin noin 5-7 % suurempaan satoon. Torjunta-ainekäsittelyjen lukumäärää on vähentynyt neljään tai viiteen aiemman seitsemän sijasta.

Puuvilla

Puuvillaa tuotetaan maailmassa vaatetusteollisuuden raaka-aineeksi noin 19 400 milj. tonnia vuodessa. Tärkeimpiä tuottajamaita ovat Kiina (22 %), USA (21 %), ja Intia (15 %) ²⁹⁸.

²⁹⁵ Hehtaarikohtaiset muutokset sadon arvoissa on muunnettu markkoiksi kurssilla \$1 = 5,34 mk.

²⁹⁶ Ks. <<http://www.canolainfo.org/html/canola.html>>.

²⁹⁷ Kyseessä glyfosaatti- ja glufosinaattivalmisteet; ks. <<http://www.oecd.org/ehs/canreg.htm>>.

²⁹⁸ Arvio kasvukaudelle 1.8.1996-30.7.1997 (ks. <<http://www97.cottonusa.org/market.htm>>).

Puuvillan tuholaisista tärkeimpiä ovat puuvillakoisa ja puuvillakärsäkäs, joita voidaan torjua *Bacillus thuringiensis*-bakteerin tuottamalla toksiinilla (ks. luku 4). Vuonna 1996 USA:ssa viljeltiin 0,7 milj. hehtaaria kahta siirtogeenistä *Bt*-puuvillalajiketta, joista saatiin keskimäärin 7 % suurempi sato kuin tavallisesta puuvillasta. Valtaosa viljelijöistä (70 %) ei tarvinnut yhtään torjunta-ainekäsittelyä em. tuholaiden torjumiseksi, ja suurin osa muista selvisi yhdellä torjunta-ainekäsittelyllä tavanomaisten 4-6 käsittelykerran sijaan.

Viljelijät maksoivat *Bt*-puuvillan käytöstä teknologiamaksua noin 420 mk hehtaarilta, mutta saivat silti lisännettötuoloja noin 430 mk/ha. Lähes kaikki (98 %) suunnittelivat jatkavansa *Bt*-puuvillaa viljelyä. Vuonna 1997 *Bt*-puuvillan viljelypinta-ala kasvoi noin 18 %:iin USA:n puuvillan koko viljelypinta-alasta.

Noin 1-2 %:lla siirtogeenisistä viljelyksistä Monsanto *Bt*-puuvilla ei kuitenkaan toiminut odotusten mukaisesti. Eräissä USA:n eteläisissä osavaltioissa kesä 1996 oli poikkeuksellisen kuuma ja kuiva, mistä johtuen kasvien proteiinituotanto ja sen osana myös *Bt*-toksiinin tuotanto vähentyi. Koska puuvillakoisa viihtyy erinomaisesti kuivassa, se aiheutti merkittäviä tuhoja myös *Bt*-puuvillaviljelmissä. Monsanto suositteli viljelijöille puuvillakoisan torjumista tavanomaisten kemiallisten torjunta-aineiden avulla. Tästä viljelijät olivat kuitenkin tuhtuneita, koska he olivat jo maksaneet *Bt*-puuvillan siemenestä korkeamman hinnan.²⁹⁹

Kokemusten analyysi

Vuosina 1996-97 Pohjois-Amerikassa saadut kokemukset puoltavat seuraavia päätelmiä:

1. *Siirtogeenisten kasvien viljely on johtanut merkittäviin sadon lisäyksiin.* Useimmissa yllä raportoiduissa tapauksissa sadon lisäys on ollut 5-10 %. Koska tavanomaisessa kasvinjalostuksessa jo muutaman prosentin suuruista sadonlisäystä pidetään hyvänä saavutuksena, on tässä kysymys erittäin merkittävästä lisäyksestä.
2. *Viljelijät ovat yleisesti ottaen olleet tyytyväisiä siirtogeenisten kasvien viljelyyn.* Tätä johtopäätöstä tukee se, että siirtogeenisiä lajikkeita ensimmäistä kertaa viljelleet viljelijät ovat jatkaneet lajikkeiden käyttöä myös seuraavana vuonna: siirtogeenisten kasvien viljelypinta-alan voimakasta kasvua vuosina 1996-1997 ei olisi tapahtunut, mikäli kokemukset olisivat olleet kielteisiä.
3. *Siirtogeenisten lajikkeiden viljely on monissa tapauksissa johtanut torjunta-aineiden käytön vähenemiseen.*³⁰⁰ Vähenemisen taustalla ovat olleet 1) kasvien hyönteisresistenssi, mikä on vähentänyt tarvetta torjua tuhohyönteisiä kemiallisilla torjunta-ainekäsittelyillä, sekä 2) torjunta-aineresistenssi, jolloin rikkakasvien hävittämiseksi käy-

²⁹⁹ Kaiser (1996), Reifenberg ja Rundle (1996).

³⁰⁰ Tehoaineen määrällä mitattuna.

tettyjen tavanomaisten torjunta-aineiden käyttöä on voitu korvata glyfosaatti- ja glufosinaattivalmisteilla. Näitä tarvitaan tehoaineen määrällä mitattuna vähemmän ja ne hajoavat luonnossa nopeammin.

4. *Kaikissa olosuhteissa siirtogeeniset lajikkeet eivät ole vastanneet niihin asetettuja odotuksia.* Esimerkiksi USA:n eteläisissä osavaltioissa kuuma ja kuiva kesä muuttivat vuonna 1996 puuvillan normaalia proteiinisynteesiä siten, että noin 1 %:lla viljelyksistä *Bt*-puuvilla ei tuottanut riittävästi *Bt*-toksiinia, joka olisi antanut sille vastustuskyvyn puuvillakoisaa vastaan.

Tähän mennessä saatujen kokemusten pohjalta tehtäviä yleistyksiä vaikeuttaa kuitenkin se, että pitkällä aikajänteellä tuottavuuden lisäykset riippuvat siirtogeenisten lajikkeiden hyötyominaisuuksien pysyvyydestä, jota esimerkiksi geenien leviäminen rikkaruohoihin tai resistenttien hyönteisten kehittyminen voivat uhata (ks. luku 4)³⁰¹. Niin ikään epävarmuuksia liittyy siirtogeenisten kasvien ominaisuuksien herkkyyteen ympäristöolosuhteille. Tällöin on syytä huomata, että eräissä olosuhteissa - kuten esimerkiksi sateisina kausina - siirtogeeniset kasvit toimivat myös silloin, kun kemiallista torjunta-aineita ei voida käyttää.

SIIRTOGEEENISET KASVIT SUOMESSA

Suomessa on tehty kenttäkokeita siirtogeenisillä kasveilla³⁰², mutta tuotannollisessa viljelyssä niitä ei ole. Seuraavassa esitetään esimerkinomaisia arvioita siitä, mitä kasvigeenitekniikka saattaisi merkitä eräiden suomalaisten viljelylajien kohdalla. Tarkastelun kohteeksi on otettu sokerijuurikas, rypsi, rapsi ja peruna, joista kaikista siirtogeenisiä lajikkeita on joko olemassa tai lähitulevaisuudessa saatavilla.

Sokerijuurikas³⁰³

Vuonna 1997 sokerijuurikkaan viljelypinta-ala oli 35 000 hehtaaria ja tuotannonarvo noin 406 milj. mk. Keskimääräinen hehtaarisato oli 39 000 kg, josta viljelijä sai tuloa noin 10 000 mk.³⁰⁴ Rikkakasveja vastaan käytettävät torjunta-aineet ovat sokerijuurikkaan viljelyssä merkittävä kustannuserä. Tyypillisesti torjunta-aineita ruiskutetaan kolme kertaa satokauden aikana siten, että kasvukauden aikana niitä käytetään yli 3 kg/ha. Torjunta-ainekustannukset ovat noin 1 300 mk/ha, eli yli 10 % viljelijän saamasta tuotosta.

³⁰¹ Perinteisessä taudinkestävyysjalostuksessa uusien lajikkeiden kestoikä jää yleensä varsin lyhyeksi, usein vain muutamaan vuoteen.

³⁰² Erittely EU:n kenttäkoetilanteesta löytyy internetistä sivuilta http://biotech.jrc.it/breakdown_country.htm ja <http://biotech.jrc.it/fi.htm>.

³⁰³ Tiedot perustuvat maa- ja metsätalousministeriön tiedotuskeskuksen antamiin tilastoihin sekä Sokerijuurikkaan tutkimuskeskuksen asiantuntijalausuntoihin.

³⁰⁴ Maataloustuet eivät sisälly tähän tuloon.

Kesällä 1997 Sokerijuurikkaan tutkimuskeskuksessa aloitettiin koeviljely geeniteknikaalla muunnetuilla sokerijuurikkailla. Koeviljelyssä oli yhteensä noin 3-4 aaria rikkakasvihävitettä³⁰⁵ kestäviä (so. herbisidiresistenttejä) sokerijuurikkaita, joiden siemenaines oli peräisin Saksasta ja Ruotsista. Tuotannolliseen viljelyyn nämä sokerijuurikkaat saattaisivat tulla Suomessa ehkä vuonna 2001, mikäli koeviljelystä saadut kokemukset ovat myönteisiä ja sokerijuurikkaan ostajat tukevat siirtogeenisten lajikkeiden viljelyä.

Tutkimuskeskuksen arvioiden mukaan siirtogeenisiä sokerijuurikkaita sekä niitä varten soveltuvia hävitteitä käyttämällä voidaan säästää noin 60 %-75 % torjunta-ainekustannuksissa, mikä vastaa osapuulle 850 mk:n säästöä hehtaarilta. Säästö syntyy siitä, että torjuntakertojen määrä voidaan tyypillisesti vähentää kolmesta kahteen samalla kun ruiskutettavan torjunta-aineen määrä vähenee. Lisäksi siirtogeenisten sokerijuurikkaiden viljely antaa vähintään 5 % sadonlisäyksen (noin 500-2000 kg/ha), mikä vastaa 150-600 mk:n lisätuloa hehtaarilta. Säästöjä arvioitaessa on huomattava, että siirtogeenisen sokerijuurikkaan siemen on kalliimpaa, jolloin siemenen myyjä pystyy pidättämään osan tuottavuuden parantumisesta - ehkä noin puolet - itsellään.

Yllämainitut arviot perustuvat yksinomaan herbisidiresistenssiominaisuuden tarkasteluun. Kasvinjalostusyritysten tavoitteena on myös tauti- ja hyönteisresistenttien sokerijuurikkaiden kehittäminen, joiden viljely ei Euroopassa luultavasti yleisty ennen vuotta 2003. Juurikasankeroisia kestäviä sokerijuurikkaita on Saksassa olemassa, ja niillä saattaisi olla merkitystä Suomessakin. Myös taimipoltetta kestävä sokerijuurikas voi tulla viljelyyn, vaikka tautiongelmat ovatkin Suomessa verraten vähäisiä. Yksi tärkeimmistä kehitystyön tavoitteista on myös muita sokereita kuin sakkaroosia tuottavien sokerijuurikkaiden kehittäminen. Näiden viljely saattaisi alkaa vuoden 2010 vaiheilla.

Rypsi ja rapsi

Vuonna 1997 Suomessa viljeltiin rypsiä ja rapsia yhteensä noin 61 000 hehtaaria.³⁰⁶ Kokonaistuotannon määrä oli 92 000 tn, mistä suurin osa oli rypsiä (97 %). Rypsiä viljellään Etelä- ja Keski-Suomessa, kevätropsia vain Etelä- ja Luonais-Suomen rannikkoseuduilla. Käyttötavoiltaan rypsi ja rapsi ovat varsin samanlaisia, ja molemmat ovat öljysiemenkasveja, joista puristetaan kasviöljyä. Puristuslaitoksia Suomessa on kaksi (Raisio ja Mildola), jotka puristavat yhteensä noin 140 000 tn vuodessa rypsiä ja rapsia. Kotimaisen tuotannon lisäksi Suomeen tuodaan rapsia Ranskasta ja Skotlannista sekä noin 165 000

³⁰⁵ Molemmat ovat kaikkiin kasveihin tehoavia ja nopeasti hajoavia totaalihävitteitä; *Roundup* sisältää glyfosaattia ja *Basta* glufosinaatti-ammoniumia.

³⁰⁶ Yleistietoa suomalaisesta öljykasvinviljelystä löytyy sivulta <http://www.agronet.fi/rypsi2000/koti.htm>. Blair House-sopimus asettaa viljelyalan kiintiöksi 70 000 ha, mistä on vähennettävä 10 % kesantovelvoite.

tn soijaa USA:sta. Koko öljykasvialan kotimainen liikevaihto on noin 600 milj. mk vuodessa.

Rypsilille - toisin kuin monille muille kasveille - ei tällä hetkellä ole olemassa hyvin soveltuvia rikkakasvien torjunta-aineita. Markkinoilla olevat valmisteet sisältävät kahta eri tehoainetta rikkakasvien torjumiseksi. Toinen tehoaineista, *trifluraliini*, on levitettävä ennen kylvöä ja kynnettävä maahan, jolloin käsittelyn kustannukseksi tulee keskimäärin 140 mk/ha. *Metatsakloria* sisältävää valmistetta voidaan ruiskuttaa joko ennen öljykasvien taimettumista tai taimettumisen jälkeen, joskin metatsaklori saattaa helposti vahingoittaa rypsikasvustoa. Niinpä rypsilviljelmillä torjunta-aineita käytetään käytännössä vain harvoin: noin 20 % viljelijöistä käyttää trifluraliinivalmisteita, kun taas metatsaklorin käyttö on lähinnä periaatteellinen mahdollisuus, jota ei ole käytännössä sovellettu.

Suomessa on tehty kenttäkokeita laatuominaisuuksiltaan muunnetuilla rapsilla, mutta kokemuksia herbisidiresistentin rypsin tai rapsin viljelystä ei ole. Kanadan rapsiviljelmiltä saatujen kokemusten perusteella voidaan arvioida, että herbisidiresistentti rypsi lisäisi sattoa noin 10-20 %, mikä nykyisillä viljelyaloilla tarkoittaisi noin 9 000-18 000 tonnin lisäystä kokonaissattoon. Osa sadonlisäyksen hyödyistä kului siemenen korkeampaan hintaan sekä herbisidiresistenssin kautta mahdollisiksi tuleviin torjunta-ainekäsittelyihin, jotka osin korvaisivat nykyistä trifluraliinin käyttöä.

Ilmaston kylmyydestä johtuen kaupalliseen viljelyyn tarkoitettut herbisidiresistentit rypsi- ja rapsilajikkeet olisi luultavasti kehitettävä Suomessa³⁰⁷, jolloin kysymykseen tulisi lähinnä *Monsanton* ja *AgrEvo*n patenttoimien herbisidiresistenssigeenien lisensointi suomalaisen kasvinjalostuksen käyttöön. Nämä geenit mahdollistaisivat glyfosaatti- ja glufosinaattivalmisteiden käytön rypsi- ja rapsiviljelmillä.

Jos siirtogeenisen rapsin viljely yleistyy esimerkiksi Tanskassa, niin suomalainen rypsin tuotanto saattaa menettää kilpailukykyään sisämarkkinoilla. Merkitystä on myös sillä, katsotaanko rypsiä ja rapsista saadun puhdistetun (raffinoidun) öljyn - jota käytetään muun muassa margariineissa - olevan samanlaista riippumatta siitä, onko se peräisin perinteisin menetelmin vai geenitekniikan avulla jalostetusta lajikkeesta. Siirrettyä geeniä (so. DNA:ta) tai sen tuottamaa valkuaisainetta ei voida löytää kuumapuristetusta öljystä, kun taas kylmäpuristetusta öljystä ne ovat riittävien herkkien analyysimenetelmien avulla osoitettavissa.³⁰⁸

³⁰⁷ Suomessa menestyviä lajikkeita voidaan viljellä myös Skotlannissa.

³⁰⁸ Ks. merkintäkäytännöt luvussa 7.

Toisin kuin useimmilla muilla viljelyskasveilla Suomessa, rypsilä on luonnossa viljejä sukulaisia ja se esiintyy muilla viljelmillä rikkakasvina. Tästä johtuen siirtogeeniseen rypsiin liittyy enemmän mahdollisia ympäristöhaittoja kuin muihin viljelykasveihin: esimerkiksi Tanskassa geenin siirtymisen rapsista sen viljeihin sukulaiskasveihin on osoitettu olevan mahdollista.³⁰⁹

Peruna

Vuonna 1997 perunan viljelypinta-ala oli noin 33 000 hehtaaria ja kokonaissato 750 milj. kg. Viljelypinta-alasta suurimmat osuudet olivat teollisuuden tarvitseman tärkkelyksen sekä ruokaperunan tuotannossa, mutta myös ruokaperunateollisuutta ja siemenperunatuotantoa tukeva viljely oli merkittävää. Perunantuotannon kokonaisarvo oli noin 500 milj. mk, josta siemenperunan osuus oli noin 100 milj. mk.

Suomessa tehdään tutkimustyötä Y-viruksenkestävän perunan jalostamiseksi muun muassa *Pito*- ja *van Gogh*-lajikkeilla. Y-virus on perunalla merkittävä haitta, koska se alentaa satotasoa ja estää perunasadon käytön siemenenä, mistä johtuen siemenperunaa on jatkuvasti uudistettava.³¹⁰ Jos Y-viruksenkestävyyden jalostamisessa onnistutaan, perunanviljelyssä voitaisiin päästä noin 5-30 % suurempiin satoihin. Tutkimustyötä tehdään myös koloradokuoriaisen kestävän perunan kehittämiseksi, jolla olisi markkinoita muun muassa Venäjällä.

Paraikaa tutkimustyötä tehdään myös perunan laatuominaisuuksien kehittämiseksi. Esimerkiksi *Svalöf Weibull AB* Ruotsissa on jalostanut paperiteollisuutta varten muunnettua tärkkelystä (amylopektiinia) sisältävän perunan. *Svalöf Weibull AB* on myös kehittänyt kylmänkestävää perunaa, joka ei kuitenkaan ole vielä markkinoilla.

Ilmastollisia erityistekijöitä

Suomen pohjoiseen sijaintiin liittyy kasvigeenitekniikan kannalta eräitä erityistekijöitä:

1. Suomessa viljeltävät lajikkeet on pääosin jalostettava kotimaassa, koska eteläisempien leveysasteiden olosuhteita varten jalostetut kasvit eivät täällä kasva. Tarvittava jalostustyö voidaan tehdä joko kotimaisen tutkimus- ja kehityspanostuksen kautta tai risetteyttämällä ulkomaiset siirtogeeniset kasvit kotimaisiin lajikkeisiin, jolloin ulkomaisille yrityksille on maksettava rojalteja niiden patentoimista geeneistä.
2. Rikkakasvi- ja tuholaishaitat ovat Suomessa pienempiä kuin monissa muissa maissa, mistä johtuen torjunta-aineita tarvitaan täällä vähemmän kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa. Siksi herbisidi- ja hyönteisresistenttien lajikkeiden edut ovat Suomessa

³⁰⁹ Ks. Mikkelsen et al. (1996) ja <<http://www.sciam.com/0596issue/0596techBus01.html>>.

³¹⁰ Ks. <<http://www.agronet.fi/spk/SPK.HTM>>.

suhteellisesti ottaen vähäisempiä kuin sellaisissa maissa, joissa rikkakasvi- ja tuholaishaitat ovat todella huomattavia.

3. Suomessa viljeltävillä kasveilla ei yleensä ole luonnossa menestyviä sukulaisia, joiden kanssa ne voisivat risteytyä. Tästä johtuen vaara geenien siirtymisestä luontoon on pienempi kuin esimerkiksi Etelä-Euroopassa. Tärkeimpinä poikkeuksina ovat rypsi ja rapsi, joiden ei kuitenkaan täällä ole osoitettu risteytyvän villien sukulaistensa kanssa.³¹¹

Arviot siitä, milloin geenitekniikalla muunnettujen kasvien viljely saattaisi Suomessa yleistyä vaihtelevat varsin paljon. Rypsin osalta on nähty mahdollisena, että ravintolaa-
dun parantamiseen (so. proteiini- ja lysiniipitoisuuden nostamiseen) tähtäävät sovellukset
voisivat tulla käyttöön noin kolmen vuoden kuluttua, kun taas viruksenkestävän perunan
käyttöönotto saattaisi tapahtua 5-7 vuoden kuluttua. Useimpien tutkijoiden mukaan kas-
vigeenitekniikka tulee olemaan merkittävä tekijä suomalaisessa kasvinjalostuksessa noin
5-10 vuoden kuluttua edellyttäen, että kuluttajat hyväksyvät geenitekniikalla muunne-
tuista kasveista valmistetut elintarvikkeet.³¹²

SIIRTOGEENISTEN KASVIEN VILJELYN LAAJENTUMINEN

Siirtogeenisten kasvien viljelyn laajentuminen jatkuu nopeana erityisesti USA:ssa. Suun-
taa-antavien arvioiden mukaan viljelypinta-alat kasvavat siten, että vuonna 1998 siirto-
geenistä soijaa viljellään noin 15 milj. hehtaaria, maissia hieman yli 8 milj. hehtaaria,
puuvillaa ja rapsia 2,5 milj. hehtaaria kumpaakin, ja vihanneskasveja noin 0,5 milj. heh-
taaria.³¹³ USA:ssa tuotetaan vuonna 1998 noin 30 % soijasta, 25 % maissista ja 40 %
puuvillasta siirtogeenillä lajikkeilla³¹⁴, ja vuonna 1999 siirtogeenisen soijan osuuden
arvellaan kasvavan noin 50 %:iin.³¹⁵ Vuonna 2000 siirtogeenisten lajikkeiden
kokonaispinta-alan arvioidaan kasvavan 60 milj. hehtaariin vuoden 1998 26 milj.
hehtaarista. Samalla sovelluksiin tulee enemmän toisen sukupolven ominaisuuksia (kuten
virusresistenssi, ravitsemuksellinen laatu ja makuominaisuudet), joiden kehitys on tällä
hetkellä varsin pitkällä.³¹⁶

Myös tarjolla olevien lajikkeiden lukumäärää kasvaa. Kun vuonna 1996 USA:n markki-
noilla oli kaksi siirtogeenistä puuvillalajiketta, niin vuonna 1997 niitä oli kymmenen ja
vuonna 1998 arviolta 28. Näin yksittäisellä viljelijällä on periaatteessa enemmän valin-

³¹¹ Haastattelu, Eija Pehu (Helsingin yliopisto).

³¹² Ks. Salo ja Kauppinen (1997).

³¹³ OPECST (1998).

³¹⁴ Economist (1998).

³¹⁵ ESTO (1998).

³¹⁶ OPECST (1998).

nanvaraa, joskin siementuottajien asema pysyy vahvana muun muassa alan jatkuvan ja myös perinteistä jalostustoimintaa koskevan fuusioitumisen vuoksi. Valtaosa hyväksytyistä tuotteista on lähtöisin USA:sta, kun taas Euroopassa kehitettyjen ja markkinoille hyväksyttyjen tuotteiden osuus on maailman kaikista tuotteista noin 5 %.³¹⁷

Tuoreessa selvityksessään³¹⁸ USA:n maatalousministeriö USDA on ennakoanut niitä muutoksia, joihin kasvigeenitekniikka johtaa maataloudessa. USA:n tilanteen kehittymistä kuvaavat seuraavat huomiot:

1. Innovaatiotoiminta jatkuu voimakkaana ja mahdollisesti kiihtyy voimakkaan tutkimuspanostuksen tukemana. Eri ominaisuuksien yhdistely siirtogeenisissä lajikkeissa yleistyy (esim. herbisidiresistenssi ja laatuominaisuudet samassa kasvilla).
2. Viljelijät ottavat uutta tekniikkaa nopeasti käyttöön, mikäli sen hyötyjä (satoisuus, riskien hallinta) pidetään haittoja suurempina. Myös muissa maissa viljelijöiden arvelaan viljelevän siirtogeenisiä kasveja laajalti, mutta käyttöönoton nopeus sekä viljeltävät lajit voivat vaihdella.
3. GMO:ita sisältämättömistä elintarvikkeista voi syntyä pienehkö, luomutuotteita muistuttava erityismarkkina. On luultavaa, että GMO:ita sisältämättömien elintarviketuotteiden hinta tulee olemaan tavallisia tuotteita korkeampi, koska niiden tuottaminen edellyttää koko jalostusketjun ylittävää erillistä seurantaa, varastointia ja kuljetusta.

Pidemmällä aikajänteellä USDA näkee siirtogeenisten lajikkeiden yleistymisen riippuvan siitä, miten herkkiä ne ovat sääolojen vaihtelulle (esim. kuivuus, kuumuus) sekä miten hyvin lajikkeet säilyttävät myönteiset ominaisuutensa muun muassa hyönteisten tai kasvien epätoivottua resistenssin kehittymistä vastaan (vrt. *Bt*-lajikkeet luvussa 4).³¹⁹

Siirtogeenisten kasvien viljely laajentuu nopeasti Aasiassa, jossa siirtogeenisen riisin arvellaan nostavan riisin satoisuutta 10-25 % seuraavien 10 vuoden aikana³²⁰ (vrt. taulukko 7.4). Euroopassa siirtogeenisten lajikkeiden viljely on vuonna 2000 vähäistä. Tuoreessa, Ranskan parlamentille laaditussa teknologia-arviointiselvityksessä tätä on pidetty riskinä eurooppalaisen maatalouden kilpailukyvyille maailmanmarkkinoilla.³²¹

Taulukko 7.4 Siirtogeenisten kasvien viljelyn alueellinen jakauma vuosina 1998 ja 2000³²²

	1998	2000
Pohjois-Amerikka	88 %	81 %
Latinalainen amerikka	6 %	8 %
Aasia	6 %	10 %

³¹⁷ Euroopan parlamentin mietintö "Bioteknologian vaikutukset maatalouteen", EP (1998).

³¹⁸ USDA (1998), ss. 42-43.

³¹⁹ Ks. USDA (1998).

³²⁰ Ks. WorldBank (1997).

³²¹ OPECST (1998).

³²² OPECST (1998). Luvut perustuvat osin Rhône-Poulence Agro:n antamiin tietoihin.

Eurooppa	-	1 %
----------	---	-----

ELINTARVIKEKETJUN SIDOSRYHMÄT

Elintarvikeketjun eri sidosryhmillä on erilainen suhde kasvigeenitekniikkaan. Siementuottajat pyrkivät tuottamaan siirtogeenistä siementä, jota maanviljelijät ovat valmiita ostamaan, joko paremman tuottavuuden tai sellaisten laatuominaisuuksien vuoksi, joiden perusteella sato on myytävissä korkeampaan hintaan. Elintarviketeollisuuden kannalta kyse on uusista raaka-aineista, joihin liittyvät merkintä- ja valvontavelvoitteet edellyttävät eräin osin muutoksia tuotanto- ja kuljetustoiminnoissa. Kaupan näkökulmasta siirtogeenisistä kasveista valmistetut GMO-elintarvikkeet ovat myytäviä tuotteita. Tuotteiden loppukäyttäjinä kuluttajat maksavat näistä tuotteista, mikäli he pitävät niitä muita tuotteita parempina.³²³

Tällä hetkellä Suomen markkinoilla ei ole GMO-elintarvikkeita, joten sidosryhmien ase-
telmista on tässä mahdollista antaa vain karkeita luonnehdintoja. Siirtogeenisten kasvien vaikutusta elintarvikkeiden hintoihin käsitellään kuluttajien yhteydessä.

Siementuottajat ja torjunta-aineteollisuus

Kasvigeenitekniikan sovellusten kaupallistaminen on keskittynyt kansainvälisiin suuryrityksiin, joista monet toimivat myös torjunta-aineiden valmistajina. Vahvin³²⁴ tuotevalikoima ja patenttisalkku on vuonna 1901 perustetulla *Monsantolla*, jonka menestys on perustunut *Roundup*-glyfosaattitorjunta-aineeseen.³²⁵ Vuonna 1985 Monsanto suuntautui biotekniikkaan hankkimalla *Searle*-lääkeyrityksen, ja sittemmin se on käyttänyt arviolta kaksi miljardia dollaria glyfosaattia kestävien siirtogeenisten ns. *Roundup*-lajikkeiden kehittämiseen.

Kuvaavaa kasvigeenitekniikan siirtogeenisiä sovelluksia kehittävälle teollisuudelle onkin tarvittavien tutkimus- ja kehityspanosten suuruus. Vuoden 1996 alun jälkeen Monsanto on käyttänyt toiset kaksi miljardia dollaria geenitekniiseen tutkimukseen ja kehitykseen.³²⁶ Keväällä 1998 Monsanto fuusioitui *American Home Productsin* kanssa, ja uuden yhtiön arvioidaan käyttävän vuosittain noin miljardi dollaria maatalouden biotekniikkasovellusten kehittämiseen. Novartis puolestaan suunnittelee investoivansa 600 miljoonaa dollaria kasvien perimän tutkimukseen kymmenen vuoden aikana.

³²³ Tässä "paremmuus" on ymmärretty laajasti siten, että se sisältää kaikki ostopäätökseen vaikuttavat tekijät.

³²⁴ Ernst&Youngin arvio, ks. EY (1998).

³²⁵ *Roundup* on ns. yleistorjunta-aine, joka tehoaa kaikkiin kasveihin ja hajoaa verraten nopeasti luonnossa.

³²⁶ OPECST (1998).

Tyypillisesti suuret siementuottajat ja torjunta-ainevalmistajat käyttävät kymmenisen prosenttia liikevaihdostaan tutkimus- ja kehitystoimintaan, toisinaan merkittävästi enemmänkin.³²⁷

Tutkimus- ja kehityspanostukset ovat tähän asti olleet varsin huomattavia suhteessa markkinoiden kokoon: esimerkiksi vuonna 1995 USA:ssa maatalouden biotekniikan kehittämiseen käytettiin 2 miljardia dollaria, kun alan markkinat olivat tästä vain 5 % eli 100 miljoonaa dollaria. Vuosien 1995 ja 2000 välisenä aikana markkinoiden arvioidaan kuitenkin USA:ssa kymmenkertaistuvan ja Euroopassa kaksinkertaistuvan. Siirtogeenisten kasvilajikkeiden markkinat maailmassa ovat vuonna 2000 noin 2-3 miljardia dollaria, minkä jälkeen ne kasvavat noin 6 miljardiin dollariin vuonna 2005 ja 20 miljardiin dollariin vuonna 2010.³²⁸ Kasvuodotusten taustalla on näkemys siitä, että laadulliset ominaisuudet - kuten terveellisempi rasvahappokoostumus - antavat siirtogeeniselle kasviraaka-aineelle lisäarvoa, jonka vuoksi siitä ollaan valmiita maksamaan enemmän.³²⁹

Sovelluksia kaupallistavalle teollisuudelle on ominaista vahva ja jatkuva keskittyminen, mihin yhtenä syynä on tarvittavien tutkimus- ja kehityspanostusten suuruus. Esimerkiksi vuonna 1996 maailman 31 miljardin dollarin torjunta-ainemarkkinoista kuuden suurimman yrityksen hallussa oli yli puolet³³⁰. Vuonna 1997 *Monsanto* hankki useita yrityksiä, muun muassa *Calgenen* ja *Asgrownin*, *Pioneer* liittoutui *DuPontin* janssa, *Novartis* syntyi *Ciban* ja *Sandozin* fuusiona, ja *AgrEvo* osti *Plant Genetic Systemsin*. Monet näistä yrityksistä - kuten saksalainen *AgrEvo* ja sveitsiläinen *Novartis* - ovat eurooppalaisia.

Korkeat kehityskustannukset selittävät, miksi yritykset pyrkivät kehittämään suurille markkinoille suunnattuja sovelluksia, joista saatavat tulot kattavat tutkimus- ja kehitystoiminnan kustannukset. Yritykset ovat käynnistäneet laajoja hankkeita geneettisten resurssien kartoittamiseksi ja patentoimiseksi sekä hakeutuneet yhteistyöhön kasvigeenitekniikan perustutkimusta tekevien yliopistojen kanssa. Myös suomalaisia yliopistoja on mukana tällaisessa yhteistyössä.

Suomessa viljeltävät siirtogeeniset lajikkeet kehitettäisiin luultavasti siten, että kotimaiset kasvinjalostajat, muun muassa *Boreal Suomen Kasvinjalostus*, hankkisivat kansainvälisiltä yrityksiltä käyttöönsä joko patentoituja geenejä tai kokonaisia siirtogeenisiä kasveja. Suuret ulkomaiset yritykset eivät itse lähde kehittämään tänne suunnattuja tuotteita, kos-

³²⁷ Ks. Menzler-Hokkanen (1998).

³²⁸ James (1997).

³²⁹ James (1997).

³³⁰ Liikevaihdoltaan suurimmat yritykset olivat *Novartis* (4,2 mrd. dollaria), *Monsanto* (2,9 mrd. dollaria) ja *Zeneca* (2,8 mrd. dollaria). Torjunta-aineista eniten myytiin rikkakasvihävitteitä (15,1 mrd. dollaria) ja hyönteismyrkkyjä (8,7 mrd. dollaria); ks. Menzler-Hokkanen (1998).

ka Suomi on ulkomaisten siementuottajien kannalta pieni markkina-alue ja pääosa jalostustyöstä on tehtävä täällä. Näin kotimainen kasvinjalostustoiminta on siirtogeenisten kasvien osalta tavanomaista enemmän kansainvälisten yritysten yhteistyöhalukkuuden varassa.

Kasvigeenitekniikan kaupallistamisessa raskaan sääntelykäytännön on arveltu suosivan suuria yrityksiä, koska suurilla yrityksillä on riittävät resurssit hyväksynnän edellyttämän laajan aineiston tuottamiseen. Yksioikoista näyttöä tästä ei kuitenkaan ole olemassa. Joka tapauksessa kasvigeenitekniikka tarjoaa mahdollisuuksia myös pienille innovatiivisille biotekniikkayrityksille, joiden tutkimustuloksia suuret yritykset ovat halukkaita ostamaan. Yliopistojen ja korkeakoulujen ympärille onkin Euroopassa viime vuosina syntynyt runsaasti aktiivisia biotekniikkayrityksiä.³³¹

Sen sijaan varsin selkeää näyttöä on siitä, että tutkimus- ja kehitystoiminnan työrauha vaikuttaa toiminnan maantieteellistä sijoittamista koskeviin päätöksiin. Etenkin saksankielisissä maissa siirtogeenisten kasvien vastustus on ollut ajoittain voimakasta, ja esimerkiksi vuonna 1996 Saksassa 33 luvan saaneesta siirtogeenisten kasvien kenttäkokeesta 12 joutui sabotoinnin kohteeksi.³³²

Siirtogeenisiä lajikkeita tarjoavien yritysten etujen mukaista on varmistaa, että viljelijöille tarjottavat lajikkeet ovat tavanomaisia lajikkeita tuottoisampia. Siirtogeenisten lajikkeiden hyötyominaisuuksien menettäminen (esimerkiksi resistenttien hyönteisten kehittymisen kautta) ei ole yritysten etujen mukaista, koska tällöin niiden kehittämien tuotteiden käyttökelpoisuus heikkenee. Vaikka yritykset eivät voi kaventaa viljelijöiden valinnanvapautta, on ennakoitavissa, että yritykset tarjoavat viljelijöille lajikkeita (esimerkiksi steriilejä kasveja tai hybridisiementä), joista saatua satoa ei voida käyttää kylvösiemenenä. Ne voivat siis rajoittaa yleistä käytäntöä, jonka mukaan suuri osa kylvösiemenestä - esimerkiksi Iso-Britanniassa noin 30 % - saadaan tilalla tuotetusta sadosta.³³³

Maanviljelijät

Viljelijöiden kannalta siirtogeeniset lajikkeet ovat tuotantopanoksia, joiden käyttö kannattaa, jos sato syntyy vähemmin kustannuksin tai siitä saatava hinta on korkeampi. Kummassakin tapauksessa perusedellytys on, että elintarviketeollisuus ostaa siirtogeenistä kasviraaka-ainetta.

³³¹ Ks. Ahola ja Kuisma (1998), OPECST (1998).

³³² Ks. Becher ja Schuppenhauer (1996).

³³³ Van Wijk (1993).

Tähän mennessä saatujen kokemusten valossa siirtogeeniset lajikkeet näyttävät tavanomaisia tuottoisammilta. Viljelijöiden kannalta niihin liittyy kuitenkin erityisnäkökohtia:

1. Jos siirtogeenisten lajikkeiden viljely lisääntyy muualla, on mahdollista, että niihin liittyvä tuottavuuden parantuminen heikentää kotimaisen maatalouden kilpailukykyä suhteessa ulkomaiseen tuotantoon. On esimerkiksi arveltu, että siirtogeenisen rapsin viljely Tanskassa saattaisi heikentää kotimaisen rypsin viljelyn kannattavuutta. Koska öljykasveja käytetään rehun raaka-aineena, tuottavuuserot voivat heijastua maatalouden kustannusrakenteeseen laajemminkin. Tätä taustaa vasten on viljelijöiden edun mukaista, että saatavilla on Suomen olosuhteissa menestyviä siirtogeenisiä lajikkeita.
2. Merkintävelvoitteiden mukainen siirtogeenisten ja tavanomaisten lajikkeiden rinnakkain viljely voi olla vaikeaa, koska käytännön viljelytyössä siirtogeeninen kasvisaines sekoittuu lähes väistämättä muun kasvisaineksen kanssa (esim. jäämät laareissa ja työkoneissa). Ainesosien ehdoton erillään pitäminen on vaikeaa ja saattaa edellyttää lisäinvestointeja ja -kustannuksia. Myös kasviraaka-aineen GMO-pitoisuuden määrittäminen edellyttää tarkoituksenmukaisia toleranssirajoja, koska muuten herkkien analyysimenetelmien tuloksena esimerkiksi koko rekkakuorma saatetaan luokitella siirtogeeniseksi, jos rekkaan on jäänyt muutamakin siirtogeeninen jyvä.
3. Kuluttajien varauksellinen suhtautuminen GMO-elintarvikkeisiin voi vaikeuttaa siirtogeenisen kasviraaka-aineen menekkin ja hinnan ennakointia, joskin nämä riskit välittyvät viljelijöille lähinnä elintarviketeollisuuden raaka-ainekysynnän kautta. Jos siirtogeenisten kasvien viljely laajenee, GMO:ita sisältämättömien elintarvikkeiden tuotannosta voi muodostua oma tuotantosuuntansa.
4. Siirretyistä geeneistä on viljelijöille hyötyä vain niin kauan, kun ne toimivat viljelyympäristössä halutulla tavalla. Riskejä liittyy siihen, että siirtogeenisten lajikkeiden viljelystä ja niiden hyödyllisten ominaisuuksien pysyvyydestä ja hallinnasta ei ole pitkäaikaista kokemusta.

Rehu- ja elintarviketeollisuus

Elintarviketeollisuudessa merkintävelvoitteiden noudattaminen edellyttää tuotanto-, pakkaus- ja jakelutoimintojen sopeuttamista sekä tähän liittyviä mahdollisia investointeja ja -kustannuksia. Toisaalta teollisuus voi aikanaan hyötyä siirtogeenisten kasvien laatuominaisuuksista, joita ovat muun muassa kasviraaka-aineen hallitumpi prosessikäyttäytyminen ja tasaisempi laatu.

Mikäli EU:ssa vireillä oleva erityisrehuaineita koskeva sääntely tulee edellyttämään GMO:ista valmistettujen rehujen merkitsemistä, rehuteollisuuden on eroteltava siirtogeeninen ja tavanomainen kasviraaka-aine toisistaan (ks. luku 7). Tämä saattaa luoda paineita eräiden rehut tuotteiden hinnan nostamiseksi, koska 1) GMO:ita sisältämättömän

soijan hinta on USA:n markkinoilla muodostumassa tavanomaista soijaa kalliimmaksi ja 2) kuljetuskustannukset ovat merkittävä osa rehutuotteen hinnasta.

Elintarvikesektorilla on periaatteessa erotettavissa kahden tyyppisiä yrityksiä: 1) kuluttajan ostamia varsinaisia elintarvikkeita valmistavat yritykset sekä 2) näiden yritysten käyttämiä lisäaineita, entsyymejä ja prosessiparanteita tuottavat yritykset. Jälkimmäisen ryhmän yritykset, kuten esimerkiksi *Cultor Oy*, ovat käyttäneet geenitekniikkaa jo kauan, niiden tuotteet perustuvat usein vahvaan tutkimus- ja kehitysosaamiseen, eivätkä niiden tuotteet yleensä ole kohdanneet vastustusta kuluttajien keskuudessa.³³⁴

Moniin muihin teollisuudenaloihin verrattuna elintarvikkeita valmistavalle teollisuudelle on ollut tunnusomaista alhaisempi tutkimus- ja kehityspanostus. Vuonna 1996 suomalaisten elintarvikeyritysten osuus kaikkien yritysten yhteenlasketuista tutkimus- ja kehitysmenoista oli noin 3 % (300 milj. mk), kun niiden osuus tuotannon arvosta oli hieman yli 11 % (49,1 mrd.mk). Toisaalta tuoteinnovaatiot perustuvat enenevässä määrin tieteelliseen perustutkimukseen (vrt. Raisio Benecol), mistä johtuen yritykset ovat hakeutuneet esikilpailulliseen yhteistyöhön voidakseen paremmin rahoittaa pitkäjänteistä ja alaa yleisesti hyödyttävää tutkimusta. Muun muassa *Panimolaboratorio Oyj* on hyvä esimerkiksi tuloksellisesta yhteistyöstä.³³⁵

Elintarvikkeiden kysyntä riippuu paljon kuluttajien joskus nopeastikin vaihtuvista reaktioista, mistä johtuen yritykset ovat verraten haluttomia ottamaan riskejä tuodessaan uusia tuotteita markkinoille. Näin on myös siirtogeenisten elintarvikkeiden kohdalla, joihin monien kuluttajien tiedetään suhtautuvan varauksellisesti. Etenkään pienet ja keskisuurat yritykset eivät ole aktiivisesti kehittämässä siirtogeenisistä kasveista valmistettuja elintarvikkeita. Tällä hetkellä³³⁶ EU:n uuselintarvikeasetuksen puitteissa on kymmenkunta hakemusta käsiteltävänä. Näiden tuotteiden markkinoilla saama vastaanotto antaa mitä luultavimmin suuntaa sille, miten elintarviketeollisuuden suhtautuminen GMO-elintarvikkeisiin kehittyy.

Jakelu ja kauppa

Kaupan kannalta GMO-elintarvikkeet ovat myytäviä tuotteita, joissa on oltava EU-säännösten mukaiset merkinnät. GMO-elintarvikkeiden käsittely ei pääsääntöisesti edellytä kaupalta erityismenettelyjä, joskin esimerkiksi irrallaan myytävien GMO-vihanneslaatuojen pitäminen erillään muista vihanneksista vaatii huolellisuutta.³³⁷

³³⁴ Koschatzky (1995).

³³⁵ Ks. Salo et al. (1998), Koschatzky (1995).

³³⁶ Tilanne elokuussa 1998.

³³⁷ Vastaava tilanne koskee tällä hetkellä tavallisia ja luonnonmukaisen viljelyn keinoin tuotettuja vihanneksia.

Merkintöjen valvonnasta ei myöskään koidu kaupalle lisäkustannuksia, koska valvontaan liittyvät testit tulevat sen toiminnanharjoittajan maksettavaksi, joka on saattanut tuotteen markkinoille (ks. luku 7).

EU:n ulkopuolelta tuleva kasviraaka-aine ja elintarvikkeet ovat sikäli ongelmallisempia, että EU:n merkintävelvoitteet eivät alkuperämaassa näitä koske. Esimerkiksi USA:ssa ei edellytetä GMO:iden merkitsemistä eikä eikä erottelua. EU:n on kuitenkin maailman kauppajärjestön WTO:n jäsenenä vaikea estää tällaisten tuotteiden tuontia, koska rajoitukset voitaisiin tulkita perusteettomiksi vapaakaupan esteiksi. Jos EU:n ulkopuolelta tulee EU:n markkinoille kasviraaka-ainetta tai elintarvikkeita, joiden GMO-koostumuksesta ei ole tarkkaa tietoa, on nämä tuotteet mitä luultavimmin alistettava GMO:iden valvontatesteihin.

Kuluttajat

Olennaista kuluttajan kannalta on valinnanvapaus - so. mahdollisuus tehdä informoituja ja vaihtoehtoisia ostopäätöksiä - sekä hinnaltaan, laadultaan, turvallisuudeltaan ja muilta ominaisuuksiltaan kilpailukykyisten tuotteiden saatavuus. Valinnanvapauden turvaaminen edellyttää tuotemerkintöjä (ks. luku 7). Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti siirtogeenisten kasvien viljelyn vaikutuksia elintarvikkeiden hintoihin.

Hinnanmuodostukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

1. *Siirtogeenisten kasvien viljelyn laajuus.* Kasvigeenitekniikan tukema tuottavuuden kasvu maataloudessa voi johtaa elintarvikkeiden hintatason alenemiseen vasta silloin, kun niitä viljellään riittävän laajasti, jotta tuottavuuden kasvu tai osa siitä voi markkinamekanismien välityksellä johtaa myös lopputuotteen hinnan alentumiseen.
2. *Raaka-aineen osuus tuotteen hinnanmuodostuksessa.* Siirtogeenisestä kasvista saatu raaka-aine on vain yksi osatekijä elintarvikkeen hinnassa. Mitä suurempi tämä osa on, sitä suurempi vaikutus raaka-aineen hinnalla on valmiin tuotteen hintaan.
3. *Jalostusketjun eri toimijoiden (siementuottajat, torjunta-ainevalmistajat, viljelijät, elintarviketeollisuus, kauppa) kyky pidättää itsellään tuottavuuden parantumiseen liittyvää taloudellista hyötyä.* Mitä vahvempi asema yksittäisen toimija portaalla on suhteessa muihin, sitä paremmat edellytykset sillä on pidättää osa tuottavuuden kasvusta itsellään.
4. *Markkinoiden eriytyminen merkintä- ja muiden velvoitteiden tuloksena.* Merkintävelvoitteiden kautta 1) GMO:ita sisältävistä ja 2) GMO:ita sisältämättömistä elintarvikkeista voi muodostua omat markkinasegmenttinsä. Segmenttien erillisyyden edellyttää niin tuotanto- ja kuljetustoimintojen eriyttämistä kuin riittävää valvontaa, mistä aiheutuvat kustannukset tulevat viime kädessä kuluttajan maksettavaksi.

Parantuneen tuottavuuden vaikutusta lopputuotteen hinnanmuodostukseen voidaan arvioida esimerkiksi rehujen sekä öljy- ja rasvavalmisteiden (mm. margariinit) osalta, joissa raaka-aineen osuus tuotteen arvosta vaihtelee 50-60 % välillä. Jos siirtogeenisen kasvin viljelyllä päästäisiin noin 10 % suurempaan tuottavuuteen - mikä vuosilta 1996-97 raportoitujen kokemusten voi olla realistista - ja puolet tuottavuuden lisäyksestä näkyisi alentuneena raaka-aineen hintana³³⁸, niin siirtogeenisten tuotteiden käyttö voisi johtaa 2,5-3,0 % edullisempaan lopputuotteeseen. Pitkälle jalostetuissa elintarvikkeissa yksittäisen raaka-ainekomponentin osuus on pienempi, joten mahdollinen hinnanalennus jäisi vähäisemmäksi.

Raaka-ainekustannusten merkityksen vähenemistä elintarvikeketjun myöhemmissä vaiheissa voidaan havainnollistaa myös torjunta-ainekustannusten valossa. Esimerkiksi Ranskassa torjunta-ainekustannukset ovat 20 % maatalouden viljelykasvien tuotannon arvosta, mutta silti niiden osuus on vain noin 2 % kuluttajien elintarvikkeisiin käyttämistä tuloista. Toisin sanoen torjunta-aineiden käytön vähentymisestä johtuvien säästöjen merkitys olisi paljon suurempi teollisuuden raaka-ainehankintojen kuin jalostettujen elintarvikkeiden kuluttajahintojen kannalta.³³⁹

EU:n sääntelyn mukaisten merkintävelvoitteiden täytäntöönpano vaatii tuotanto- ja kuljetusreittien eriyttämistä, mikä puolestaan vaikuttaa GMO:ita sisältävien ja niitä sisältämättömien elintarvikkeiden hintoihin. Merkintäproblematiikka nousee esille etenkin soijan kohdalla, jota noin 60 % elintarvikkeista sisältää. USA:n sääntelykäytäntö ei velvoita GMO-soijan merkitsemiseen, joten mikäli eurooppalainen kuluttaja haluaa varmistua siitä, että elintarvike ei sisällä lainkaan GMO:ita, niin USA:ssa on luotava erilliset tuotanto- ja kuljetusreitit GMO:ita sisältämättömä soijaa varten. On arvioitu, että tällainen soija saattaisi hinnaltaan muodostua noin 5-20 % tavallista soijaa kalliimmaksi.³⁴⁰ Toistaiseksi on epäselvää, missä määrin sitä tullaan USA:ssa viljelemään esimerkiksi EU:n markkinoita varten, ja missä määrin eurooppalaiset kuluttajat joutuvat tai ovat valmiita maksamaan lisähintaa tuotteista, joissa on merkintä "ei sisällä GMO:ita". Tällä merkinnällä varustetuista tuotteista saattaa syntyä oma markkinasegmenttinsä.³⁴¹

Yksioikoinen vertailu GMO-elintarvikkeiden ja tavallisten elintarvikkeiden välillä ei ole perusteltua silloin, kun kasvigeenitekniikan avulla tavoitellaan laadullisia ominaisuuksia, joiden osalta GMO-elintarvike poikkeaa tavanomaisesta tuotteesta. Esimerkkejä

³³⁸ Tällöin oletuksena on, että siirtogeenistä siementä myyvä yritys sen enempää kuin viljelijäkään eivät pysty kokonaan pidättämään paramman tuottavuuden antamaa hyötyä itsellään.

³³⁹ Ks. Paillotin (1998).

³⁴⁰ ESTO (1998).

³⁴¹ Ks. USDA (1998)

tällaisista ominaisuuksista ovat muun muassa öljykasveista saatavien rasvahappojen muuttaminen terveellisemmiksi sekä uusien, terveysvaikutteisten elintarvikkeiden tuottaminen.³⁴² Koska osa kasvigeenitekniikan tulevaisuuden sovelluksista tähtää tämäntyyppisiin ominaisuuksiin (ks. kuva 6.1), on mahdollista, että kuluttajan näkökulmasta kasvigeenitekniikan hyödyt liittyvät pikemminkin näihin laadullisiin muutoksiin kuin alempaan hintaan.

³⁴² Ks. Paillotin (1998).

7. KASVIGEENITEKNIIKAN SÄÄNTELY

Geenitekniikan käyttö harmonisoitiin EU:ssa vuonna 1990 annetuilla geenitekniikka-direktiiveillä, jotka sovitettiin Suomessa osaksi kansallista lainsäädäntöä geenitekniikkalailla ja -asetuksella vuonna 1995. Sääntelystä saatuja kokemuksia ja sen kehitysnäkymiä voidaan luonnehtia seuraavasti.

1. EU:ssa kasvigeenitekniikan sääntelyn ja valvonnan lähtökohtana on varovaisuusperiaate, jonka mukaan tutkimus- ja kehitystoiminta sekä tuotteiden markkinoille saattaminen edellyttävät etukäteisarvioinnin perusteella myönnettävän luvan saamista. GMO:iden tarkoituksellista levittämistä ja markkinoille saattamista koskevan direktiivin 90/220/ETY kohdalla periaatteen soveltaminen ei ole kaikin osin ollut ongelmaton, koska jäsenvaltioilla on ollut erilaisten hallintokulttuurien, ympäristön ekologisten erojen ja direktiivin sovellusalaan koskevien tulkintaerojen vuoksi erilaisia käsityksiä siitä, miten kokemuksia voidaan yksittäisten tapausten kohdalla tulkita. Erimielisyydet GMO-tuotteiden hyväksymisessä ovat yhtä poikkeusta³⁴³ lukuunottamatta johtaneet aikaa vievän sääntelykomiteamenettelyn käyttöön. Keskimäärin GMO-tuoteilmoitusten hyväksymiseen johtanut käsittely on EU:ssa kestänyt noin 27 kuukautta, mikä on yli puolta kauemmin kuin USA:ssa.
2. Direktiivin 90/220/ETY sovellusalan rajausten osalta on käyty keskustelua siitä, missä määrin siirtogeenisten kasvien viljelyn välilliset vaikutukset (kuten esimerkiksi muutokset torjunta-aineiden käytössä) olisi sisällytettävä direktiivin edellyttämään ympäristövaikutusten arviointiin. Sovellusalan laaja tulkinta mahdollistaisi useampien näkökohtien huomioonottamisen, mutta samalla se tekisi ilmoitusmenettelystä toiminnanharjoittajan kannalta raskaamman ja vaikeammin ennakoitavan. Välillisistä vaikutuksista on vain harvoin mahdollista antaa luotettavia arvioita.
3. Helmikuussa 1998 komissio antoi direktiivistä 90/220/ETY muutosehdotuksen. Keskeisiä seikkoja muutosehdotuksessa ovat lupien määräaikaistaminen, ris-

³⁴³ Kyseessä oli värimuunnettu neilikka.

kien arviointiperiaatteiden täsmentäminen ja jäsenvaltioiden aseman vahvistaminen komiteamenettelyssä. Muutosehdotuksessa viranomaiset velvoitetaan avoimempaan tiedottamiseen sekä vaaditaan toiminnanharjoittajalta suunnitelma GMO:iden välittömien ja välillisten vaikutusten seuraamiseksi. Se ei kuitenkaan yksilöi, kuinka avoimempi tiedottaminen tehtäisiin, miten esitetyt huomiot käsiteltäisiin tai millä tavalla GMO-tuotteita käytännössä monitoroitaisiin. Riskien arviointiperiaatteiden täsmentämisen on arveltu tukevan johdonmukaisempaa arviointia, mutta esitettyä lähestymistapaa on myös kritisoitu sillä perusteella, että GMO:iden ympäristövaikutuksiin liittyviä epävarmuuksia ei ole mielekästä tarkastella todennäköisyyskeskeisesti.

4. Toukokuussa 1998 neuvosto antoi asetuksella EY 1139/98 täsmennetyt säännökset siirtogeenisen soijan ja maissin merkitsemiseksi. Säännösten mukaan siirtogeenisestä soijasta (maissista) valmistettuihin elintarvikkeisiin on liitettävä maininta "valmistettu geenitekniikalla muunnetusta soijasta (maissista)". Komission mukaan tämä säännös - joka ei sisällä vaihtoehtoa "saattaa sisältää GMO:ita", mutta sallii maininnan "ei sisällä" vapaaehtoisena merkintänä - luo pohjaa tuleville uuselintarvikeasetuksen mukaisille merkinnöille. Uuselintarvikeasetuksen puitteissa on käsiteltävänä kymmenkunta tuotetta, mutta yhtään tuotetta ei ole vielä tuotu markkinoille.
5. Raskaan sääntelykäytännön on esitetty suosivan suuria kansainvälisiä yrityksiä, joilla on riittävät resurssit hyväksyntämenettelyissä tarvittavan tietoaistien tuottamiseen. Myös suomalaisyrityksissä on oltu huolestuneita siitä, että lainsäädännön epäsuotuisa kehitys voi johtaa biotekniikan tutkimus- ja kehityksikköjen siirtymiseen ulkomaille. Tästä on esimerkkejä muun muassa Saksasta. Selvää näyttöä siitä, että sääntelykäytäntö yksinään olisi vaikuttanut joko amerikkalaisten tai eurooppalaisten yritysten bioteknisten tutkimus- ja kehitystoiminnan sijoittumispäätöksiin, ei ole: monet muutkin tekijät - kuten esimerkiksi riskipääoman ja osaavan henkilöstön saatavuus - ovat olleet keskeisiä.
6. Jäsenvaltioiden mahdollisuudet rajoittaa EU:n markkinoille hyväksytyjen GMO-tuotteiden käyttöä ovat vähäiset, ellei niillä ole esittää uutta, tuotteiden terveys- tai ympäristövaikutuksia koskevaa tieteellistä tietoa. Nämä yhteisölainsäädännön asettamat rajat ovat olleet koeteltavina, koska tammikuussa 1997 Itävalta ja Luxemburg kielsivät Novartiksen siirtogeenisen *Bt*-maissin käytön direktiivin 90/220/ETY 16 artiklan suojalausekkeeseen vedoten. Komissio kuuli tämän jälkeen tiedekomiteoita ja ehdotti syyskuussa 1997

sääntelykomitealle kieltojen kumoamista. Sääntelykomiteassa ja neuvostossa ei syntynyt yksimielisyyttä komission ehdotuksen hylkäämiseksi, joten direktiivin hallintomenettelyn mukaan Itävallan ja Luxemburgin tulisi perua *Bt*-maisia koskevat kieltonsa. Asian käsittely on kuitenkin vielä muodollisesti kesken ja se saattaa tulla esille Euroopan tuomioistuimessa.

SÄÄNTELYN RAKENNE

EU:n sääntelykäytäntö nojautuu 1) *ensisijaiseen* eli primäärioikeuteen, joka muodostuu yhteisöjen perustamissopimuksista, liittymissopimuksista sekä eräistä näitä muuttavista sopimuksista, sekä 2) *johdettuun* eli sekundäärioikeuteen, joka koostuu primäärioikeuden perusteella annetuista asetuksista, direktiiveistä ja päätöksistä.³⁴⁴ EU:n sekundäärioikeus sisältää runsaasti geenitekniikka ja elintarvikkeiden tuotantoa ja käyttöä koskevia säännöksiä. Lisäksi geenitekniikkaa ja sen sovelluksia koskevat primäärioikeuden säännökset, jotka velvoittavat jäsenvaltiot muun muassa sisämarkkinoiden luomiseen.

Elintarvikkeita koskeva sääntely voidaan jakaa 1) *horisontaaliseen sääntelyyn*, joka koskee tuotteita yleisesti jonkin erityisnäkökohdan osalta (esim. elintarvikkeiden merkintöjä koskeva direktiivi 79/112/ETY), ja 2) *vertikaaliseen sääntelyyn*, joka koskee yksittäisiä tuotteita tai tuoteryhmiä (esim. hunajadirektiivi 74/409/ETY).

Taulukko 7.1 Vertikaalisen ja horisontaalisen sääntelyn periaatteellisia eroja³⁴⁵

<i>Vertikaalinen sääntely</i>	<i>Horisontaalinen sääntely</i>
Kapeasti määritelty tekninen termistö	Laaja-alainen tekninen termistö
Sektorikohtainen, kapea sovellusalue	Useita sektoreita kattava, laaja sovellusalue
Koskee tuotteita	Koskee teknologiaa tai tuotantoprosesseja
Hallintovastuu sovellusalan ministeriöllä	Hallintovastuu koordinoitu useiden hallinnonalojen välillä
Riskien arviointi aiotun käytön perusteella	Oletuksena käytöstä riippumaton, yhtäläinen riski

Kansainvälisen, EU-tason ja kansallisen sääntelyn välisiä suhteita voidaan havainnollistaa jakamalla ne neljään tasoon³⁴⁶:

1. *Kansainväliset sopimukset, määräykset ja ohjeet.* Nämä ovat osin sitovia - kuten YK:n biodiversiteettisopimus - ja osin kansainvälisten järjestöjen (OECD, FAO, WHO) antamia suosituksia, joihin tukeudutaan lainsäädännön rakentamisessa. Esi-

³⁴⁴ Yleistietoa eurooppaoikeudesta on mm. teoksissa Komissio (1996) ja Saarinen (1996).

³⁴⁵ Ks. Shohet (1996).

³⁴⁶ Ks. myös von Troil (1997).

merkkejä ovat muun muassa OECD:n julkaisema *Recombinant DNA Safety Considerations* (OECD, 1986) sekä WHO:n *Health Aspects of Marker Genes in Genetically Modified Plants* (WHO, 1993).

2. *EU:n direktiivit ja asetukset.* Kasvigeenitekniikan kannalta näistä tärkeimmät ovat³⁴⁷ geenitekniikalla muunnettujen mikro-organismien (GMMO) suljettua käyttöä koskeva direktiivi 90/219/ETY, GMO:iden tarkoituksellista levittämistä ja markkinoille saattamista koskeva direktiivi 90/220/ETY sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston uuselintarvikeasetus 258/97. Molemmat geenitekniikkadirektiivit ovat esimerkkejä horisontaalisesta sääntelystä, kun taas uuselintarvikeasetus on osa vertikaalista tuotelainsäädäntöä.
3. *Kansallinen lainsäädäntö.* Suomessa EU:n geenitekniikkadirektiivit on sovitettu osaksi kansallista sääntelyä geenitekniikkalailla 377/1995 ja geenitekniikka-asetuksella 821/1995, jotka molemmat kuuluvat yleislainsäädäntöön.
4. *Kansalliset viranomaismääräykset.* Näitä ovat mm. kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 427/1997, joka määrää uuselintarvikeasetuksen kansallisista järjestelyistä, sekä sosiaali- ja terveysministeriön päätökset 21/1996 ja 22/1996, jotka koskevat geenitekniikalla muunnettujen mikro-organismien luokitusta ja käyttöä suljetussa tilassa sekä GMO:iden käyttöä koskevia ilmoituksia. Lisäksi ministeriöt sekä niiden alaiset tutkimuslaitokset ovat antaneet GMO:iden käyttöä ja ilmoitusmenettelyjä koskevia ohjeita.

Keskeinen lähtökohta EU:n geenitekniikkalainsäädännössä on *varovaisuusperiaate*, jonka mukaan lupa geenitekniikan käyttöön myönnetään vain silloin, jos ko. käyttö ei etukäteen tehdyn vaarojen arvioinnin perusteella johda terveyteen tai ympäristöön kohdistuviin varteenotettaviin tai peruuttamattomiin vaaroihin.³⁴⁸ Käytännössä periaatetta sovelletaan siten, että geenitekniikan käytössä siirrytään tiukasti rajatuista koeolosuhteista asteittain avoimempaan ja laajempaan käyttöön, jolloin kunkin siirtymisen kohdalla mahdolliset vaarat arvioidaan erikseen.

EU:ssa noudatetaan ns. *“one-door-one-key”*-periaatetta, jonka mukaan toiminnanharjoittajan ei tarvitse jättää erillisiä hakemuksia eri viranomaisille, vaan hän voi saada luvan jättämällä yhden hakemuksen yhdelle viranomaiselle. Tämä poikkeaa USA:ssa noudatettavasta käytännöstä, sillä USA:ssa toiminnanharjoittajan on haettava lupaa kaikilta niiltä viranomaisilta, joiden toimialaan GMO:iden käyttö kuuluu.³⁴⁹ Toinen merkittävä ero on

³⁴⁷ Lisäksi GMO:ita sivuavat työsuojeludirektiivi 90/679/ETY sekä vaarallisten aineiden tiekuljetuksia koskeva direktiivi 94/55/EY.

³⁴⁸ Varovaisuusperiaatteen juuret ovat Saksassa 1970-luvulla noudatetussa ympäristöpolitiikassa. Keskeistä periaatteessa on pidättäytyminen sellaisista toimenpiteistä, jotka saattaisivat johtaa merkittäviin tai peruuttamattomiin terveys- tai ympäristövaaroihin, vaikka varmaa näyttöä toimenpiteiden ja haittojen välisestä yhteydestä ei olisikaan. Tietoa varovaisuusperiaatteesta ja sen muotoutumisesta on esimerkiksi W.Th. Douman esseessä *“The Precautionary Principle”* (ks. <<http://www.eel.nl/virtue/precprn.htm>>).

³⁴⁹ Ks. Salo ja Kauppinen (1997).

se, että USA:ssa sovelletaan tiukkoja tuotevastuulakeja, kun taas EU:ssa tuoteturvallisuuden varmistaminen perustuu ensisijaisesti etukäteisarviointeihin.

EU:N DIREKTIIVIT JA ASETUKSET

Yleistä

Geenitekniikkadirektiivit 90/219/ETY ja 90/220/ETY koskevat sellaisia geenitekniikalla muunnettuja organismeja, jotka pystyvät lisääntymään tai siirtämään perintöainesta. Näin esimerkiksi viljeltävät siirtogeeniset kasvit kuuluvat direktiivien piiriin. Sen sijaan siirtogeenisistä kasveista valmistettuja rehuja tai elintarviketalustoita ei käsitellä direktiivin puitteissa, koska näistä perintöainesta ei siirry uusiin eläviin organismeihin.

GMO-elintarvikkeiden sääntely perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston uuselintarvikeasetukseen 258/97, joskin eräät ainesosat - kuten lisäaineet - on rajattu asetuksen sovellusalueen ulkopuolelle. Rehujen raaka-aineena käytettävät siirtogeeniset kasvit kuuluvat direktiivin 90/220/ETY sovellusalaan, mutta erillistä GMO-rehuja koskevaa tuotelainsäädäntöä ei yhteisötasolla ole (ks. tämän luvun kohta ”rehulaki”).

Geenitekniikkadirektiivit 90/219/ETY ja 90/220/ETY muotoutuivat 1980-loppupuolella aikana, jolloin vahvistuva ympäristöliike ja kriittiset kannanotot herättivät varsinkin Saksassa ja Tanskassa laajaa GMO:ita koskevaa huolestuneisuutta. Toisaalta biotekniikan merkityksen nähtiin kasvavan, ja sen puoltajat korostivat geenitekniisten tuotteiden etuja muun muassa lääke- ja elintarviketeollisuudessa sekä ympäristöhaittojen torjumisessa.

Tässä tilanteessa geenitekniikkadirektiivien yhtenä tavoitteena oli harmonisoida alan sääntely siten, että jäsenvaltioiden sääntelykäytäntöjen eriytyminen³⁵⁰ ei estäisi sisämarkkinoiden toimintaa. Direktiivien täytäntöönpanovelvoite lokakuussa 1991 tuli tätä tavoitetta ajatellen ajoissa voimaan, sillä tuolloin EU-maiden markkinoilla ei ollut vielä yhtään 90/220/ETY:n piiriin kuuluva tuotetta, eivätkä kansalliset viranomaiset olleet omaksuneet rutinoituja käytäntöjä geenitekniikan sääntelemiseksi.

Geenitekniikkalainsäädännössä on olennaista varovaisuusperiaatteen soveltaminen siten, että kunkin tapauksen kohdalta arvioidaan erikseen, minkälainen ratkaisu on kulloinkin perusteltu. Menettely on sikäli joustava, että kaikkia varovaisuusperiaatteen soveltamisen kannalta relevantteja näkökohtia ei ole pakko etukäteen täsmentää. Esimerkiksi tarkoituksellista levittämistä koskevan direktiivin 90/220/ETY tekniset liitteet eivät yksilöi, mitkä GMO:iden ominaisuudet saattavat aiheuttaa vaaroja ja mitä GMO:iden ei-toivo-

³⁵⁰ Muun muassa Tanska kielsi 1986 GMO:iden levityksen kokonaan (ks. Levidow et al, 1996).

tuilla ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan.³⁵¹ Sen sijaan direktiivin määräämä käsittelyprosessi johtaa siihen, että näiden käsitteiden merkitys tulee käytännössä täsmennettyä.

Direktiivien prosessikeskeisyys on siinä mielessä joustava, että vallitseva tieteellinen ja tekninen tieto voidaan ottaa kunkin tapauksen kohdalla huomioon. Toisaalta ilmoituksen jättäjällä ei ole käytettävissään standardeja, joiden perusteella hän voisi itse etukäteen arvioida, tullaanko ilmoitus hylkäämään vai hyväksymään. Tällaisten standardien määrittely olisi direktiivejä laadittaessa ollut vaikeampaa kuin sopiminen päätöksenteossa noudatettavista menettelyistä.

Suljettu käyttö

Geenitekniikalla muunnettujen mikro-organismien (GMMO) suljetusta käytöstä on säädetty direktiivillä 90/219/ETY, joka ei suoraan koske kasveja. Direktiivi on annettu artiklan 130s perusteella ns. minimisäädöksenä, joten jäsenvaltiot voivat soveltaa suljettuun käyttöön yhteisölainsäädäntöä tiukempia normeja. Suomessa kasvien ja eläinten suljettu käyttö on otettu mukaan geenitekniikkalakiin 377/1995.

Direktiivissä GMMO:t luokitellaan arvioidun vaarallisuuden perusteella kahteen ryhmään, ja ilmoitusmenettelyn kulku riippuu siitä, kumpaan ryhmään GMMO:iden katsotaan kuuluvan. GMMO:iden käytön laajuus on luokiteltu kahteen ryhmään sen perusteella, onko kysymys suppeasta käytöstä, esimerkiksi opetus-, tutkimus- ja kehitystaroituksessa, vai laajemmasta käytöstä teollisessa tai kaupallisessa tarkoituksessa.

Joulukuussa 1995 komissio antoi ehdotuksen KOM(95)640 direktiivin muuttamisesta. Parlamentin ympäristö-, terveys- ja kuluttajansuojavaliokunta jätti muutosehdotusta koskevan mietintönsä maaliskuussa 1997³⁵², ja parlamentin 58 tarkistuksesta useat vaikuttivat komission kesäkuussa 1997 antamaan muutettuun ehdotukseen.³⁵³ Neuvosto muodosti yhteisen kannan ehdotukseen joulukuussa 1997, ja parlamentin toisen lukemisen tarkistukset on viety neuvostokäsittelyyn. Muutosehdotus hyväksyttäneen syksyllä 1998, minkä jälkeen se on sovitettava osaksi kansallista sääntelyä muutaman vuoden kuluessa. Eduskunnalle muutosehdotuksen käsittelystä on tiedotettu kolmesti VJ 54 e §:n mukaisena selvitysasiana sekä sosiaali- ja terveysministeriön kirjelmällä U8/1997.

Ehdotuksessa direktiivin teknisiä liitteitä on muutettu tämän hetkistä teknistä ja tieteellistä tietoa vastaaviksi. Lisäksi GMMO:iden luokitusjärjestelmää on muutettu siten, että

³⁵¹ Levidow et al. (1996).

³⁵² Mietintö on luettavissa sivulla <<http://www.europarl.eu.int/dg1/a4/fi/a4-97/a4-0070.htm>>.

³⁵³ KOM(97)240 lopull.

mikro-organismit luokitellaan neljään vaaraluokkaan kansainvälisten suositusten mukaisesti (WHO, NIH). GMMO:iden käyttöä ei enää luokitella laajuuden tai käytön tarkoituksen perusteella, vaan kaikki ilmoitukset käsitellään samoin perustein riippumatta siitä, onko kyse tutkimus- ja kehitystoiminnasta vai teollisesta tuotannosta. Muutosehdotus laajentaa direktiivin sovellusalaan siten, että se kattaa kasvi- ja kasvatushuoneet. Näitä koskevat turvallisuus- ja eristysmenetelmät on Suomessa tähän asti arvioitu kansallisen sääntelyn puitteissa.

Tarkoituksellinen levittäminen ja markkinoille saattaminen

Direktiiviä 90/220/ETY sovelletaan GMO:iden tarkoitukselliseen levittämiseen tutkimus- ja kehityskokeissa (B-osa) ja GMO-tuotteiden markkinoille saattamisessa (C-osa). Direktiivin tehtävänä on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä tarkoituksellisen levittämisen mahdollisesti aiheuttamilta vaaroilta (1 artikla). Direktiivi on annettu artiklan 100a perusteella, joten jäsenvaltiot eivät voi soveltaa yhteisölainsäädäntöä tiukempaa sääntelyä sen sovellusalueella.

Direktiivi velvoittaa jäsenvaltiot nimittämään toimivaltaisen viranomaisen, joka vastaa direktiivin asettamien velvoitteiden täyttämisestä (4 artikla). Suomessa tämä viranomainen on sosiaali- ja terveysministeriön yhteydessä toimiva geeniteknikan lautakunta.

Tutkimus- ja kehityskokeet

Direktiivin B-osa määrittelee menettelyn, jonka mukaan tutkimus- ja kehityskokeita koskevat ilmoitukset käsitellään. Menettelyn mukaan toiminnanharjoittaja tekee toimivaltaiselle viranomaiselle ilmoituksen, jossa on yksityiskohtainen vaarojen arviointi (5 artikla). Toimivaltainen viranomainen lähettää komissiolle 30 päivän kuluessa ilmoituksen tiivistelmän, jonka komissio lähettää edelleen muille jäsenvaltioille. Nämä voivat pyytää lisätietoja tai esittää näkemyksiään 30 päivän kuluessa (9 artikla).

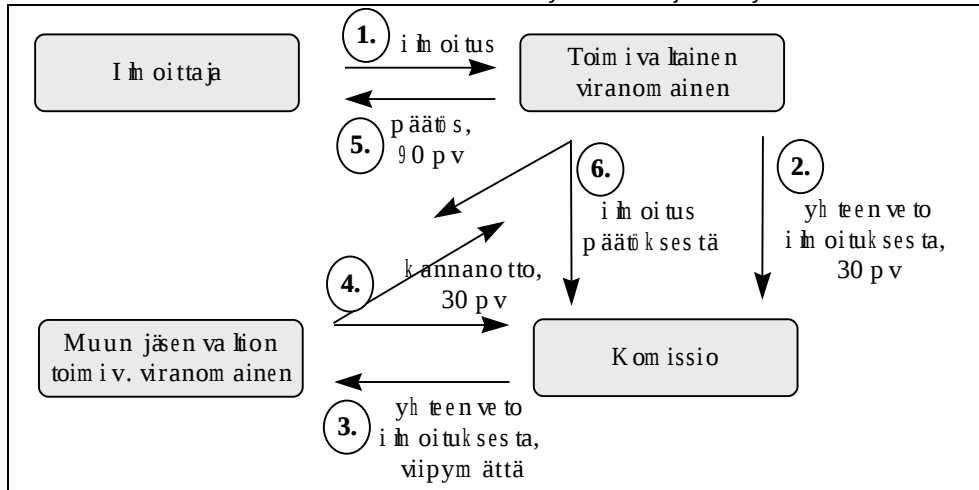
Ilmoituksen vastaanottaneen toimivaltaisen viranomaisen on tiedotettava päätöksestään 90 päivän kuluessa ilmoituksen jättämisestä. Määräaikaan ei sisällytetä sitä aikaa, joka kuluu ilmoittajalta pyydettyjen lisätietojen saamiseen tai julkisten kuulemisten järjestämiseen (6 artikla 1-3 kohta).

Ilmoittaja voi edetä vasta sitten, kun hän on saanut luvan, ja hänen on noudatettava luvassa määrättyjä ehtoja (6 artikla 4 kohta). Vaaroja koskevien lisätietojen perusteella toimivaltainen viranomainen voi vaatia kokeen muuttamista tai keskeyttämistä (6 artikla 6 kohta). Ilmoittajan on lähetettävä toimivaltaiselle viranomaiselle levittämisen tulokset

niiltä osin, kun tulokset koskevat terveydelle ja ympäristölle aiheutuvia vaaroja (8 artikla).

Toimivaltaisen viranomaisen on ilmoitettava päätöksistään komissiolle ja muille jäsenvaltioille (9 artikla). Se voi pyytää komissiolta lupaa yksinkertaistettujen menettelyjen soveltamiseksi sellaisten GMO:iden levitykseen, joista se katsoo olevan riittävästi kokemusta (6 artikla 5 kohta). Halutessaan toimivaltainen viranomainen voi kuulla yleisön mielipidettä mistä tahansa tarkoitukselliseen levittämiseen liittyvästä seikasta (7 artikla)³⁵⁴.

Kuva 7.1 Direktiivin 90/220/ETY ilmoitusmenettely tutkimus- ja kehityskokeessa



GMO-tuotteiden markkinoille saattaminen

Direktiivin C-osa määrittelee menettelyn, jota sovelletaan GMO-tuotteiden markkinoille saattamiseen. Menettelyssä ilmoittaja jättää ilmoituksen sen jäsenvaltion toimivaltaiselle viranomaiselle, jossa tuotetta ollaan ensimmäistä kertaa tuomassa EU:n markkinoille. Ilmoituksen on sisällettävä muun muassa direktiivin liitteiden II ja III mukainen yksityiskohtainen vaarojen arviointi, selvitys tuotteen käytöstä ja käsittelystä sekä ehdotus pakkaus- ja merkintäkäytännöistä (11 artikla 1 kohta). Luvan saaminen edellyttää, että 1) direktiivin B-osan mukainen ilmoitus on hyväksytty tai, ellei näin ole, direktiivin B-osan mukainen vaarojen arviointi on liitetty ilmoitukseen, 2) tuote on yhteisölainsäädännön mukainen ja 3) C-osan mukainen ympäristövaarojen arviointi on tehty.

³⁵⁴ Julkisia kuulemisia ei Suomessa ole järjestetty, eikä voimassa oleva direktiivi yksilöi, millä tavalla julkiset kuulemiset tulisi järjestää. USA:ssa julkista kuulemistä on edistetty viemällä asiakirjoja internetiin, missä ne ovat olleet vapaasti kommentoitavissa. Myös komissio on ehdottanut internetin käyttöä.

Jos GMO:ta käytetään erillisissä tuotteissa, joilla on erilainen käyttötarkoitus, on jokaisesta tuotteesta tehtävä erillinen ilmoitus (11 artikla 4 kohta).

Toimivaltaisen viranomaisen on 90 päivän kuluessa joko 1) hylättävä ilmoitus tai 2) lähetettävä komissiolle puoltava lausunto sekä tekninen asiakirja, joka sisältää yhteenvedon ilmoituksesta sekä tiedot erityisehdoista, joiden puitteissa hyväksymistä ehdotetaan (12 artikla 2-3 kohta). Komissio lähettää teknisen asiakirjan välittömästi muiden jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille (13 artikla 1 kohta). Ellei minkään muun jäsenvaltion toimivaltainen viranomainen esitä perusteltua vastalauseita 60 pv:n kuluessa, ilmoituksen vastaanottanut toimivaltainen viranomainen voi hyväksyä ilmoituksen, mistä se lähettää tiedon komissiolle ja muille jäsenvaltioille (13 artikla 2 kohta). Komissio julkaisee hyväksytyjen tuotteiden tiedot *Euroopan yhteisöjen virallisessa lehdessä* (17 artikla).

Ilmoittaja ei voi edetä ennen kuin lupa on myönnetty. Hän on terveys- ja ympäristövaaroja koskevan tiedon osalta jatkuvasti ilmoitusvelvollinen (11 artikla 5-6 kohta). Tuotetta voidaan käyttää ilman eri ilmoitusta koko yhteisön alueella, jos hyväksynnän erityisehtoja noudatetaan (13 artikla 5 kohta).

Jos jonkin toisen jäsenvaltion toimivaltainen viranomainen esittää perustellun vastalauseen eivätkä ko. jäsenvaltioiden toimivaltaiset viranomaiset pääse keskenään yksimielisyyteen 60 pv:n kuluessa, päätös tehdään komiteamenettely IIIa:n mukaisesti (ks. alla).

Jäsenvaltiot eivät saa kieltää, rajoittaa tai estää luvan saaneiden tuotteiden markkinoille saattamista (15 artikla). Jos jäsenvaltiolla on kuitenkin perusteltua syytä todeta, että GMO-tuote on vaaraksi ihmisten terveydelle tai ympäristölle, se voi väliaikaisesti rajoittaa tuotteen käyttöä tai myyntiä tai kieltää sen käytön alueellaan. Jäsenvaltion on ilmoitettava päätöksestään välittömästi komissiolle ja muille jäsenvaltioille, minkä jälkeen asia ratkaistaan komiteamenettely IIIa:n mukaisesti (16 artikla).

Komissio ja toimivaltaiset viranomaiset eivät saa antaa kolmansille osapuolille luottamuksellisia tietoja, ja niiden on suojattava tietoihin liittyviä immateriaalioikeuksia (19 artikla 1 kohta). Ne eivät saa pitää luottamuksellisina GMO:iden kuvausta, ilmoittajan yhteystietoja, levittämisen tarkoitusta ja paikkaa, seurantaa ja hätätoimia varten tarkoitettuja suunnitelmia eikä tauteja aiheuttavien tai ekologista tasapainoa horjuttavien vaikutusten arviointia (19 artikla 4 kohta).

Jäsenvaltiot lähettävät komissiolle 1) vuosittaisen kertomuksen tuotteiden valvonnasta (18 artikla 1 kohta) sekä 2) kerran kolmessa vuodessa kertomuksen toimenpiteistään direktiivin täytäntöönpanemiseksi (22 artikla 2 kohta). Komissio antaa joka kolmas vuosi

Euroopan parlamentille ja neuvostolle kertomuksen GMO-tuotteiden valvonnasta (18 artikla 2 kohta). Komission ja jäsenvaltioiden toimivaltaiset viranomaiset kokoontuvat säännöllisesti ja vaihtavat kokemuksia GMO:iden vaarojen ehkäisystä (22 artikla 1 kohta).

Komission on mukautettava direktiivin liitteet tekniikan kehitykseen, jolloin mukauttamispäätökset tehdään komiteamenettely IIIa:n mukaan (20 artikla).

Komiteamenettely

Komiteamenettely IIIa:ta sovelletaan, kun

- 1) jonkun jäsenvaltion toimivaltainen viranomainen on esittänyt perustellun vastalauseen toisen jäsenvaltion toimivaltaisen viranomaisen esittämään puoltavaan ehdotukseen, eivätkä toimivaltaiset viranomaiset pääse keskenään yksimielisyyteen 60 päivän kuluessa³⁵⁵ vastalauseen esittämisestä (13 artikla 3 kohta),
- 2) jokin jäsenvaltio pyrkii väliaikaisesti rajoittamaan GMO-tuotteen käyttöä alueellaan (16 artikla),
- 3) direktiivin liitteitä II ja III mukautetaan tekniseen kehitykseen (20 artikla).

Komiteamenettelyssä komissiota avustaa sääntelykomitea, jossa on edustaja kustakin jäsenvaltiosta ja puheenjohtaja komissiosta. Puheenjohtaja tekee sääntelykomitealle päätösehdotuksen ja hän voi määrätä lausunnon antamista varten määrääjän, joka ei kuitenkaan saa olla 3 kuukautta pidempi. Komitea antaa puoltavan lausunnon, jos sen määräenemmistö (vähintään 62 ääntä 87:stä) kannattaa komission ehdotusta. Komitea voi hylätä komission ehdotuksen vain, jos se on yksimielinen.

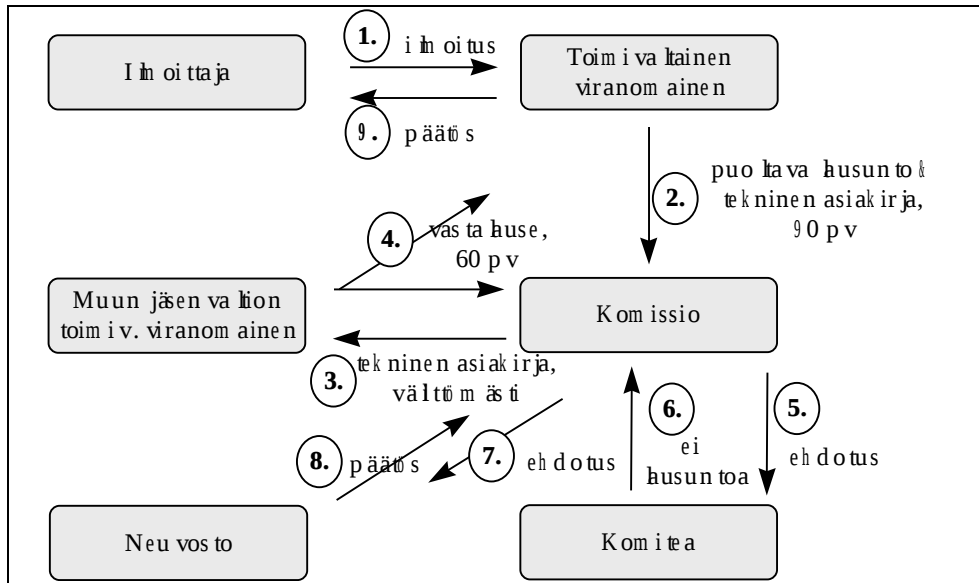
Komissio tekee ehdotuksen mukaisen päätöksen, jos komitea on antanut puoltavan lausunnon. Jos komitean määräenemmistö ei kannata komission ehdotusta, eikä komitea myöskään yksimielisesti hylkää ehdotusta, niin komissio tekee ehdotuksen neuvostolle. Jos neuvostossa ei synny määräenemmistöä ehdotuksen kannattamiseksi eikä myöskään yksimielisyyttä sen hylkäämiseksi kolmen kuukauden kuluessa asian vireille tulemisesta, jää päätös komission tehtäväksi.

Kaiken kaikkiaan GMO-tuotteiden markkinoille saattamista koskeva ilmoitusmenettely voi siis olla varsin monivaiheinen. Kuva 7.2 havainnollistaa tilannetta, jossa neuvosto ottaa asiaan kantaa sen jälkeen, kun toisen jäsenvaltion toimivaltainen viranomainen on

³⁵⁵ Määräaika alkaa siitä, kun komissio on saattanut ilmoituksen yhteenvedon (SNIF, summary notification information format) jäsenvaltioiden tiedoksi.

esittänyt vastalauseen ja komissiota avustava komitea ei ole puoltanut komission ehdotusta.

Kuva 7.2 GMO-tuotteen markkinoille saattamisesta koskevan ilmoituksen käsittely tilanteessa, jossa toinen jäsenvaltio esittää vastalauseen ja komitea ei anna puoltavaa lausuntoa



Uuselintarvikeasetus

Euroopan parlamentin ja neuvoston antama uusielintarvikeasetus³⁵⁶ tuli voimaan 15. toukokuuta 1997. Asetus koskee sellaisten elintarvikkeiden ja elintarvikkeiden ainesosien markkinoille saattamista, 1) joiden käyttö ihmisravintona on aikaisemmin ollut EU:ssa hyvin vähäistä ja 2) jotka sisältävät GMO:ita tai on valmistettu GMO:ista, tai jotka kuuluvat johonkin muuhun asetuksessa erikseen mainittuun ryhmään (1 artikla). Asetusta ei kuitenkaan sovelleta elintarvikelisiä aineisiin, -aromeihin eikä näiden valmistusaineisiin.

Keskeisenä lähtökohtana uusielintarvikeasetuksessa on ns. *olennaisen vastaavuuden periaate*: mikäli elintarvike poikkeaa joko koostumuksensa, ravintosisältönsä, ravitsemuksellisten vaikutustensa tai käyttötarkoituksensa osalta markkinoilla olevista tuotteista, sen ei katsota olevan näiden kanssa samankaltainen. Tällöin kuluttajalle on annettava tietoa tuotemerkinnöissä tuotteen uusista ominaisuuksista ja valmistusmenetelmistä.

Uuselintarvikkeiden markkinoille saattaminen edellyttää etukäteen tehtävää turvallisuuden arviointia ja hyväksyntää. Käytäntö poikkeaa tavallisten elintarvikkeiden sääntelystä, joiden kohdalla mahdollinen viranomaiskontakti syntyy valvontateitse vasta markkinoille tuomisen jälkeen.

³⁵⁶ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus n:o 258/97 uusielintarvikkeista, ks. 97/258/EY, ks. EYVL N:o L 43/1, 14.2.1997.

Uuselintarviketta koskeva hakemus jätetään siinä jäsenvaltiossa, jossa tuotetta ollaan ensimmäistä kertaa tuomassa EU:n markkinoille. Hakemukseen on liitettävä muun muassa jäljennös turvallisuusarviointia tukevista tutkimustuloksista, riittävä aineisto kuluttajasuojavaatimusten toteutumisesta sekä merkintäehdotus (6 artikla 1 kohta). GMO-tuotteista asetus edellyttää direktiivin 90/220/ETY C-osan mukaista terveys- ja ympäristörisien arviointia.

Jäsenvaltion on ilmoitettava komissiolle niiden toimivaltaisten elinten nimet, jotka se valtuuttaa tekemään tuotteiden ensiarvioinnit (2 artikla 3). Suomessa ensiarvioinnista vastaa uuselintarvikelautakunta.

Hakijan on lähetettävä hakemuksesta kopio komissiolle, joka toimittaa muille jäsenvaltioille viipymättä tiedon hakemuksesta, hakemuksen tiivistelmän sekä hakemuksen vastaanottaneen toimivaltaisen viranomaisen nimittämän arviointielimen nimen.

Kolmen kuukauden kuluessa arviointielimen on laadittava hakemuksen vastaanottamisesta ensiarviointiraportti. Jäsenvaltion on toimitettava raportti viipymättä komissiolle, joka toimittaa sen edelleen muille jäsenvaltioille. Komissio ja muut jäsenvaltiot voivat esittää ensiarviointiraporttiin huomioita tai perusteltuja muistutuksia 60 päivän kuluessa (6 artikla 4 kohta).

Jos ensiarviointiraportti esittää täydentävän arvioinnin tekemistä, tai jos hyväksymistä puoltavaan lausuntoon on esitetty perusteltu muistutus, lupapäätös tehdään täydentävän arvioinnin perusteella. Tällöin noudatetaan asetuksen artiklassa 13 määriteltyä komiteamenettelyä, jonka mukainen käsittely vastaa direktiivin 90/220/ETY artiklan 21 komiteamenettelyä.

Ensiarvioinnin päätyttyä jäsenvaltion on ilmoitettava hakijalle viipymättä joko hakemuksen hyväksymisestä tai täydentävän arvioinnin tarpeellisuudesta (4 artikla 2 kohta).

Täydentävän arvioinnin nojalla tehty lupapäätös määrittelee luvan laajuuden sekä tarvittaessa tuotteen käyttöehtoja, nimeä, ominaispiirteitä ja merkintöjä koskevat erityisvaatimukset (7 artikla 2 kohta).

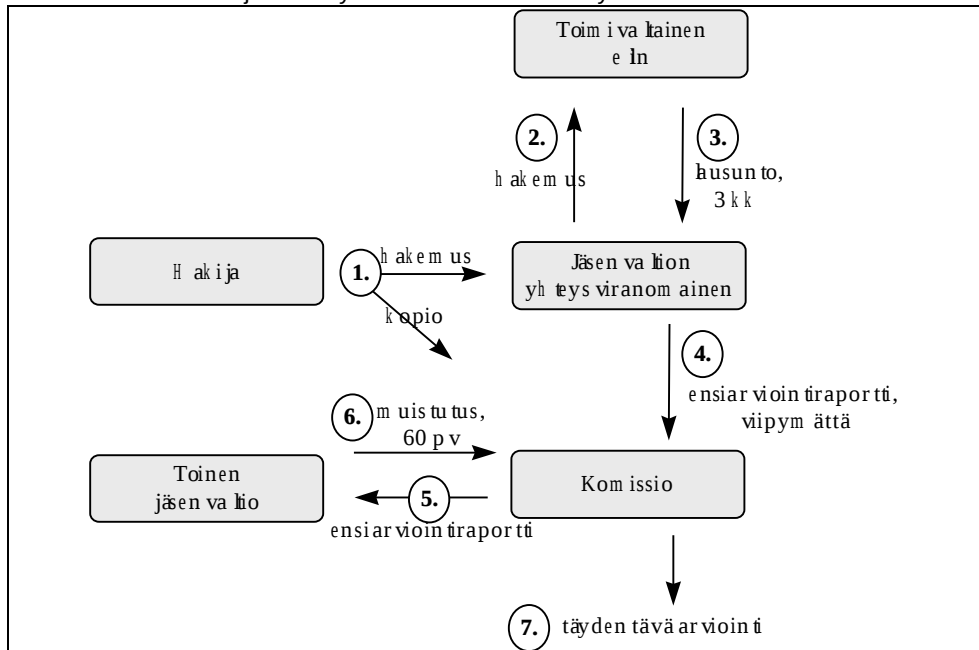
Uuselintarvikkeen tuotemerkintöjen on sisällettävä tiedot 1) siitä, sisältääkö tuote GMO:ita, 2) niistä ominaisuuksista, joiden osalta tuote eroaa vastaavista jo olemassa olevista tuotteista, ja 3) aineksista, joita vastaavassa jo olemassa olevassa tuotteessa ei ole ja jotka voivat vaikuttaa joidenkin väestöryhmien terveyteen tai aiheuttaa eettistä epävarmuutta. Mikäli vastaavaa tuotetta ei entuudestaan ole olemassa, kuluttajalle on annettava riittävästi tietoa uuden tuotteen luonteesta (8 kohta). Jos tuote on olennaisesti samankal-

tainen kuin markkinoilla jo olevat tuotteet, merkintää ei edellytetä. Poikkeuksena ovat kuitenkin tuotteet, jotka sisältävät GMO:ita tai joiden terveys- ja eettiset näkökohdat merkintää edellyttävät.

Jäsenvaltio voi väliaikaisesti rajoittaa sellaisten hyväksynnän saaneiden tuotteiden käyttöä, joiden voidaan joko 1) uusien tietojen tai 2) aiempien tietojen uudelleen tulkinnan nojalla katsoa aiheuttavan vaaraa ihmisten terveydelle tai ympäristölle. Jäsenvaltion on viipymättä ilmoitettava päätöksestään komissiolle ja muille jäsenvaltioille (12 artikla 1 kohta). Tämän jälkeen asia ratkaistaan direktiivin 90/220/ETY mukaisella komiteaennettelyllä.

Alla oleva kaavio havainnollistaa hakemuskäytäntöä tilanteessa, jossa toisen jäsenvaltion tekemä muistutus johtaa täydentävän arvioinnin tekemiseen.

Kuva 7.3 Uuselinotarvikkeen hakemuskäsittelyn alkuvaiheet tilanteessa, jossa toisen jäsenvaltion muistutus johtaa täydentävän arvioinnin käynnistämiseen



Ensimmäiset uuselinotarvikkeasetuksen mukaiset hakemukset jätettiin EU:ssa syksyllä 1997, ja tällä hetkellä niitä on käsittelyssä noin kymmenkunta. Yhtään tuotetta uuselinotarvikkeasetuksen puitteissa ei ole vielä hyväksytty.³⁵⁷ Englannissa myytävä GMO-tomaattisose on tuotu markkinoille kansallisen lainsäädännön puitteissa, eikä siihen käytettävällä tomaatilla ole viljelylupaa Euroopassa.

GEENITEKNIIKAN SÄÄNTELY SUOMESSA

EU:n geenitekniikkadirektiivit 90/219/ETY ja 90/220/ETY on Suomessa sovitettu osaksi kansallista lainsäädäntöä seuraavilla säännöksillä:

1. Geenitekniikkalaki 377/1995 (annettu 17.3.1995)
2. Geenitekniikka-asetus 821/1995 (annettu 24.5.1995)
3. Sosiaali- ja terveysministeriön päätös geenitekniikalla muunnettujen mikro-organismien luokituksesta ja käytöstä suljetussa tilassa 21/1996 (annettu 11.1.1996)
4. STM:n päätös geenitekniikalla muunnettujen organismien tutkimus- ja kehittämiskoetta sekä tuotteen markkinoille luovuttamista koskevista ilmoituksista 22/1996 (annettu 11.1.1996).

³⁵⁷ Tilanne 5.8.1998.

Lisäksi Suomen ympäristökeskus (SYKE) on antanut ohjeita geenitekniikalla muunnettujen kasvien ympäristöriskien arvioimiseksi.³⁵⁸

Muita kasvigeenitekniikkaa sivuavia säädöksiä ovat muun muassa elintarvikelaki 361/1995, rehulaki 396/1998, torjunta-ainelaki 1204/1994, siemenkauppalaki 233/1993, lääkelaki 395/1987, valtioneuvoston päätös työntekijöiden suojelemisesta työhön liittyvältä biologisten tekijöiden aiheuttamalta vaaralta 1155/1993 ja kauppa- ja teollisuusministeriön päätös uuselintarvikkeista 427/1997.

Viranomaiset

Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) valvoo ja ohjaa geenitekniikkalain ja sen nojalla annettujen säännösten noudattamista erityisesti terveyteen liittyvissä kysymyksissä. Ympäristöministeriöllä (YM) on vastuu ympäristöhaittojen ehkäisemisestä ja torjumisesta. Tuotteiden markkinoille luovuttamista koskevissa määräyksissä on kuultava sekä kauppa- ja teollisuusministeriötä (KTM) että maa- ja metsätalousministeriötä (MMM). KTM valvoo uuselintarvikeasetuksen ja siitä annettujen tarkempien määräysten noudattamista.

Geenitekniikkalaki ja -asetus

Geenitekniikkalaki ja -asetus astuivat voimaan 1.6.1995. Geenitekniikkalain tavoitteena on 1) edistää geenitekniikan turvallista käyttöä ja kehittymistä eettisesti hyväksyttävällä tavalla, sekä 2) ehkäistä ja torjua niitä haittoja, joita GMO:iden käyttö voi aiheuttaa ihmisen terveydelle, eläimille, omaisuudelle ja ympäristölle.

Geenitekniikkalain 5 § mukainen toimivaltainen viranomainen - ja samalla myös EU:n geenitekniikkadirektiiveissä 90/219/ETY ja 90/220/ETY tarkoitettu jäsenvaltion toimivaltainen viranomainen - on STM:n yhteydessä toimiva *geenitekniikan lautakunta*, jossa on edustajat KTM:stä, MMM:stä, STM:stä ja YM:stä; lisäksi lautakunnassa on eettistä asiantuntemusta (3 §). Lautakunnan on nimittänyt valtioneuvosto STM:n ehdotuksesta, ja sillä on STM:n määrääjäksi nimittämä päätoiminen pääsihteeri. Puheenjohtajan ja varapuheenjohtajan lisäksi lautakunnassa voi olla enintään viisi muuta jäsentä.

Laki velvoittaa valtion viranomaiset ja tutkimuslaitokset tukemaan geenitekniikan lautakunnan työtä muun muassa lausuntoja antamalla (6 §). Asiantuntijaviranomaisina toimivat Elintarvikevirasto, Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitos, Kasvintuotannon tarkastuskeskus, Lääkelaitos sekä Suomen ympäristökeskus. Asiantuntijalaitoksia ovat Kansanterveyslaitos, Maatalouden tutkimuskeskus, Metsäntutkimuslaitos, Työterveyslaitos ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

³⁵⁸ Ks. Pitkäjärvi ja Ruohonen-Lehto (1998).

STM:n esityksestä valtioneuvosto asettaa kolmeksi vuodeksi kerrallaan *biotekniikan neuvottelukunnan*. Neuvottelukunnan tehtävänä on

1. edistää biotekniikan ja erityisesti geenitekniikan asioiden käsittelyä yhteistyössä alan viranomaisten, tutkijoiden ja toiminnanharjoittajien kesken
2. seurata ja edistää biotekniikkaa koskevaa kansainvälistä yhteistyötä
3. seurata biotekniikan kehitystä, tutkimusta ja terveys- ja ympäristövaikutuksia
4. kehittää ja edistää biotekniikan tutkimusta, tiedotusta ja koulutustoimintaa
5. edistää eettisten näkökohtien huomioon ottamista biotekniikassa
6. hoitaa muut ministeriöiden antamat biotekniikkaa koskevat tehtäväsiannot.

Neuvottelukunnassa on biotekniikan valvonnan kannalta keskeisten viranomaisten, biotekniikan eri alojen tutkimustoiminnan sekä keskeisten kaupan, kuluttajien ja teollisuuden järjestöjen edustus.³⁵⁹

Uusielintarvikeasetus

Euroopan parlamentin ja neuvoston uusielintarvikeasetus n:o 258/97 tuli sellaisenaan voimaan kaikissa EU-maissa 15.5.1997. KTM:n päätöksen (427/1997) perusteella toimivaltaisena ensiarviointeja tekevänä asiantuntijaelimenä toimii Suomessa *uusielintarvikelautakunta*, jonka KTM nimittää kolmeksi vuodeksi kerrallaan. Lautakunnassa tulee olla asiantuntemusta ainakin ravitsemustieteen, lääketieteen, toksikologian, elintarvikekemian, elintarviketeknologian, mikrobiologian, biotekniikan, geenitekniikan ja elintarvikehallinnon alalta (2 §). GMO:ita sisältäviä tai niistä koostuvia elintarvikkeita arvioi-
dessaan uusielintarvikelautakunnan on kuultava geenitekniikan lautakuntaa (2 §). Kansallinen yhteysvirasto on *Elintarvikevirasto*, joka huolehtii uusielintarvikkeita koskevien hakemusten ja muiden asiakirjojen vastaanottamisesta ja toimittamisesta uusielintarvikelautakunnalle tai komissiolle (5 §)³⁶⁰.

DIREKTIIVIN 90/220/ETY MUUTTAMINEN

Kokemuksia direktiivin toiminnasta

Direktiivin 90/220/ETY soveltaminen on ollut osin ongelmallista, koska jäsenvaltioiden toimivaltaisilla viranomaisilla on ollut erilaisia näkemyksiä muun muassa direktiivin soveltamisalan rajauksista ja riskien arvioinnin periaatteista.

Helmikuussa 1994 *Plant Genetics Systems* jätti Iso-Britannian toimivaltaiselle viranomaiselle ilmoituksen, joka koski rikkakasvihävitettä kestävän rapsin³⁶¹ markkinoille

³⁵⁹ Geenitekniikka-asetus, 38-39 §.

³⁶⁰ Yleistietoa uusielintarvikkeista on Elintarvikevalvonta-lehden teemanumerossa 3/97.

³⁶¹ Kyseessä oli resistenssi *Basta*-valmisteen sisältämälle glufosinaatille.

saattamista. Tätä ennen EU:n markkinoille oli hyväksytty vain siirtogeeninen tupakka. Tässä tilanteessa esille tulleita näkemyseroja havainnollistavat seuraavat kannanotot.³⁶²

- Iso-Britannian toimivaltainen viranomainen ehdotti toukokuussa 1994 em. rapsin hyväksymistä EU:n laajuisesti. Iso-Britannia ei pitänyt rapsin mahdollista risteytymistä rikkakasvien kanssa merkittävänä, sillä vaikka glufosinaattia kestäviä rikkakasveja syntyisikin, niin niitä voitaisiin torjua käytössä olevilla menetelmillä, muun muassa *RoundUp*-glyfosaattivalmisteella. Iso-Britannian kannan mukaan direktiivin sovellusala koski siis vain itse tuotteen välittömiä ekologisia vaikutuksia, mutta ei niitä muutoksia, joita sen viljely saattaisi aiheuttaa muiden torjunta-aineiden käytössä. Ilmoituksen käsittelyä kritisoitiin julkisuudessa, ja neuvoa-antavan *Advisory Board on Releases to the Environment* (ACRE) ympäristöasioista vastaava jäsen arvosteli lehdistötiedotteessa ympäristönäkökohtien arvioinnin kapea-alaisuutta.
- Tanskan mukaan muutokset torjunta-aineiden käytön kokonaismäärässä ja käytettävissä olevien torjunta-ainekäsittelyvaihtoehtojen mahdollinen kaventuminen kuuluivat direktiivin soveltamisalaan. Tanska viittasi myös julkisrahoitteisen bioturvallisuustutkimuksensa tuloksiin, joiden mukaan rapsi saattaa risteytyä Tanskassa yleisen peltokaalin (*Brassica campestris*) kanssa.³⁶³ Toimivaltaisten viranomaisten kokoukseen osallistuneet EFTA-maat (Suomi, Ruotsi, Norja, Itävalta) kritisoivat *Plant Genetic Systemsin* esittämää riskien arviointia siitä, että se ei ottanut välillisiä vaikutuksia huomioon. Direktiivin soveltamisalan laajaa tulkintaa peräänkuulutettiin myös siksi, että Tanskan ja Itävallan geenitekniikkalainsäädännöt edellyttivät laajaa välillisten vaikutusten tarkastelua.³⁶⁴
- Hollannissa oli tavoitteeksi asetettu rikkakasvihävitteiden käytön puolittaminen vuoteen 2000 mennessä vuoden 1990 tasolta. Tämän ennakoitiin johtavan siihen, että herbisidiresistenttejä kasveja koskevilla ilmoituksissa olisi oltava arviot torjunta-aineiden käytön kokonaismäärien muuttumisesta. Hollannin toimivaltaisen viranomaisen virallinen kanta oli kuitenkin, että vaikka herbisidiresistentti rapsi saattaa olla tässä mielessä ongelmallinen, ei direktiivi 90/220/ETY kuitenkaan tällaista arviointia edellytä.
- Ranska korosti herbisidiresistenttien rikkakasvien sosio-ekonomisiin seurauksiin liittyviä epävarmuuksia ja ehdotti luvan hyväksymistä viiden vuoden ajaksi, jonka kuluessa kaupallista käyttöä olisi valvottava.

Helmikuussa 1995 *Plant Genetics Systemsin* ilmoituksesta äänestettiin direktiivin 21 artiklan sääntelykomiteassa. Määräenemmistö kannatti sen hyväksymistä. Perusteluina luvan myöntämiselle komissio³⁶⁵ totesi Iso-Britannian esityksen mukaisesti, että ”herbisi-

³⁶² Levidow et al (1996), Levidow et al. (1997).

³⁶³ Ks. Mikkelsen et al. (1996).

³⁶⁴ Mm. Tanskan vuonna 1991 uusittu geenitekniikkalakiin sisältyi kestävän sosiaalisen kehityksen kriteeri (”sustainable social development”), jota vastaava periaate sisältyy myös Itävallan geenitekniikkalakiin (”sozial unverträglichkeit”).

³⁶⁵ EYVL 37, 15.2.1996.

di-resistenssigeenin mahdollisen leviämisen seuraukset voidaan hallita käytössä olevilla menettelyillä“. Silti myös osa hyväksymistä puoltaneista toimivaltaisista viranomaisista oli sitä mieltä, että GMO:iden ja torjunta-aineiden välisen sääntelyn rajoja ei ole riittävästi täsmennetty.

Myös siirtogeenisten kasvien laajamittaisen viljelyn riskeihin on suhtauduttu eri tavoin. Kun Tanska vastusti *Plant Genetic Systemsin* ilmoituksen hyväksymistä vedoten siihen, että laajamittaisen viljelyn mahdollisia vaikutuksia ei voida ennakoida, niin Italian toimivaltainen viranomainen esitti puoliretorisen kysymyksen siitä, miten tällaisia vaikutuksia voidaan oppia tuntemaan, ellei laajamittaisia kenttäkokeita sallita.³⁶⁶

Vuosina 1994-95 komission ympäristöasioista vastaava pääosasto DG XI rahoitti vertailevaa selvitystyötä, jonka tehtävänä oli kartoittaa, miten eri jäsenvaltiot käsittelevät samojen GMO:iden levittämistä koskevia ilmoituksia. Tuloksia ei julkaistu, tiettävästi siksi, että eri jäsenvaltioiden välillä ilmeni suuria eroja.³⁶⁷ Riskien ohella myös hyötyjä käsiteltiin eri tavoin: esimerkiksi Italia tarkasteli vain taloudellisia hyötyjä, mutta ei ottanut huomioon ympäristönäkökohtiin liittyviä hyötyjä. Ranska ja Tanska sen sijaan pyrkivät tarkastelemaan kaikentyyppisiä, niin taloudellisiin, terveydellisiin ja kuin sosio-ekonomisiin kysymyksiin liittyviä hyötyjä. Näitä termejä tulkittiin kuitenkin eri jäsenvaltioissa eri tavoin.³⁶⁸

Eri jäsenvaltioissa toimivaltaiset viranomaiset toimivat eri ministeriöiden yhteydessä. Tämä on johtanut erilaisiin painotuksiin haitallisten vaikutusten määrittelyssä ja riskien arviointiosaamisen kehittämisessä. Esimerkiksi Iso-Britannian, Hollannin ja Tanskan toimivaltaiset viranomaiset toimivat ympäristöministeriön yhteydessä. Ne ovat kehittäneet osaamistaan ympäristövaikutusten arvioinnissa ja luoneet menettelyjä, joiden avulla ympäristönäkökohtia voidaan ottaa huomioon. Siksi niillä on ollut suhteellisesti enemmän myös kansainvälistä vaikutusta.³⁶⁹

Ranskassa toimivaltainen viranomainen toimii maatalousministeriön yhteydessä (joskin ympäristöministeriöllä on veto-oikeus). Saksassa ja Belgiassa toimivaltainen viranomainen on organisoitu terveysministeriön yhteyteen.³⁷⁰ Espanjassa ja Belgiassa direktiivin 90/220/ETY velvoitteiden täyttäminen on hidastunut keskus- ja aluehallinnon välisten jännitteiden seurauksena. Vaikka esimerkiksi Belgiassa Flandersin oma ympäristölainsäädäntö johti GMO:iden levittämisen kieltämiseen, on molemmissa maissa aluetasolla

³⁶⁶ Levidow et al. (1996) ja luku 4.

³⁶⁷ Levidow et al. (1996).

³⁶⁸ OECD (1995).

³⁶⁹ Levidow et al. (1996)

³⁷⁰ Levidow et al. (1996).

vain vähän resursseja GMO:iden levittämisen valvomiseksi. Valvontatehtävä saattaa siirtyä takaisin keskushallinnon tasolle.³⁷¹

Riskejä on niin ikään tulkittu eri tavoin. Ranskassa toimivaltaisen viranomaisen apuna toimivaan neuvoa-antavaan komiteaan ei ole kuulunut ympäristötieteilijöitä, mistä johdun riskien arvioinnissa on korostettu ensisijaisesti siirretyn DNA:n rakenteen tuntemista. Hollannin toimivaltainen viranomainen on pyrkinyt tarkastelemaan mahdollisten vaikutusten hyväksyttävyyttä³⁷² (joskaan rikkakasvien torjuntaa ei käsitellä osana näitä vaikutuksia), ja se on myös pyytänyt ympäristöjärjestöjä ehdottamaan kriteerejä, joita voitaisiin käyttää ympäristövaikutusten hyväksyttävyyden arvioinnissa. Iso-Britanniassa on sovellettu ympäristöministeriön kehittämää viitekehysmenetelmää³⁷³, jonka tehtävänä on auttaa ilmoittajia suunnittelemaan turvallisia kenttäkokeita. Iso-Britanniassa riskejä aiheuttavat kenttäkokeet GMO:illa ovat lain mukaan kiellettyjä, minkä tuloksena ”ympäristöhaitta”-termiä saatetaan käyttää tilanteessa, joissa jonkin muun maan toimivaltainen viranomainen saattaisi käyttää ”riski”-termiä.

Direktiivin 90/220/ETY epäyhtenäisestä tulkinnasta kertoo myös se, että GMO-tuotteiden markkinoille saattamista koskevien ilmoitusten käsittelyssä on lähes aina päädytty komiteamenettelyn käyttöön, vaikka direktiiviä säädettäessä menettely tarkoitettiin lähinnä poikkeustapauksissa sovellettavaksi. Ainoa GMO-tuotteesta tehty ilmoitus, jota vastaan ei ole esitetty perusteltua vastalauseita, on *Florigene Europe B.V.*:n kukanväriltään muunnettu tarhaneilikka.

Direktiivin komiteamenettely saattaa jättää lopullisen päätöksen komission tehtäväksi. Näin tapahtuu, jos 1) sääntelykomitea ei puolla komission ehdotusta määräenemmistöllä, mutta ei myöskään hylkää sitä yksimielisesti, ja jos 2) neuvosto ei tämän jälkeen puolla komission ehdotusta määräenemmistöllä tai yksimielisesti hylkää sitä. Näin kävi muun muassa silloin, kun komissio hyväksyi Novartiksen (ent. Ciba-Geigy) *Bt*-maissin EU:n markkinoille 23.1.1997. Kyseessä oli samalla ensimmäinen kerta, kun GMO-tuote hyväksyttiin EU:n markkinoille ilman erityisrajoitteita.

Komiteamenettelyn käyttö on osaltaan johtanut siihen, että tuotteiden markkinoille saattamista koskevien ilmoitusten käsittely kestää Euroopassa kauemmin kuin muualla. Hyväksynnän saaneita ilmoituksia on EU:ssa käsitelty keskimäärin noin 27 kuukautta, kun USA:ssa hyväksyntään päättynyt käsittely on kestänyt keskimäärin 10 kuukautta ja Argentiinassa 7 kuukautta. Yritykset ovat kritisoineet direktiivin soveltamista myös siitä,

³⁷¹ Arvio on vuodelta 1996.

³⁷² Engl. ”acceptability of potential impacts”.

³⁷³ Engl. ”framework approach”. Menetelmä on ollut myös Suomen ympäristökeskuksen antamien arviointiohjeiden perustana; ks. Pitkäjärvi ja Ruohonen-Lehto (1998).

että käsittelyprosessin kesto ei ole ennakoitavissa eikä sen kestolle ole määrätty ylärajaa.³⁷⁴

Direktiivin 90/220/ETY uudelleen tarkastelu

Vuonna 1995 komissio viittasi direktiivin 90/220/ETY puutteellisuuksiin tiedonannossa³⁷⁵ *Bioteknologia ja valkoinen kirja kasvusta, kilpailukyystä ja työllisyydestä*. Pian tämän jälkeen komissio otti direktiivin uudelleen tarkasteluun. Sen aikana komissio kuuli jäsenvaltioiden toimivaltaisia viranomaisia, teollisuutta, tutkimusyhteisöä, ammattiyhdistyksiä sekä ympäristö- ja kuluttajajärjestöjä ja pyrki näin tuottamaan ehdotuksia direktiivin kehittämiseksi. Komissio esitteli kertomuksen uudelleen tarkastelun tuloksista joulukuussa 1996.³⁷⁶

Kertomuksessaan komissio toteaa, että eräät määritelmät - erityisesti “markkinoille saataminen” ja “tarkoituksellinen levittäminen” - ovat osoittautuneet ongelmallisiksi, koska direktiivi ei määrittele yksiselitteisesti olosuhteita, joissa tuotteet kuuluvat sen soveltamisalaan. Direktiivi ei myöskään määrittele vaaroja eikä vaarojen arvioinnin tavoitteita tai perusteita, eikä ota kantaa haitta/hyötysuhteen arviointiin, jonka perusteella olisi mahdollista arvioida, mitkä levittämisen sivuvaikutukset ovat hyväksyttäviä.

Tutkimus- ja kehittämistarkoituksessa tapahtuvan GMO:iden tarkoituksellisen levittämisen osalta kertomus ehdottaa muun muassa, että

1. direktiiviin olisi lisättävä vaaraluokitus, koska kaikki levittäminen ei aiheuta samanaista vaaraa ja tällaista luokitusta noudatetaan muualla³⁷⁷
2. kaikille osapuolille - eikä siis vain ilmoituksen vastaanottavalle viranomaiselle - olisi annettava mahdollisuus ehdottaa yksinkertaistettua menettelyä tutkimus- ja kehityskohteissa (6 artikla 5 kohta)
3. yhden ilmoitusmenettelyn soveltaminen olisi sallittava silloin, kun tarkoituksellinen levittäminen tapahtuu useammassa kuin yhdessä jäsenvaltiossa
4. vaarojen arvioinnin tavoitteet ja menetelmät olisi yhtenäistettävä, koska käytäntö on johtanut jonkinasteiseen turvallisuusstandardien yhdenmukaisuuden puuttumiseen
5. direktiivin olisi velvoitettava ilmoittaja keräämään tutkimus- ja kehityskokeen aikana tietoja, jotka voisivat olla olennaisia GMO:n myöhemmän arvioinnin yhteydessä.

³⁷⁴ OPECST (1998).

³⁷⁵ KOM(94)219, EYVL C 18, 23.1.1995.

³⁷⁶ Kertomus direktiivin 90/220/ETY uudelleen tarkastelusta bioteknologiasta ja valkoisesta kirjasta annetun komission tiedonannon yhteydessä, KOM(96)630 lopull.

³⁷⁷ Mm. USA:ssa, ks. Salo ja Kauppinen (1997).

Ilmoitusten käsittelyä viivästyttää se, että komiteamenettely IIIa ei aseta komissiolle määräaikaa, jonka kuluessa sen on annettava ehdotuksensa sääntelykomitealle tai neuvostolle. Muina puutteellisuuksina kertomuksessa pidetään muun muassa sitä, että

1. kaikkiin tuotteisiin sovelletaan yhdenlaista menettelyä riippumatta siitä, onko niillä tunnettuja vaaroja tai onko markkinoilla jo vastaavia tuotteita
2. ilmoittaja ei voi valittaa kielteisestä lausunnosta, vaan hänen on jätettävä uusi ilmoitus toisen jäsenvaltion toimivaltaiselle viranomaiselle³⁷⁸
3. jäsenvaltiot saattavat arvioida vaarat eri perustein, koska direktiivi ei määrittele vaarojen arvioinnin tavoitteita ja menetelmiä
4. direktiivi ei tarjoa mahdollisuutta viedä tieteellisiä kiistakysymyksiä riippumattoman tieteellisen ryhmän keskusteltavaksi.

Euroopan parlamentin mietintö

Euroopan parlamentti sai komission kertomuksen käsiteltäväkseen joulukuussa 1996, ja sen ympäristö-, terveys- ja kuluttajansuojavaliokuntaan hyväksyi kertomusta koskevan mietinnön³⁷⁹ heinäkuussa 1997.

Mietinnössä puolletaan eräiden määritelmien - kuten esimerkiksi termien ”tuote” ja ”käyttö” - uudelleen tarkastelua, jotta direktiivin soveltamisala selkiytyisi. Lisäksi siinä kannatetaan riskien arvioinnin tavoitteiden ja menetelmien täsmentämistä, ja ehdotetaan, että direktiiviin pitäisi lisätä järjestelmä GMO:iden luokitteluksi, jotta levittämisestä saadut kokemukset voitaisiin hyödyntää paremmin.

Toisaalta mietinnössä tuodaan esiin se, että tutkimus- ja kehityskokeiden yksinkertaistetun menettelyn käytöstä tarvitaan lisää kokemusta ja varmuutta ennen kuin vaatimusten lieventämistä voidaan harkita. Samoin siinä huomautetaan, että komission sisäisten päätöksentekomenettelyjen olisi muututtava nopeammiksi, avoimmiksi ja vastuullisemmiksi, ja että kansalaisilla olisi oltava oikeus tulla kuulluiksi GMO:iden levittämistä koskeissa asioissa.

Mietinnössä puolletaan markkinoille tuotavien GMO-tuotteiden pakkausmerkintöjä ja ehdotetaan, että direktiivissä tulisi olla määräys korvausvelvollisuudesta. Siinä ehdotetaan myös, että GMO:iden markkinoille tuomista koskevat luvat pitäisi myöntää määrääjäksi, minkä jälkeen luvanhaltijan olisi jätettävä kokemuksistaan seurantaraportti.

³⁷⁸ Tämä haittaa etenkin pk-yrityksiä, jotka toimivat tyypillisesti vain yhdessä jäsenvaltiossa.

³⁷⁹ Ks. A4-0239/97, PE 222.540. Mietintö on luettavissa Internetissä sivulla <http://www.europarl.eu.int/dg1/a4/fi/a4-97/a4-0239.htm>.

Komission ehdotus direktiivin 90/220/ETY muuttamisesta

Marraskuussa 1997 komissio esitti direktiivin 90/220/ETY muuttamista koskevan ehdotuksen periaatteet³⁸⁰, ja lopullisen muutosehdotuksensa³⁸¹ se antoi helmikuussa 1998.

Muutosehdotus käsitellään neuvostossa ja Euroopan parlamentissa yhteispäätösmenettelyn mukaisesti. Suomessa direktiivin muutosehdotus lähetettiin valtioneuvostosta eduskuntaan kesäkuussa 1998, ja sen käsittely jatkuu valiokunnissa syksyllä 1998. Muutosehdotuksen lopullinen käsittely saattaa ajoittua Suomen puheenjohtajuuskaudelle syksyllä 1999.

Tutkimus- ja kehityskokeet

Ehdotuksessa esitetään direktiivin muuttamista siten, että levitykset jaettaisiin kahteen luokkaan: luokkaan I kuuluisivat tarkoitukselliset levitykset, 1) jotka eivät aiheuta lisävaaroja vastaavien muuntamattomien organismien levitykseen verrattuna tai 2) jotka ovat samanlaisia kuin luvan jo saaneet levitykset ja joiden ei ole osoitettu aiheuttavan vaaroja ihmisten terveydelle tai ympäristölle.

Luokkaan I kuuluvaa levitystä koskevan ilmoituksen olisi sisällettävä tekninen asiakirja³⁸² muun muassa luokitteluperusteista. Toimivaltaisen viranomaisen olisi todennettava ilmoituksessa esitetty luokitus ja joko hyväksyttävä tai hylättävä ilmoitus 30 pv:n kuluessa. Luokkaan II kuuluvista levityksistä toimivaltaisten viranomaisten olisi toimitettava levityksen tuloksia koskevat raportit sekä komissiolle että muiden jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille.

Muutosehdotus mahdollistaisi useissa maissa tapahtuvien levitysten käsittelyn yhdellä hakumenettelyllä. Tällöin ilmoittajan olisi lähetettävä ilmoitus komissiolle ja niiden jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille, joissa levitys aiotaan tehdä. Komissio lähettäisi ilmoituksen muille toimivaltaisille viranomaisille, minkä jälkeen kaikki toimivaltaiset viranomaiset voisivat esittää huomautuksia 60 pv:n ajan. Mahdolliset huomautukset komissio lähettäisi ilmoituksen vastaanottaneille toimivaltaisille viranomaisille, joiden olisi tehtävä päätös 90 pv:n kuluessa.³⁸³

³⁸⁰ Ks. komission lehdistötiedote IP/97/1044.

³⁸¹ KOM(98)85 lopull., COD 98/0072.

³⁸² Ehdotus esittää, että päätös asiakirjaan sisällytettävien tietojen vähimmäismäärästä tehdään komiteamenettelyllä.

³⁸³ Tähän ei luettaisi kuitenkaan sitä aikaa, mikä toimivaltaisilta viranomaisilta kuluu pyytämiensä lisätietojen odottamiseen tai julkisten kuulemisten tai kyselyjen järjestämiseen.

GMO-tuotteiden markkinoille saattaminen

Muutosehdotus eroaa voimassa olevasta direktiivistä muun muassa seuraavasti:

- GMO:iden markkinoille saattamista koskevat luvat myönnettäisiin seitsemäksi vuodeksi. Ilmoituksiin olisi liitettävä suunnitelma siitä, miten ihmisten terveyteen tai ympäristöön kohdistuvia välittömiä, välillisiä tai vasta myöhemmin ilmeneviä vaikutuksia voitaisiin monitoroida. Direktiivi ei kuitenkaan yksilöi, kuka vastaisi monitorointi-ohjelman toteutuksesta ja kustannuksista.³⁸⁴
- Ilmoitukseen olisi liitettävä merkintäehdotus, jonka mukaan tuote olisi varustettava merkinnällä ”sisältää GMO:ita”, jos tuotteen tiedetään sisältävän GMO:ita, tai merkinnällä ”saattaa sisältää GMO:ita”, jos tuotteessa voi olla GMO:ita, mutta varmaa tietoa tästä ei ole. GMO:ita. Tällä hetkellä vastaavat merkintävelvoitteet on annettu direktiivillä 97/35/EY.
- Komissio voisi yhtä tai useampaa tiedekomiteaa kuultuaan ehdottaa edellytyksiä ja tiedonantovaatimuksia, joiden mukaiset ilmoitukset käsiteltäisiin yksinkertaistetulla menettelyllä. Tällaisista edellytyksistä ja tiedonantovaatimuksista päätettäisiin komiteamenettelyllä.
- Terveydelle ja ympäristölle aiheutuvien riskien arviointi olisi tehtävä muutosehdotuksen liitteessä II vahvistettujen periaatteiden mukaisesti. Vaiheina riskien arvioinnissa³⁸⁵ olisivat GMO:iden levittämisen mahdollisesti aiheuttamien vaarojen tunnistaminen, vaaroihin liittyvien vaikutusten laajuuden ja todennäköisyyden arviointi sekä tältä pohjalta tapahtuva riskien hallintastrategioiden laatiminen ja kokonaisriskin arviointi. Mahdollisina haittoina muutosehdotuksen liitteessä II on mainittu muun muassa patogeenisuus (so. myrkyllisyys), terveydenhoidollisten toimenpiteiden vaarantuminen ja geenin leviäminen muihin organismeihin.³⁸⁶ Näitä arvioitaessa on otettava huomioon geenitekniikalla siirrettävä ominaisuus, siirron kohteena oleva organismi, tarkoitettu käyttö sekä organismin ja sen ympäristön välinen vuorovaikutus.

Vakiomenettely

Ensimmäistä levitystä koskevien ilmoitusten käsittelyä (ns. vakiomenettely) muutosehdotus muuttaisi siten, että toimivaltaisen viranomaisen olisi lähetettävä viipymättä jäljennös ilmoituksesta komissiolle ja muiden jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille. Nyky-

³⁸⁴ Käytännössä ei ole realistista olettaa, että yksittäinen, esimerkiksi siirtogeenistä perunaa tuottava viljelijä voisi seurata tuottamansa perunan vaikutuksia vielä useamman vuoden kuluttua.

³⁸⁵ Vaikka termistö on eräin osin epäyhtenäistä, voidaan ”vaaran” katsoa tarkoittavan mahdollisuutta siitä, että toimenpide saattaa johtaa haittoihin. ”Riski” puolestaan viittaa haitan suuruuden ja sen todennäköisyyden yhteisvaikutukseen.

³⁸⁶ Muita haittoja ovat mm. patogeenisuus (so. myrkyllisyys), terveydellisten hoitojen vaarantuminen, vaikutukset lajien kantoihin ekologisessa ympäristössä, GMO:iden leviäminen ja ilmiön pysymättömyys.

käytännön mukaan toimivaltaisen viranomaisen on lähetettävä ilmoitus komissiolle vastaus, jos se päättyy puoltavaan lausuntoon 90 pv:n kuluessa.

Vakiomenettelyn osalta muutosehdotus esittää, että toimivaltaisten viranomaisten olisi esitettävä huomionsa tai perustellut vastalauseensa 30 pv:n kuluessa (nykyisen 60 pv:n sijasta), ja että myös komissio voisi esittää vastalauseita. Huomiot ja vastalauseet olisi lähetettävä komissiolle, joka lähettäisi ne välittömästi kaikille toimivaltaisille viranomaisille³⁸⁷.

Jos vakiomenettelyn puitteissa jätettyyn ilmoitukseen on jätetty perusteltu vastalause, komission ja toimivaltaisten viranomaisten olisi pyrittävä ratkaisuun 60 pv:n aikana.³⁸⁸ Jos ratkaisuun ei päästä, asia ratkaistaisiin komiteamenettelyllä.

Yksinkertaistettu menettely

Muutosehdotus mahdollistaisi yksinkertaistetun menettelyn käytön sellaisten GMO:iden markkinoille saattamisessa, jotka täyttäisivät komiteamenettelyllä erikseen päätettävät edellytykset.

Yksinkertaistetussa menettelyssä ilmoittaja lähettäisi ilmoituksen ja teknisen asiakirjan tiivistelmän niiden maiden toimivaltaisille viranomaisille, joissa tuote aiotaan saattaa ensimmäisen kerran markkinoille EU:ssa. Toimivaltaisen viranomaisen olisi 15 pv:n kuluessa joko 1) hylättävä ilmoitus, koska se ei täytä yksinkertaistetun menettelyn edellytyksiä, tai 2) hyväksyttävä ilmoitus yksinkertaistetun menettelyn mukaisesti käsiteltäväksi.

Jos ilmoitus hyväksytään yksinkertaistetun menettelyn mukaisesti käsiteltäväksi, toimivaltaisten viranomaisten olisi lähetettävä viipymättä ilmoitusasiakirjat komissiolle ja muiden jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille. Nämä voisivat 30 pv:n kuluessa esittää huomioita ja perustelluja vastalauseita komissiolle, joka lähettäisi nämä edelleen kaikille muille toimivaltaisille viranomaisille. Jos perustelluja vastalauseita on esitetty ja komissio ja toimivaltaiset viranomaiset eivät pääse 45 pv:n kuluessa ratkaisuun, asia ratkaistaisiin komiteamenettelyllä. Jos vastalauseita ei ole esitetty tai komissio ja toimivaltaiset viranomaiset pääsevät ratkaisuun 45 pv:n kuluessa, ilmoituksen vastaanottaneen toimivaltaisen viranomaisen olisi annettava lupa 15 pv:n kuluessa.

³⁸⁷ Tämä on nykyinen, direktiivin soveltamisen kuluessa muotoutunut käytäntö.

³⁸⁸ Tämä vastaa nykyisin sovellettavaa käytäntöä. Näin muutos voimassa olevasta direktiivistä - joka velvoittaa vain asianomaiset toimivaltaiset viranomaiset pyrkimään ratkaisuun - ei ole käytännössä merkittävä.

Luvan uusiminen

Luvan uusimista varten ilmoittajan olisi lähetettävä uusimista koskeva ilmoitus suoraan komissiolle³⁸⁹, joka lähettäisi sen välittömästi kaikkien jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille. Elleivät nämä tai komissio esitä 30 pv:n kuluessa perusteltuja vastalauseita, alkuperäisen ilmoituksen vastaanottaneen toimivaltaisen viranomaisen olisi uusittava alkuperäinen lupa ja ilmoitettava päätöksestään muille jäsenvaltioille ja komissiolle. Vastalauseet käsiteltäisiin samoin kuin ensimmäistä levittämistä koskevien ilmoitusten yhteydessä.

Komiteamenettely

Komiteamenettelyä on ehdotuksessa muutettu siten, että:

1. Tilanteessa, jossa sääntelykomitea ei puolla komission päätösehdotusta, komission olisi tehtävä *viipymättä* toimenpide-ehdotus neuvostolle. Erona vallitsevaan käytäntöön on se, että komissio ei voisi määräämättömästi siirtää asian käsittelyä tuonnemmaksi.
2. Neuvosto voisi hylätä komission ehdotuksen yksinkertaisella enemmistöllä (44 ääntä 87:stä), kun taas voimassa olevan direktiivin mukaan neuvoston on oltava yksimielinen, jotta se voisi hylätä komission ehdotuksen. Tämä lisäisi jäsenvaltioiden mahdollisuutta vaikuttaa päätöksentekoon.

Komiteamenettelyä sovellettaisiin myös asiakirjojen määrittelyyn. Tällaisia olisivat muun muassa

1. luokkaan I kuuluvien, tutkimus- ja kehityskokeita koskevien ilmoitusten teknisen asiakirjan sisältämien tietojen vähimmäismäärä (6a artikla 4 kohta),
2. sen tiivistelmän muoto, jonka mukaisen ilmoituksen toimivaltaiset viranomaiset toimittaisivat komissiolle luokkaan II kuuluvista ilmoituksista (9 artikla 1 kohta),
3. markkinoille saattamista koskevan ilmoituksen teknisen asiakirjan tiivistelmän muoto (11 artikla 3 kohta), ja
4. ne edellytykset, joiden perusteella tiettyjä GMO-tuotteita koskevat ilmoitukset käsiteltäisiin yksinkertaistetun menettelyn mukaisesti (13 a artikla 2 kohta).

Tiedon saatavuus

Muutosehdotus lisäisi kansalaisten mahdollisuuksia seurata direktiiviin soveltamista, sillä komission olisi annettava kansalaisten tiedoksi 1) ehdotuksensa niistä edellytyksistä, joiden vallitessa GMO-tuotteiden markkinoille saattamista koskevia ilmoituksia

³⁸⁹ Lupien uusimista koskevien ilmoitusten käsittely poikkeaa ensimmäistä levittämistä koskevien ilmoitusten käsittelystä, jossa ilmoitus on lähetettävä toimivaltaisille viranomaisille.

voitaisiin käsitellä yksinkertaistetun menettelyn mukaisesti, sekä 2) ehdotukset niistä tuotteista, joita koskevat ilmoitukset on hyväksytty ko. yksinkertaistetun menettelyn mukaisesti käsiteltäviksi. Molemmissa tapauksissa kansalaiset voisivat esittää huomioita 60 pv:n ajan. Muutosehdotus ei kuitenkaan yksilöi, missä ja kuinka tiedottaminen olisi tehtävä, ja miten esitetyt huomiot olisi käsiteltävä.

Niin ikään komission olisi saatettava kansalaisten saataville teknisen asiakirjan tiivistelmä ilmoituksista, jotka koskevat vakiomenettelyn mukaan markkinoille saatettavia GMO:ita.³⁹⁰ Kansalaiset voisivat esittää 30 pv:n ajan huomioita³⁹¹, jotka komission olisi lähetettävä välittömästi jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille (17 artikla).

Komission olisi annettava kansalaisille tiedoksi 1) päätökset, jotka koskevat tutkimus- ja kehitystarkoituksessa tapahtuvaa levittämistä sekä 2) kertomukset, joiden kautta ilmoittajat raportoivat levityksen tuloksista. Komissio saisi antaa kansalaisten tiedoksi vain sellaisia tietoja, jotka eivät loukkaa ilmoittajien immateriaalioikeuksia. Nämä säilyisivät muutosehdotuksessa ennallaan.

Arvioita muutosehdotuksesta

Direktiivin muutosehdotuksesta on jo esitetty muutamia arvioita. Yksi näistä on Euroopan parlamentin teknologian arviointiyksikön, *Scientific and Technological Options Assessmentin* (STOA)³⁹² tammikuussa 1998 julkaisema raportti.³⁹³ Raportin mukaan GMO:iden markkinoille saattamista koskevissa kysymyksissä yhteisymmärryksen löytäminen on osoittautunut vaikeaksi. Syynä on ollut mm. se, että jäsenvaltiot ovat 1) tulkinneet direktiivin soveltamisalaa eri tavoin, 2) soveltaneet riskien arviointiin erilaisia lähestymistapoja sekä 3) arvioineet tuotteiden hyväksyttävyyteen liittyvät tekijät eri tavoin.

Kaikkien jäsenvaltioiden ja keskeisten etujärjestöjen kanta on, että varovaisuusperiaatteen mukaista lähestymistapaa pitäisi jatkaa ja eräiden järjestöjen mukaan peräti vahvistaa. Varovaisuusperiaatteen soveltaminen EU:n laajuisesti edellyttää kuitenkin jatkuvaa keskustelua niistä periaatteista, joiden nojalla GMO:iden hyväksyttävyyttä ja riskejä arvioidaan. Käytännössä tällainen keskustelu on vaikeaa, koska jäsenvaltioilla on erilaisia näkemyksiä siitä, mitkä näkökohdat ovat hyväksyttävyyden kannalta merkityksellisiä, miten ekologiset vaikutukset saattaisivat ilmetä toisissa jäsenvaltioissa ja miten paljon

³⁹⁰ Tiivistelmän muoto tulisi komiteamenettelyn mukaan päätettäväksi.

³⁹¹ Muutosehdotus ei yksilöi, millä tavalla huomiot esitettäisiin tai miten ne käsiteltäisiin.

³⁹² Ks. <<http://www.europarl.eu.int/dg4/stoa/en/default.htm>>. STOA toimii tilaamalla ulkopuolisilta asiantuntijoilta selvityksiä, joissa esitetyt näkemykset eivät välttämättä edusta Euroopan parlamentin kantaa.

³⁹³ Ks. STOA (1998). Arviointiraportti on haettavissa STOA:n kotisivulta.

kokemusta ja tietoa on tähän mennessä itse asiassa kertynyt. Yhteisymmärryksen löytäminen Euroopan tasolla on vaikeaa.

STOA:n raportissa on esitetty myös eräiden etujärjestöjen kannanottoja. Esimerkiksi Euroopan bioteollisuutta edustava *European Association for Bioindustries* (EuropaBio)³⁹⁴, kansainvälinen ympäristöjärjestö *Friends of the Earth*³⁹⁵ ja kuluttajajärjestö *European Consumer Organisation* (BEUC)³⁹⁶ ovat kommentoineet komission esitystä seuraavasti:

- *EuropaBio* mukaan direktiivin soveltamiseen liittyviä hallinnollisia päätöksentekoprosesseja on nopeutettava ja riskien arviointikriteerejä on harmonisoitava.
- *Friends of the Earth* esittää, että direktiivin 90/220/ETY määrittelemää sääntely- ja valvontakäytäntöä on lieventämisen sijasta pikemmin tiukennettava, ja että direktiivin muutoksessa on huomioitava GMO:iden pitkän aikajänteen vaikutusten seuranta sekä tuottajien ja käyttäjien vastuukysymykset.
- *BEUC* ehdottaa direktiivin soveltamisalan laajentamista siten, että myös torjunta-ainesten käytön vaikutukset otetaan huomioon. Lisäksi BEUC esittää sellaisten käytäntöjen kehittämistä, jotka tukevat ekologisten riskien arviointia ja GMO:iden arviointia kestävän kehityksen kannalta.

Keskeinen muutos direktiivissä on riskien arvioinnin periaatteiden yhtenäistämisen siten, että vaarat on yksilöitävä muutosehdotuksessa esitetyn jaottelun pohjalta ja niiden todennäköisyydet on arvioitava. Vaikka muutoksen tavoitteena on parantaa päätöksenteon perustaa, ei komission ehdotus STOA:n raportin mukaan tue kaikin osin tavoitteen saavuttamista. Syynä on se, että suoranaisten terveys- ja ympäristövaarojen arvioinnin ohella GMO:iden hyväksyttävyyteen kytkeytyy laadullisia seikkoja (kuten viljeltävien lajikkeiden yksipuolistuminen). Näitä seikkoja voitaisiin ottaa huomioon painottamalla riskien arvioinnissa pikemminkin epävarmuuksien hyväksyttävyyttä koskevaa keskustelua kuin numeerisin suurein ilmaistavan riskin kuvaamista. Jälkimmäinen on raportin mukaan lähes mahdotonta.

Taulukko 7.2 Riski- ja epävarmuuskeskeisen arvioinnin piirteitä³⁹⁷

<i>Riskien arviointi</i>	<i>Epävarmuuksien arviointi</i>
Vaarojen määrittely	Mahdollisten vaarojen tunnistaminen
Yksittäisten riskien arviointi	Vaarojen toteutumisen uskottavuuden ³⁹⁸ arviointi
Kokonaisriskin määrittäminen ja sen hyväksyt-	Keskustelu epävarmuuksien ja pitkäaikaisvai-

³⁹⁴ Ks. <<http://www.europa-bio.be/corporate/>>.

³⁹⁵ Ks. <<http://www.xs4all.nl/~foeint/>>.

³⁹⁶ Ranskaksi *Bureau Européen des Unions de Consommateurs*. Järjestöllä ei ole omaa internet-sivua.

³⁹⁷ Schomberg (1998).

³⁹⁸ Engl. "plausibility".

tävyuden arviointi	kutusten hyväksyttävyyttä koskevista standardeista
Yhteisymmärrys voidaan saavuttaa tieteellisen tiedon pohjalta	Tieteellinen tieto tukee epävarmuuksien käsittelyä

Ympäristöriskien arvioinnin tekee ongelmalliseksi se, että nykyisen tiedon valossa GMO:iden levittämisen pitkäaikaisvaikutuksia on lähes mahdotonta ennustaa tarkasti. Mikrobiologit ovat korostaneet, että riskien arvioinnissa voidaan tukeutua GMO:iden ominaisuuksien tarkasteluun ja perinteisestä kasvinjalostuksesta saatuun kokemukseen, jos siirretyn geenin ominaisuudet tunnetaan tarkasti. Ympäristötieteilijät puolestaan ovat esittäneet, että GMO:n ominaisuuksien perusteella ei voida tehdä luotettavia päätelmiä ympäristövaikutuksista ja että tietoa ympäristövaikutuksista olisi tämän takia haettava tarkastelemalla ”mikrokosmoksia” (pieniä keinotekoisia eliöyhteisöjä). Tällöin ei tosin ole mahdollisuutta kvantitatiivisten riskiarviointien tekemiseen. Ylipäätään kysymys laajojen kenttäkokeiden sallimisesta on jossain mielessä pulmallinen: laajojen kenttäkokeiden salliminen saattaa aiheuttaa ympäristövaikutuksia, mutta toisaalta kokeiden liiallinen rajoittaminen estää GMO:ita koskevan tiedon karttumisen.³⁹⁹

Merkityksellistä riskien arvioinnissa on myös se, miten yksiselitteisesti ja ennakoitavasti GMO-tuotteet voidaan arvioida muutosehdotuksessa esitetyn jaottelun mukaisesti. Jäsenvaltioiden toimivaltaiset viranomaiset ovat jo nyt pyrkineet ennakoimaan niitä mahdollisia vastalauseita, joita muiden maiden toimivaltaisilla viranomaisilla saattaisi olla esimerkiksi ympäristöolosuhteiden eroavuuksien takia. Jos arviointiperusteita laajennettaisiin siten, että myös muita kriteerejä - kuten vaikkapa sosio-ekonomisia vaikutuksia maataloudessa - tarkasteltaisiin terveys- ja ympäristövaarojen ohella, kasvaisivat ilmoitusten käsittelyyn liittyvät epävarmuudet edelleen, koska 1) laadulliset kriteerit ja niiden arviointi vaihtelevat jäsenvaltiosta toiseen, ja 2) kriteerien tarkastelu on lukuisten epävarmuuksien ja näkemyserojen johdosta äärimmäisen vaikeaa. Tästä syystä sosio-ekonomisten vaikutusten tarkastelun edellyttäminen ei ainoastaan lisäisi ilmoitusten valmistelun työmäärää, vaan asettaisi toiminnanharjoittajat myös kokonaan uuden tyyppisten epävarmuuksien eteen.⁴⁰⁰

STOA:n raportin mukaan merkittävää on sekin, missä määrin jäsenvaltiot voidaan velvoittaa noudattamaan ylikansallisia päätöksiä tilanteissa, joissa varovaisuusperiaatteen soveltaminen on johtanut eri jäsenvaltioissa erilaisiin johtopäätöksiin. Direktiivin 90/220/ETY muutosehdotusta arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, miten hyvin jäsenvaltioiden vaikutusmahdollisuuksien parantaminen (so. komiteamenettely IIIa:n

³⁹⁹ Ks. Schomberg (1998).

⁴⁰⁰ Shohet (1996).

vaihtaminen komiteamenettely IIIb:hen) täyttää demokraattiselle päätöksentekomenettelylle asetettavat vaatimukset.

REHULAKI

Rehuvalmisteet eivät sisällä lisääntymiskykyistä perintöainesta, joten ne eivät kuulu direktiivin 90/220/ETY piiriin. Mikäli GMO-rehut halutaan saattaa EU:ssa esimerkiksi merkintävelvoitteiden piiriin, niitä koskevista säännöksistä on säädettävä erikseen yhteisötasolla.

Rehuvalmisteilla on oma, pitkälle harmonisoitu lainsäädäntö, joka säätää muun muassa yhteisötasolla sovellettavista hyväksyntämenettelyistä. GMO:ita sisältävät tai niistä peräisin olevat rehun *lisäaineet* on säännöstelty EU:ssa rehulisäaineista annetun direktiivin 70/524/ETY viidennellä muutoksella, joka on huomioitu rehulakiuudistuksessa (ks. alla) sekä maa- ja metsätalousministeriön rehun lisäaineita koskevassa päätöksessä MMMp 125/98, joka astui voimaan heinäkuussa 1998.

Hallitus antoi helmikuussa 1998 rehulakiesityksen⁴⁰¹, jonka tehtävänä oli mm. saattaa voimaan direktiivit, joita neuvosto on antanut vuosina 1995 ja 1996 rehuvalmisteiden turvallisuuden parantamiseksi ja valvonnan ohjaamiseksi.⁴⁰² Rehulakiesitys hyväksyttiin eduskunnassa sellaisenaan, ja uusi rehulaki 396/98 astui voimaan 15.6.1998.

Uuden rehulain mukaan maa- ja metsätalousministeriö päättää GMO:ista valmistettujen rehuaineiden liikkeelle laskemisen ehdoista (7 §:n 2 mom.) ja merkitsemisestä (20 § 2 mom.). Merkintöjen osalta laki noudattelee komission linjaamaa käytäntöä⁴⁰³, jonka mukaan vaihtoehtoja ovat 1) rehuaine sisältää, 2) rehuaine saattaa sisältää tai 3) rehuaine ei sisällä geeniteknikalla muunnettua rehuainetta. Suomessa rehujen merkitsemistä on vaatinut MTK, kun taas kotimainen rehuteollisuus on suhtautunut merkintöihin varauksellisesti ja vastustanut yleisestä eurooppalaisesta linjasta poikkeavia käytäntöjä.

Yhtenä perusteluna GMO-merkinnöille uudessa rehulaissa on se, että komissio suunnittelee erityisrehuaineita koskevien säännösten antamista, jotka kattaisivat GMO:ista valmistetut rehuaineet ja edellyttäisivät hakemusmenettelyjä ja tuotemerkintöjä. Maininta GMO-rehujen sääntelystä sisältyykin jo direktiivin 90/220/ETY uudelleen tarkastelua koskevaan kertomukseen vuodelta 1996. Käynnistymässä on siis ns. stand-still-vaihe, jonka aikana jäsenvaltiot eivät anna alaa koskevaa uutta lainsäädäntöä. Tässä tilanteessa

⁴⁰¹ Esitys on luettavissa sivulla <<http://www.edita.fi/esitys/etusivut/webhe.1998.0005.html>>.

⁴⁰² Kyseessä ovat direktiivit 95/53/EY, 96/51/EY, 95/69/EY ja 96/25/EY.

⁴⁰³ Komission lehdistötiedote IP/97/700.

maa- ja metsätalousministeriö ei ole antamassa pakottavia alemman tason ohjeita, joita uuden rehulain mahdollistaman merkintävelvoitteen täytäntöönpano edellyttäisi.

PATENTOINTI

Patentoinnin tavoitteena on palkita keksijää luovasta työstä ja näin edistää teknistä innovaatiota. Tätä varten keksinnölle myönnetään patentti, joka antaa keksijälle yksinoikeuden keksintöön tietyksi ajaksi, mutta joka samalla johtaa keksinnön julkistamiseen ja estää näin teknisten ja tieteellisten löytöjen salassapidon. Patentoitavien keksintöjen tunnuspiirteitä ovat 1) uutuus, 2) keksinnöllisyys (so. keksinnön on erottava olennaisesti siitä, mitä on patentin hakemispäivään mennessä tunnettu), 3) teolliseen käyttöön soveltuminen⁴⁰⁴ ja 4) tekninen luonne (so. pelit, ideat, tieteelliset teoriat ja liiketoiminnalliset menetelmät eivät ole patentoitavissa).

Maailman kauppajärjestön puitteissa solmitun TRIPS-sopimuksen osapuolina Euroopan yhteisö ja sen jäsenvaltiot ovat sitoutuneet patenttisuojan antamiseen. TRIPS-sopimuksen yleisenä periaatteena on, että patenttioikeuden myöntäminen ei saa riippua siitä, missä keksintö on tehty tai mikä tekniikan ala on kyseessä (27 artikla 1 kohta). Käytännössä lähinnä kehitysmaita koskevana poikkeuksena tästä ovat kasvit ja eläimet, jotka voidaan sulkea patenttisuojan ulkopuolelle sillä edellytyksellä, että kasvilajikkeiden suojasta säädetään joko patenttien avulla ja/tai tätä varten luodulla erityisellä järjestelmällä (27 artikla 3 kohta⁴⁰⁵).

Perinteisen kasvinjalostuksen avulla kehitettyjen kasvilajikkeiden - joita voidaan pitää "alhaisemman asteen keksinnöllisyyden tuloksina" - oikeudellinen suoja perustuu kansainväliseen UPOV⁴⁰⁶-sopimukseen, johon Suomi liittyi vuonna 1993. Yhteisötasolla kasvinjalostajanoikeuksista on annettu asetus 2100/94⁴⁰⁷, joka säätelee teollisoikeuksien myöntämisestä kasvilajikkeille koko yhteisön alueella. Näiden oikeuksien myöntämisestä vastaa yhteisön kasvilajikevirasto⁴⁰⁸.

Patenttisuoja perustuu Euroopassa tällä hetkellä sekä 1) kunkin maan kansalliseen patenttilainsäädäntöön (Suomessa patenttilaki 550/67) että 2) vuonna 1973 tehtyyn

⁴⁰⁴ Teollista käyttöä tulkitaan laajasti siten, että esimerkiksi maatalous kuuluu sen piiriin.

⁴⁰⁵ Kohdan määräykset otetaan uudelleen tarkasteltaviksi neljän vuoden kuluttua WTO-sopimuksen voimaantulosta, so. vuonna 1999.

⁴⁰⁶ Engl. *The International Union for the Protection of New Varieties of Plants*, ks. <<http://www.upov.int/eng/brief.htm>>.

⁴⁰⁷ Neuvoston asetus (EY) N:o 2100/94, annettu 27.7.1994, yhteisön kasvinjalostajanoikeudesta (EYVL 227, 1.9.1994, s. 1).

⁴⁰⁸ Ks. <<http://www.cpvo.fr/sf/default.html>>.

Euroopan patenttisopimukseen (EPC⁴⁰⁹), joka velvoittaa antamaan patenttisuojan kaikenlaisille teknisille - ja näin siis myös bioteknologisille - keksinnöille. Vallitseva lainsäädäntö ei kiinnitä erityistä huomiota bioteknologisten keksintöjen erityistekijöihin, koska 1970-luvun alkuvuosina moderni biotekniikka oli vielä varsin kehittymätön. Eurooppalainen bioteollisuus onkin pitänyt lainsäädännön vanhentuneisuutta sekä soveltamiskäytäntöjen epäjohdonmukaisuutta kilpailukyvyn esteenä, koska USA:ssa patenttisuojan saaminen on ongelmattomampaa. Ratkaisevaa USA:ssa muotoutuneen patentointikäytännön kehittymiselle oli *Patent and Trademark Officen* vuonna 1987 tekemä päätös, jonka mukaan geenitekniikalla muunnetut organismit - myös monisoluiset organismit ja eläimet - ovat periaatteessa patentoitavissa.⁴¹⁰

Komissio antoi tammikuussa 1989 ensimmäisen bioteknologisten keksintöjen patentointia koskevan direktiiviehdotuksen⁴¹¹, jonka tavoitteena oli yhdenmukaistaa bioteknologisten keksintöjen oikeudellista suojaa sekä edistää eurooppalaisen biotekniikkateollisuuden kilpailukykyä. Ehdotus sai kuitenkin osakseen voimakasta kritiikkiä Euroopan parlamentissa, joka hylkäsi parlamentin ja neuvoston sovittelukomitean esityksen maalikuussa 1995. Yksi keskeisistä kiistanaiheista ja hylkäämiseen johtaneista syistä oli keksinnön ja löydön välisen eron määrittely: ehdotusta kritisoineiden tahojen mukaan geenin paikantamista ja siihen liittyvän ominaisuuden tunnistamista voidaan pitää pikemminkin löytönä (so. sellaisena luonnossa olevana esiintymänä, jota ei ole aikaisemmin tunnettu) kuin keksintönä.

Tammikuussa 1996 komissio antoi uuden ehdotuksen biotekniikan oikeudellista suojaa koskevaksi direktiiviksi.⁴¹² Euroopan parlamentti käsitteli ehdotusta kesällä 1997 ja teki siihen 66 muutosehdotusta⁴¹³, jotka komissio hyväksyi lopulliseen direktiiviehdotukseensa⁴¹⁴ yhtä lukuunottamatta.⁴¹⁵ Suomen EU-ministerivaliokunta otti ehdotukseen myönteisen kannan 10.10.1997, ja neuvosto yhteinen kanta hyväksyttiin 26.2.1998. Euroopan parlamentti hyväksyi neuvoston kannan yhteispäätösmenettelyn mukaisessa toisessa käsittelyssä toukokuussa 1997. Jäsenvaltioiden on transponoitava ehdotus osaksi kansallista sääntelyä vuoden 2000 alkuun mennessä.

⁴⁰⁹ Engl. *European Patent Convention* (EPC). Sopimus määrää niistä edellytyksistä, joilla Euroopan patenttivirasto myöntää patentin. Patentti on voimassa kansallisena patenttina kaikissa niissä maissa, jotka ovat EPC:n sopimuspuolia (ks. <<http://www.european-patent-office.org/index.htm>>).

⁴¹⁰ Ks. Rifkin (1998), s. 44.

⁴¹¹ KOM(88)0496.

⁴¹² KOM(95)661.

⁴¹³ Mietintö on luettavissa sivulla <<http://www.europarl.eu.int/dg1/a4/fi/a4-97/a4-0222.htm>>.

⁴¹⁴ KOM(97)446 lopullinen.

⁴¹⁵ Biologisen materiaalin alkuperän ilmoittamista ei hyväksytty EY:n yksityishenkilöiden suojelua koskevan direktiivin vuoksi.

Ehdotuksen mukaan sellaiset eläimet, kasvit sekä kasvien ja eläinten osat ovat patentoitavissa, jotka on saatu muulla kuin olennaisesti biologisella menetelmällä. Esimerkiksi perinteisen kasvinjalostuksen keinoin jalostettuja kasveja ei siis voi patentoida, kun taas yksittäiset geenit sekä geenitekniikan avulla kehitetyt kasvit kuuluvat patenttisuojan piiriin. Myös kasvilajikkeiden käyttö ja valmistusmenetelmät ovat patentoitavissa, mikäli kyseessä on muu kuin olennaisesti biologinen menetelmä (7 artikla). Yleisenä linjauksena ehdotuksessa on todettu, ettei keksintöä ei voida sulkea patenttisuojan ulkopuolella vain siksi, että se liittyy biologiseen materiaaliin (4 artikla). Kasvilajikkeille ei patenttisuojaa kuitenkaan voida myöntää (4 artikla). Myöskään löydöt eivät ole patentoitavissa (8 artikla).

Direktiiviehdotuksen 10-13 artiklojen mukaan patenttisuoja kattaa kaiken sen materiaalin, joka on saatu patentilla suojatusta biologisesta materiaalista lisäämällä tai monistamalla, jos näin saatu materiaali edelleen sisältää keksinnön mukaiset erityiset ominaisuudet. Poikkeuksena tähän yleisperiaatteeseen ehdotus takaa kuitenkin ns. maanviljelijän oikeuden, jonka mukaan viljelijä saa omalla tilallaan käyttää patentin suojaamista siemenistä saamaansa satoa uudelleen viljelyyn tai lisäämiseen (13 artikla).

Ongelmallisena direktiiviehdotuksessa on pidetty kasvien ja kasvilajikkeiden määrittelyn puuttumista, koska direktiivin mukaan kasvit olisivat patentoitavissa, kun taas kasvilajikkeet eivät⁴¹⁶. Näiltä osin ehdotus viittaa asetukseen 2100/94, jossa kasvilajike on määriteltä.

MERKINTÄKÄYTÄNNÖT

Merkintävelvoitteiden täytäntöönpanon kannalta olennaisia edellytyksiä ovat GMO:iden 1) *tunnistaminen*, joka edellyttää riittävän tarkkoja ja standardoituja analyysimenetelmiä, 2) *erottelu*, joka edellyttää muun muassa kuljetusinfrastruktuurin eriyttämistä sekä GMO-aineksen erilläänpitämistä GMO:ita sisältämättömmästä aineksesta, sekä 3) *merkitseminen*, jonka kautta kuluttaja saa tiedon siitä, sisältääkö tuote GMO:ita vai ei.

Sääntelyn kehittyminen

Nykyisin uusia GMO-elintarviketuotteita koskevat hakemukset käsitellään uuselintarvikeseituksen puitteissa, joka velvoittaa valmistajan merkitsemään tuotteeseen tiedon siitä, sisältääkö tuote GMO:ita.⁴¹⁷ Ennen uuselintarvikeseituksen voimaantuloa EU:n markkinoille oli direktiivin 90/220/ETY nojalla kuitenkin hyväksytty siirtogeeninen soija ja

⁴¹⁶ Ks. esim. MmVL 8/1996 vp - U21/1996 vp.

⁴¹⁷ Muun muassa lisäaineet on kuitenkin rajattu asetuksen soveltamisalan ulkopuolelle.

maissi⁴¹⁸, joita uuselintarvikeasetus ei velvoittanut merkitsemään takautuvasti. Myöskään direktiivi 90/220/ETY - siinä muodossa kun sitä vuoden 1997 alkupuolella sovellettiin - ei sisältänyt merkintävelvoitetta.

Siirtogeenisen soijan ja maissin hyväksyminen EU:n markkinoille ilman merkintävelvoitetta aiheutti talvella 1997 laajaa huolestuneisuutta kuluttajien keskuudessa. Tämän seurauksena komissaari Bjerregaard pyysi yrityksiä lisäämään direktiivin 90/220/ETY puiteissa jo käsiteltäväksi jätettyihin ilmoituksiin ehdotukset merkintäkäytännöiksi. Tähän yritykset suostuivat. Huhtikuussa 1997 komissio ehdotti direktiivin 90/220/ETY mukauttamista tekniseen kehitykseen, jotta uudet GMO-tuotteet tulisivat merkintävelvoitteen piiriin. Velvoite annettiin kesäkuussa 1997 direktiivillä 97/35/EY⁴¹⁹, joka oli implementoitava heinäkuun 1997 loppuun mennessä.

Heinäkuussa 1997 komissio linjasi GMO-elintarvikkeiden tuotemerkintöjen yhtenäistämiseen tähtääviä periaatteita⁴²⁰ seuraavasti:

1. Vapaaehtoinen merkintä (esim. "Tämä tuote ei sisällä ...") tuotteissa, joissa ei todistettavasti ole käytetty GMO:ita;
2. Pakollinen merkintä (esim. "Tämä tuote sisältää...") tuotteissa, joissa tiedetään käytetyn GMO:ita;
3. Pakollinen merkintä (esim. "Tämä tuote saattaa sisältää ...") tuotteissa, joissa GMO:ita sisältävien ainesosien käytöstä ei ole varmaa tietoa, mutta joissa niiden käytön mahdollisuutta ei voida sulkea pois.

Komission linjauksen mukaan "saattaa sisältää ..." -merkintää ei sallittaisi silloin, kun GMO:iden käytöstä on olemassa näyttöä, koska tällöin olisi velvoitettava "sisältää"-merkinnän käyttöön.

Uuselintarvikeasetus sen enempää kuin direktiivin 90/220/ETY tekninen mukauttaminen kesäkuussa 1997 eivät velvoittaneet EU:n markkinoille jo aiemmin hyväksytyjen siirtogeenisen soijan ja maissin merkitsemiseen. Näiden merkitsemiseksi komissio antoi syyskuussa 1997 elintarvikkeiden merkintöjä koskevan direktiivin 79/112/ETY⁴²¹ nojalla asetuksen EY 1813/97⁴²², joka astui voimaan marraskuussa 1997. Tämä uusi asetus ei kuitenkaan antanut yksityiskohtaisia ohjeita siitä, miten merkinnät olisi tehtävä. Niinpä

⁴¹⁸ Kyseessä Plant Genetics Systemsin soija (hyväksytty 3.4.98, päätös 96/28/EY) ja Novartiksen maissi (hyväksytty 23.1.97, päätös 97/27/EY); ks. komission lehdistötiedote IP/96/1177.

⁴¹⁹ Ks. EYVL N:o L 169/72, 27.6.97.

⁴²⁰ Komission lehdistötiedote IP/97/700.

⁴²¹ Neuvoston direktiivi 79/112/ETY, annettu 18.12.1978, kuluttajalle myytäväksi tarkoitettujen elintarvikkeiden merkintöjä, esillepanoa ja mainontaa koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä (EYVL N:o L 33, 8.2.1979).

⁴²² Komission asetus (EY) n:o 1813/97, annettu 19.9.1997, muiden kuin direktiivissä 79/112/ETY säädettyjen pakollisten mainintojen liittämisestä tiettyjen geneettisesti muunnetuista organismeista valmistettujen elintarvikkeiden pakkausmerkintöihin (EYVL N:o L 257/7, 29.9.1997).

esimerkiksi Euroopan vähittäis- ja tukkukauppaa edustava *EuroCommerce* esitti lokakuussa 1997 kannanoton⁴²³, jonka mukaan ”ohjeiden puuttuminen johtaa eri jäsenvaltioissa kansallisen lainsäädännön kehittämiseen, ja luo näin kaupan esteitä ja lisää sekaannusta kuluttajien keskuudessa”.

Neuvosto antoi toukokuussa 1998 asetuksen⁴²⁴ EY 1139/98, joka kumoaa komission asetuksen EY 1813/97 ja antaa tarkemmat ohjeet siirtogeenisen soijan ja maissin merkitsemiseksi⁴²⁵. Ohjeiden mukaan siirtogeenisestä soijasta (maissista) valmistettuihin elintarvikkeisiin on selkeästi liitettävä maininta ”valmistettu geenitekniikalla muunnetusta soijasta” (”valmistettu geenitekniikalla muunnetusta maissista”). Olennainen ero komission aiempaan linjaukseen on se, että merkintää ”saattaa sisältää GMO:ita” ei sallita, kun taas ”ei sisällä GMO:ita” sallitaan vapaaehtoisena merkintänä. Komissio katsoo tämän uuden säännöksen luovan pohjaa tuleville uuselintarvikeasetuksen mukaisille merkinnöille.

Merkintäkäytäntöjen toimeenpanon kannalta olennaista on se, milloin elintarvikkeen tarkalleen ottaen katsotaan sisältävän GMO:ita tai niistä saatuja tuotteita. Asetuksen EY 1139/98 mukaan GMO-merkintä on oltava sellaisissa siirtogeenisestä soijasta ja maissista valmistetuissa elintarvikkeissa, jotka sisältävät joko geenitekniikalla muunnettua DNA:ta (so. siirrettyjä geenejä) tai siirretyn geenin tuottamia valkuaisaineita.⁴²⁶ Tämä käytäntö johtaa GMO-merkintöjen laajaan soveltamiseen, joskaan eräitä pitkälle jalostettuja elintarvikkeita - kuten raffinoituja öljyjä - ei tarvitsisi merkitä, koska ne eivät sisällä sen enempää geenitekniikalla muunnettua DNA:ta kuin valkuaisaineitakaan. Näitä tuotteita varten muodostetaan ns. negatiivilista. Lista on tällä hetkellä vielä tyhjä, mutta siihen odotetaan jäsenmailta ehdotuksia 31.8.1998 mennessä.

Merkintävelvoitetta ei sovelleta elintarvikkeisiin, jotka sisältävät GMO:ita erittäin alhaisia määriä kontaminaation johdosta, esimerkiksi kuljetuskalustossa olevien jäämien vuoksi. Kontaminaatiota koskevat kynnsarvot (engl. threshold limit), tullaan asettamaan riittävän alas, jotta merkintävelvoitetta ei voida tarkoituksellisesti kiertää. Myöskään sellaisia elintarvikkeita ei merkitä, jotka sisältävät siirtogeenisistä kasveista valmistettuja lisäaineita (esimerkiksi suklaassa käytettävä soijalesitiini⁴²⁷), koska lisäaineet eivät kuulu

⁴²³ Ks. <<http://www.eurocommerce.be/PositionPapers97/Foct.htm>>.

⁴²⁴ Neuvoston asetus (EY) n:o 1139/98, annettu 26.5.1998, muiden kuin direktiivissä 79/112/ETY säädettyjen pakollisten mainintojen liittämisestä tiettyjen geneettisesti muunnetuista organismeista valmistettujen elintarvikkeiden pakkausmerkintöihin (EYVL N:o L 159/4, 3.6.1998). Asetus astuu voimaan 1.9.1998, mutta sen merkintävelvoitteet tulevat voimaan 6 kk:n kuluttua tästä.

⁴²⁵ Kyse on päätöksillä 96/281/EY ja 97/97/EY hyväksytyistä maissista ja soijasta.

⁴²⁶ Komission lehdistötiedote IP/97/1081.

⁴²⁷ Lesitiini on soijassa ja munankeltuaisissa runsaana esiintyvä fosfolipidi, jota käytetään emulgointi- ja hapenestoaineena (E322).

uuselintarvikeasetuksen tai siirtogeenisestä soijasta ja maissista annetun merkintäasetuksen EY 1139/98 piiriin.

Valvonta ja kehitysnäkymät

Merkintävelvoitteiden valvontaa tukee se, että tällä hetkellä saatavilla on verraten tarkkoja ja kohtuuhintaisia menetelmiä, joiden avulla voidaan testata, sisältääkö elintarvike joko siirrettyjä geenejä (so. DNA:ta) tai sen tuottamaa valkuaisainetta. Useimmiten DNA:ta testataan polymeerasiketjureaktiolla (PCR), joskin PCR:n käyttö tulee sitä vaikeammaksi, mitä pidemmälle prosessoidusta elintarviketuotteesta on kysymys. Valkuaisaineita puolestaan voidaan testata erilaisin immunomenetelmin, mm. ELISA⁴²⁸-menetelmällä, jota on käytetty mm. geenitekniikalla muunnettujen tomaattien ja maissin tunnistamiseen. Pääsääntöisesti PCR-menetelmä soveltuu rutiinikäytössä paremmin merkintävelvoitteiden oikeellisuuden tarkistamiseen. Testien kustannukset jäävät elinkeinonharjoittajien maksettaviksi, eivätkä ne muodostune niiden soveltamisen esteeksi.⁴²⁹

Menetelmien soveltaminen edellyttää sekä sovellettavien testien että niitä tekevien laboratorioden sertifiointia. EU:n laboratoriossa (ISPRAH) on kehitetty siirtogeenisen soijan ja maissin tunnistamiseksi menetelmä, jota Tullilaboratorio on testannut Suomessa. Myös muita menetelmiä on Euroopassa kehitteillä, mutta niistä ei yhtään ole vielä virallisesti sertifioitu. Sertifiointeja tehtäneen vuoden kuluessa, ja ne tulevat kattamaan näytteenoton, käsittelyn sekä itse analyysit.

Merkintävelvoitteiden täytäntöönpano nostaa esille kysymyksen siitä, missä laajuudessa ja millä tavoin GMO:ita sisältävät ja sisältämättömät ainekset erotellaan, ja kenen maksettavaksi erottelusta aiheutuvat kustannukset kohdennetaan. Nämä kysymykset tulevat esille erityisesti soijan kohdalla, jota elintarvikkeista noin 60 % sisältää muodossa tai toisessa. Valtaosa EU:n soijasta on peräisin USA:sta, missä siirtogeenisen soijan viljely kasvaa erittäin nopeasti: vuonna 1999 arviolta noin puolet USA:n soijasta tuotetaan siirtogeenisillä lajikkeilla. Koska USA ei kannata siirtogeenisen soijan erottelua, GMO:ita sisältämätön soija on muodostumassa USA:n markkinoilla erikoislaaduksi, jonka hinta on tiloilla on noin 5-20 % "bulkkisoijaa" korkeampi. On arvioitu, että jos siirtogeenisten kasvien viljely yleistyy Euroopassa samalla tavalla kuin USA:ssa, niin GMO:iden johdonmukainen erottelu lisäisi tuotantokustannuksia elintarvikeketjussa noin 5-10 %, mikä on kuluttajien maksettavaksi kohdistettuna varsin paljon.⁴³⁰ Toisaalta monet yritykset, kuten esimerkiksi *Protein Technologies Industries* (PTI), kehittävät erottelussa tarvitta-

⁴²⁸ Engl. "enzyme-linked immunosorbent assay".

⁴²⁹ ESTO (1998).

⁴³⁰ ESTO (1998).

vaa teknologiaa ja infrastruktuuria, mistä johtuen erottelun kustannusten uskotaan alenevan verraten vähäisiksi.

Todennäköinen skenaario merkintäkäytäntöjen muotoutumisessa on 1) "valmistettu GMO:ista"-merkintä tuotteissa, jotka sisältävät GMO:ita ja 2) "ei sisällä GMO:ita"-tuotteiden kehittyminen omaksi tuotesegmentikseen, jossa tuotteet saattavat olla hieman kalliimpia kuin "valmistettu GMO:ista"-ryhmän tuotteet. Mahdollisten merkintävelvoiteerikkomusten seurauksena tuote olisi vedettävä pois markkinoilta.

KANSALLISEN SÄÄNTELYN RAJAT: ESIMERKKINÄ ITÄVALTA

Geenitekniikkalainsäädäntö on EU:ssa harmonisoitu, joten se asettaa reunaehdoja jäsenvaltioiden mahdollisuuksille rajoittaa GMO:iden käyttöä kansallisen sääntelyn avulla. Nämä rajoitukset ovat olleet koeteltavina, koska Itävalta ja Luxemburg kielsivät helmikuussa 1997 EU:n markkinoille hyväksytyn Novartiksen *Bt*-maissin käytön alueellaan direktiivin 90/220/ETY 16 artiklan suojalausekkeeseen vedoten.

Seuraavassa tarkastellaan Itävallan tapausta lähemmin. Tarkastelu on perusteltua, koska 1) se valottaa kansallisen ja ylikansallisen sääntelyn välisiä suhteita, 2) Itävallan esittämän kiellon käsittely on kesken, 3) asiassa voidaan nähdä myös yleisempiä, ympäristö- ja sisämarkkinapolitiikan keskinäisiin painotuksiin liittyviä näkökohtia⁴³¹ ja 4) Suomi on EU:hun liittyessään saanut oikeudet soveltaa eräitä yhteisön säädöksiä tiukempia ympäristönsuojelusäännöksiä, joiden uudelleenarviointi vuonna 1998 saattaa asettaa Suomen samantyyppiseen asemaan kuin missä Itävalta on ollut *Bt*-maissikysymyksessä.⁴³²

Itävallan tapauksen esilletuomista ei tässä pidä nähdä kannanottona GMO:iden terveys- ja ympäristövaikutuksiin (joita on käsitelty luvuissa 3 ja 4). Pikemminkin tapaus on sisällytetty siksi, että se valottaa sääntelykäytäntöön liittyvää problematiikkaa sekä niitä reaktioita, joita GMO:t ovat varsinkin saksankielisissä maissa herättäneet.

Siirtogeenisen maissin kieltäminen

Novartiksen siirtogeeninen *Bt*-maissi hyväksyttiin EU:n markkinoille 5.2.1997⁴³³, minkä jälkeen Itävalta kielsi sen käytön alueellaan 14.2.1997 ja Luxemburg 17.2.1997. Molemmat maat perustivat kieltonsa direktiivin 90/220/ETY artiklan 16 suojalausekkeeseen,

⁴³¹ Ks. ympäristövaliokunnan lausunto YmVL 7/1998 vp.

⁴³² Mm. lannoitteiden alhaisempi kadmiumpitoisuus, ks. maa- ja metsätalousvaliokunnan lausunto MmVL 9/1998 vp - E 78/1997vp.

⁴³³ Komission päätös 23.1.1997, Ranskan toimivaltaisen viranomaisen päätös 5.2.1997.

jonka mukaan jäsenvaltioilla on perustelluista terveys- tai ympäristösyistä oikeus väliaikaisesti rajoittaa GMO-tuotteen käyttöä tai kieltää se.

Huhtikuussa 1997 Itävallassa jätettiin 1,23 miljoonan kansalaisen allekirjoittama kansalaisaloite, jonka kolme keskeistä vaatimusta olivat 1) GMO-elintarvikkeiden valmistuksen ja markkinoille saattamisen kieltäminen, 2) GMO:iden levittämisen kieltäminen ja 3) elävien olentojen patentoinnin kieltäminen. Kansalaisaloitteen taustalla oli osaltaan ympäristöjärjestöjen kampanjointi, joka vahvisti monien itävaltalaisten käsitystä siitä, että GMO:iden käyttö ei ole sopusoinnussa Itävallassa vahvan aseman saavuttaneen luonnonmukaisten viljelyn kanssa.⁴³⁴ Aloitteen käsittelemiseksi Itävallan parlamenttiin on perustettu erityisyöryhmä, joka osallistunee Itävallan geeniteknikkalain muutosehdotuksen työstämiseen.

Komissio pyysi Itävallan antamista perusteluista lausunnot kolmelta tiedekomitealta.⁴³⁵ Näiden lausuntojen mukaan Itävallan esittämät perustelut eivät sisältäneet sellaista uutta ja olennaista tieteellistä todistusaineistoa, jota ei olisi otettu huomioon asiaa alunperin arvioitaessa ja joka olisi edellyttänyt komiteoiden *Bt*-maissista aikaisemmin antamien lausuntojen muuttamista.

Lausuntojen perusteella komissio päätti ehdottaa syyskuussa 1997 sääntelykomitealle Itävallan ja Luxemburgin *Bt*-maissin käyttöä koskevien kieltojen kumoamista. Sääntelykomitea ei antanut ehdotuksesta lausuntoa⁴³⁶, joten komissio antoi ehdotuksensa neuvostolle. Neuvosto päätti informoida Euroopan parlamenttia ja pyysi tältä 14.7.1998 mennessä lausuntoa, jota parlamentti ei kuitenkaan antanut. Koska neuvosto ei yksimielisesti hylännyt komission ehdotusta, Itävallan ja Luxemburgin olisi siis komission kannan mukaisesti peruttava *Bt*-maissia koskevat kieltonsa, jos direktiivin hallintomenettelyä noudatetaan. Muodollisesti asian käsittely on kuitenkin kesken ja se saattaa tulla esille Euroopan tuomioistuimessa.

Jäsenvaltioiden toimivallan rajoitteet⁴³⁷

EU:n geeniteknikkadirektiivien ja uuselintarvikeasetuksen lisäksi myös EU:n muu lainsäädäntö sekä Maailman kauppajärjestön⁴³⁸ puitteissa allekirjoitetut sopimukset asettavat rajoituksia jäsenvaltioiden toimivallalle.

⁴³⁴ Ks. Levidow et al. (1996).

⁴³⁵ Kyseessä olivat 1) elintarvikealaa, 2) eläinten ravitsemusta ja 3) torjunta-aineita käsittelevät tiedekomiteat.

⁴³⁶ So. sääntelykomitea ei puoltanut komission ehdotusta määränemmistöllä, mutta ei myöskään hylännyt sitä yksimielisesti.

⁴³⁷ Luvun osuus perustuu ensisijaisesti selvitykseen Loibl ja Stelzer (1998).

⁴³⁸ Engl. *World Trade Organization*, ks. <<http://www.wto.org/>>.

Euroopan talousyhteisön perustamissopimus

EU:n talouspolitiikan keskeisenä tavoitteena on yhteismarkkinoiden luominen, mihin sisältyy tavaroiden, henkilöiden, palveluiden ja pääoman vapaa liikkuminen EU:n alueella. Euroopan talousyhteisön perustamissopimuksen mukaan jäsenvaltiot eivät saa asettaa uusia määrällisiä rajoituksia tavaroiden vapaalle liikkumiselle (31 artikla), muuttaa perustamissopimuksen voimaan tullessa olevia kiintiöitä rajoittavammiksi (32 artikla) tai asettaa jäsenvaltioiden väliselle tuonnille tai viennille määrällisiä rajoituksia (artiklat 30 ja 34). Myös kaikki tällaisia rajoitteita vastaavat muut toimenpiteet - joita yhteisön tuomioistuimien on tulkinnut varsin laajasti - on kielletty.

Artiklan 36 mukaan tuonnin ja viennin määrällisiä rajoituksia voidaan kuitenkin sallia, mikäli kyseessä olevat rajoitukset ovat perusteltuja esimerkiksi julkisen moraalin, yleisen turvallisuuden, tai ihmisten, eläinten tai kasvien terveyden ja elämän suojelemiseksi. Artiklan 100a nojalla annettujen säännösten - joihin direktiivi 90/220/ETY kuuluu - osalta komissio voi vahvistaa tällaiset rajoitukset, ellei se pidä niitä kohtuuttomina tai jäsenvaltioiden välisen kaupan peiteltynä rajoittamisena (100a artikla 4 kohta). Tuomioistuimen omaksuman oikeuskäytännön valossa jäsenvaltio saa panna rajoitukset voimaan vasta sitten, kun se on saanut siihen komissiolta luvan.

GMO:ihin kohdistuvien rajoitteiden osalta kysymys on näin ollen siitä, pitääkö komissio kyseisiä rajoitteita perustamissopimuksen 36 artiklan valossa perusteltuina. Artiklaan 36 vetoamista rajaa se, että uusien jäsenvaltioiden on sisällytettävä liittymissopimukseensa asiaa koskeva varauma, mikäli varaumaa halutaan myöhemmin soveltaa.

Ratifioitavana oleva Amsterdamin sopimus muuttaa perustamissopimuksen 100a artiklaa siten, että artiklaa 36 sovelletaan vain sellaisiin rajoituksiin, jotka olivat jäsenvaltiossa voimassa yhteisösäännöksen astuessa voimaan: uusien rajoitteiden asettaminen ei siis ole mahdollista. Toisaalta 100a artiklan 5 kohdan nojalla jäsenvaltio voi komission suostumuksella antaa yhteisösäännöksistä poikkeavia määräyksiä, mikäli se pitää tätä uuden tieteellisen tiedon perusteella joko ympäristön tai työympäristön suojelemisen kannalta tarpeellisenä.

Mailman kauppajärjestö⁴³⁹

Mailman kauppajärjestö (WTO) aloitti toimintansa vuoden 1995 alusta. Sen perustamissopimus, joka on useita liitesopimuksia sisältävä kattosopimus, syntyi yli seitsemän

⁴³⁹ Osuuden tiedot perustuvat selvitykseen Loibl ja Stelzer (1998).

vuotta kestäneen Uruguayn neuvottelukierroksen tuloksena. WTO:n perustamisen yhteydessä luotiin laajamittainen paneelimenettely kiistakysymysten käsittelemiseksi⁴⁴⁰.

GATT/WTO-sopimuksen⁴⁴¹ III artikla velvoittaa jäsenet rinnastamaan ulkomaiset tuotteet vastaaviin kotimaisiin siten, että tuotteiden myyntiä, tarjontaa, ostoa, jakelua ja käyttöä koskevat sisäiset lait, asetukset ja muut määräykset eivät saa antaa kotimaisille tuotteille suositummuusasemaa. Sopimuksen XI artiklan mukaan jäsen ei saa - tullee ja veroja sekä näihin rinnastettavia rasitteita lukuunottamatta - asettaa rajoitteita (so. kiintiöitä) toisesta jäsenmaasta tapahtuvalle tuonnille.

Sopimuksen XX(b) artiklan mukaan muut sopimuksen velvoitteet eivät estä sellaisia toimenpiteitä, jotka ovat tarpeen ihmisten, eläinten ja kasvien terveyden suojelemiseksi. Edellytyksenä tällaisille toimenpiteille on, että ne eivät ole peiteltäviä kaupan esteitä (so. ne eivät saa suosia kotimaisia vastaavia tuotteita), ja että ne ovat tieteellisesti perusteltavissa ja kohtuullisia (so. suhteessa tarvittavan suojelun tasoon).

Sopimus terveys- ja kasvinsuojelutoimista (SPS)

Sopimus terveys- ja kasvinsuojelutoimista (SPS⁴⁴²) antaa WTO:n jäsenille oikeuden ryhtyä ihmisten, eläinten ja kasvien elämän ja terveyden suojelemiseksi tarvittaviin toimiin sillä edellytyksellä, että ko. toimet 1) rajoittuvat siihen, mikä on suojelun kannalta välttämätöntä, 2) perustuvat tieteellisiin periaatteisiin, 3) eivät ole diskriminoivia ja 4) eivät rajoita kauppaa enemmän kuin on välttämätöntä asetetun suojelun tason saavuttamiseksi. Niin ikään sopimus velvoittaa jäsenet pääsääntöisesti perustamaan toimensa kansainvälisiin standardeihin, mikäli näitä on olemassa.⁴⁴³

Ensimmäistä kertaa SPS:n määräyksiä käsiteltiin WTO-paneelissa Kanadan ja USA:n EU:ta vastaa nostaman hormonilihakanteen yhteydessä.⁴⁴⁴ Koska uuselintarvikkeisiin sovelletaan erilaisia riskienarviointimenetelmiä eri maissa, niin on ennakoitavissa, että SPS-sopimuksen tulkintoja koskevien riitojen määrä kasvaa.⁴⁴⁵

⁴⁴⁰ Suomi liittyi vuonna 1947 perustettuun GATT:iin (*General Agreement on Tariffs and Trade*) vuonna 1950.

⁴⁴¹ Kyseessä on GATT:in perustamissopimus.

⁴⁴² Engl. *Agreement on Sanitary and Phytosanitary Measures*.

⁴⁴³ Ks. Hallituksen esitys Eduskunnalle Maailman kauppajärjestön perustamissopimuksen ja sen liitesopimusten eräiden määräysten hyväksymisestä (<<http://www.edita.fi/cgi-bin/vaihda.pl?/u2/web/edita/doc/esitys/etusivut/webhe.1994.0296.html+wto>>)

⁴⁴⁴ Tapaus *EC Measures concerning Meat and Meat Products (Hormones)*. Paneeliraportit ovat luettavissa sivulla <<http://www.wto.org/wto/dispute/distab.htm>>.

⁴⁴⁵ Menzler-Hokkanen ja Hokkanen (1998).

GMO:iden sääntely ja yhteisölainsäädäntö⁴⁴⁶

Jäsenvaltioiden liikkumavara on käytännössä lähes olematon sellaisten tuotteiden osalta, joita koskeva lainsäädäntö on yhteisötasolla harmonisoitu. GMO-tuotteet ja elintarvikkeet ovat direktiivin 90/220/ETY ja uuselintarvikeasetuksen nojalla tällaisia tuotteita, joten jäsenvaltio ei voi - mikäli sillä ei ole esittää uutta tieteellistä aineistoa - esittää juridisesti kestäviä perusteita, joiden perusteella se voisi estää yhteisötasolla hyväksyttyjen tuotteiden käytön alueellaan. Terveys- ja ympäristövaikutuksiin ei ole mahdollista vedota, koska nämä otetaan direktiivin 90/220/ETY ilmoitusmenettelyssä nimenomaisesti huomioon. Toisaalta ETY:n perustamissopimuksen 36 artikla ei tarjoa juuri muitakaan mahdollisuuksia rajoittaa GMO-tuotteiden käyttöä, koska kansallisten rajoitteiden pitäisi olla perusteltavissa joko julkisen moraalin tai yleisen järjestyksen ja turvallisuuden nojalla.

Eniten mahdollisuuksia kansalliseen sääntelyyn on sellaisten tuotteiden kohdalla, joiden sääntelyä ei EU-tasolla ole harmonisoitu. Esimerkkinä tällaisesta sääntelystä on kesällä 1998 voimaan tullut uusi rehulaki, jonka perusteella maa- ja metsätalousministeriö saa valtuudet antaa rehujen GMO-merkintöjä koskevia määräyksiä.⁴⁴⁷ Kansallisia säännöksiä voidaan kuitenkin antaa vain sillä edellytyksellä, että ne ovat ETY:n perustamissopimuksen mukaisia: niiden pitää olla kohtuullisia, eivätkä ne saa olla esteenä sisämarkkinoiden syntymiselle tai suosia kotimaisia tuotteita diskriminoivasti. Käytännössä säännöksiä ei myöskään anneta sen jälkeen, kun komission on antanut ehdotuksensa ko. sovellusala koskevaksi yhteisötason sääntelyksi.

Mikäli jäsenvaltio pyrkii soveltamaan geenitekniikkaan yhteisötason harmonisoidusta lainsäädännöstä poikkeavaa sääntelyä, sen on esitettävä tieteellistä näyttöä. Tällöin jäsenvaltion mahdollisuudet puoltaa kantaansa ovat sitä paremmat, mitä paremmat tieteelliset valmiudet sillä on GMO:iden terveys- ja ympäristönäkökohtien arvioinnissa.

⁴⁴⁶ Jakso perustuu Loiblin ja Stelzerin(1998) selvitykseen.

⁴⁴⁷ Ministeriö ei ole antamassa GMO-merkintöjä koskevia määräyksiä, koska komissiolta odotetaan ehdotusta erikoisrehuaineita koskevaksi sääntelyksi.

8. LOPPUHUOMIOITA

Siirtogeenisten kasvien kokonaisviljelypinta on nopeasti kasvamassa. Direktiivin 90/220/ETY puitteissa useat siirtogeeniset kasvit ovat saaneet tuotehyväksynnän ja on luultavaa, että jotkut uuselintarvikeasetuksen puitteissa käsiteltävistä GMO-elintarvikehakemuksista tullaan hyväksymään EU:n sisämarkkinoille. Tätä taustaa vasten on oikea aika keskustella siitä realistisesta mahdollisuudesta, että Suomen markkinoille saattaa tulla siirtogeenisistä kasveista valmistettuja elintarvikkeita.

Sääntelyn kannalta kasvigeenitekniikkaan liittyy useita näkökohtia, joita ovat muun muassa terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäiseminen, kuluttajan oikeuksien turvaaminen, kasvigeenitekniikkaa soveltavan elinkeinotoiminnan valvonta sekä sisämarkkinoiden toiminnan edistäminen:

- Tieteellisen tutkimuksen perusteella viranomaiset eivät ole katsoleet markkinoille hyväksytyjen siirtogeenisten kasvien aiheuttavan terveys- tai ympäristöriskejä, joiden perusteella nämä kasvit pitäisi kieltää. Kuluttajan kannalta kysymys on kuitenkin uusista tuotteista, joihin ei liity omakohtaisen ja pitkäaikaisen kulutuksen kautta kehittynyttä ”turvallisuustakuuta”. On siis paikallaan, että näistä riskeistä keskustellaan avoimesti, ja että samalla myös tunnustetaan tieteellisen tutkimuksen rajat niiltä osin, kun riskejä koskeva tieto on vielä puutteellista.
- GMO-elintarvikkeisiin liittyy terveys- ja ympäristöriskien ohella myös muita näkökohtia, jotka koskevat esimerkiksi maatalouden agrodiversiteetin kaventumista tai elintarvikeketjun toimijoiden kilpailuasemien muuttumista. Myös näitä näkökohtia on keskustelussa käsiteltävä, mikäli kuluttajille halutaan antaa eväitä mielipiteen muodostamiseksi ja omakohtaisten ratkaisujen tekemiseksi.
- Eräiden kasvien kohdalla kasvigeenitekniikan käytön vaikutukset viljelyn tuottavuuteen saattavat olla niin merkittäviä, että niillä on merkitystä maatalouden kilpailukyvyn kannalta. Kasvigeenitekniikkaa kannattaa pohtia myös innovaatiopolitiikan näkökulmasta, sillä kotimainen tutkimus- ja kehitystoiminta voi tarjota mahdollisuuksia korkean teknologian tuotteiden kaupallistamiseksi: Suomessa kehitetään esimerkiksi koloradokuoriaista kestäväää perunaa, jolla voisi olla vientimarkkinoita Venäjällä.
- EU:ssa kasvigeenitekniikan sääntely on pitkälle harmonisoitu, joten jos Suomessa sovellettavaan sääntelyyn halutaan vaikuttaa, se on tehtävä silloin, kun yhteisötason

sääntelyä ollaan muovaamassa. Direktiivin 90/220/ETY osalta tilaisuus tähän tarjoutuu syksyllä 1998, kun komission muutosehdotuksen kansallinen käsittely alkaa. Keskeisiä ulottuvuuksia muutosehdotuksen arvioinnissa ovat muun muassa terveys- ja ympäristöriskien arvioinnin periaatteet ja rajaukset, viranomaisilta edellytettävät tiedotuskäytännöt, kansalaisten kuuleminen, toiminnanharjoittajien toimintaedellytysten turvaaminen sekä jäsenvaltioiden vaikutusmahdollisuudet sääntelykomiteassa ja neuvostossa.

LÄHDELUETTELO

- Ahola, A. ja Kuisma, M. (1998). Biotekniikkasektori Suomessa: Laboratorioista lupaustenunastajaksi. *Täkes, Teknologia katsaus* 61/98.
- Aldridge, S. (1996). *The Thread of Life: The Story of Genes and Genetic Engineering*. Cambridge University Press, London.
- AMICA (1997). Amica-Science-EEIG in Focus: Planting the Future. Sponsored in part by the EU Biotechnology Programme. (Ks. <http://www.mpiz-koeln.mpg.de/~amica/amicaOOO.htm>.)
- Astwood, J. D., Leach, J. N. ja Fuchs, R. L. (1996). Stability of Food Allergens to Digestion *in vitro*. *Nature Biotechnology* 14, s. 1269.
- BATS (1994). The Release of Transgenic Plants. Hybridization between Crops and Their Wild Relatives. Part 1 - Grasses and Other Species with Relevance to Switzerland. Agency for Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Programme Biotechnology. ISSN 1420-228X.
- Becher, G. ja Schuppenhauer, M. R. (1996). *Kapallinen bioteknologia - liikevaihto ja työpaikat 1996-2000*. Arvioita Saksan tilanteen kehityksestä Saksan koulutus, tiede-, tutkimus- ja teknologiaministeriölle. Basel, lokakuu 1996.
- Beck, Ch. I. ja Ulrich, Th. (1993). Biotechnology in the Food Industry. *Bio/Technology* 11, s. 895-902.
- Bello, W. ja Rosenfeld, S. (1990). Dragons in Distress: Asia's Miracle Economies in Crisis. Institute of Food and Development Policy, Food First, San Francisco, s. 86.
- Berlinger, J. (1997). Risk Assessment. Esitelmä seminaarissa: "Geeniteknikan ympäristöriskit", Suomen Ympäristökeskus, huhtikuu 1997.
- Bevan, M. (1984). Binary Agrobacterium Vectors for Plant Transformation. *Nucleic Acids Res.* 12, s. 8711-8721.
- Biocult (1996). Cultural and Social Objections to Biotechnology: Analysis of the Arguments, with Special Reference to the Views of Young People. One Year Programme Under the Biotech Programme. Co-ordinator Ruth Chadwick, University of Central Lancashire, UK.
- Biotekniikan neuvottelukunta (1997). *Geeniteknikka Suomessa*. Edita, Helsinki.
- Bjerregaard, B., Madsen, K. H. ja Streibig, J. C. (1997). Herbicide Resistant Crops and Impact of Their Use. Danish Environmental Protection Agency. Miljöprojekt nr. 363.
- Bosworth, D. A. (1998). Genetically Modified Plants - the European Union Regulatory System. Protecting the Environment through the Use of Biotechnology, Conference Documentation, tammikuu 26-27. IBC UK Conferences Limited, Lontoo.
- Boudry, P., Broomberg, K., Saumitou-Laprade, P., Mörchén, M., Hautékeete, N.C., Ciguen, J. ja Van Dijk, H. (1997). Gene flow between Cultivated, Wild and Weed Beet Populations: Molecular Evidenced and Consequences for the Release of Transgenic Sugar Beet. *Käsi kirjoitus*.
- Brown, L. R. (1995). Who Will Feed China? Wake-Up Call for a Small Planet. W.W. Norton, New York.
- Brown, L. R. ja Kane, H. (1994). Full House: Re-assessing the Earth's Population Carrying Capacity. W.W. Norton, New York.
- BSS (1997). Biotechnology and Scientific Services (BSS) elokuu 1997. (Ks. <http://www.aphis.usda.gov/bbep/bp>.)
- Commandeur, P. ja von Roozendaal, G. (1993). The Impact of Biotechnology on Developing Countries. Opportunities for Technology-Assessment Research and Development Co-operation. TAB:n läus-tutkimus, Bonn 1993.
- Crawley, M. J., Hails, R. S., Rees, M., Kohn, D. ja Buxton, J. (1993). Ecology of Transgenic Oilseed Rape in Natural Habitats. *Nature* 363, s. 620-623.
- Davison, A., Barns, I. ja Schibeci, R. (1997). Problematic Publics: A Critical review of Surveys of Public Attitudes to Biotechnology. *Science, Technology and Human Values* 22/3, s. 317-348.
- Derksen, J. ja Maessen, G. D. F. (1998). Genetic Stability of the Genome of Cultivars of Maize, Petunia and Potato. Esitelmä. Pidetty Second International CCR Workshop: Past, Present and Future considerations in Risk Assessment When Using GMO's. March 5-6, 1998, Amsterdam, Holland.
- DGVI (1997). CAP 2000 Working Document. Long Term Prospects: Grains, Milk and Meat Markets, European Commission Directorate-General for Agriculture (DG VI). (Ks. <http://europa.eu.int/en/comm/dg06/new/cap2000/gmm/index.htm>.)
- Downey, R. K. (1992). Biosafety of Transgenic Oilseed Brassica Species. Proceedings on the Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Micro-organisms, toukokuu 1992, Goslar, Saksa.
- Ebinuma, H., Sugita, K., Matsunaga, E., Yamakado (1997). Selection of Marker-free Transgenic Plants Using the Isopentenyl Transferase Gene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94, s. 2117-2121.
- Economist (1998). Food Fights. *The Economist*, 13.6.1998, s. 99-100.
- Elintarvike & Tieto (1997). Uuselintarvikkeet tulevat. Geeniteknikka ja uuselintarvikkeet elintarviketuotannossa. Edita, Helsinki.
- Elintarvikevirasto (1997). Mielipiteitä geeniteknikalla tuotetuista elintarvikkeista. Helsinki.

- EP (1998). Bioteknologian vaikutukset maatalouteen. Euroopan parlamentti, maataloutta ja maaseudun kehittämistä käsittelevän valiokunnan mietintö 3.2.1998, PE 224.580/lop., A4-0037/98.
- Eronen, L. (1998). Terveisiä Brightonista. Juurikassarka 1/98, s. 32-34.
- ESTO (1998). Technological Solutions to the Challenges Posed by the Introduction of Genetically Modified Organisms. European Science and Technology Observatory, Joint Research Centre/Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla, helmikuu 1998.
- Eurobarometer (1997). Eurobarometer 46.1. European Commission, Directorate General XII, Bryssel.
- EY (1998). New Directions: The Twelfth Biotechnology Annual Report '98. Ernst & Young LLP.
- FAO/WHO (1991). Report of a Joint Consultation: Strategies for Assessing the Safety of Foods Produced by Biotechnology. World Health Organization, Geneva.
- FAO/WHO (1996). Report of a Joint Consultation: Biotechnology and Food Safety. Rooma, 30.9.-4.10.1996. ISBN 92-5-103911-9.
- FAPRI (1997). FAPRI 1997 World Agricultural Outlook, Staff Report #2-97. Food and Agricultural Policy Research Institute, Iowa State University, University of Missouri-Columbia. (Ks. <<http://www.ag.iastate.edu/card/fapri/fapri98/frames.htm>>.)
- FDA (1992). Food and Drug Administration, USA Department of Health and Human Services. Federal Register 57, s. 22984-23005.
- FDA (1994). Food and Drug Administration, USA Department of Health and Human Services. Federal Register 59, s. 26700-26711.
- Feinberg, J. (1984). The Moral Limits of the Criminal Law: Vol. 1 Harm to Others. Oxford University Press, New York.
- Flavell, A. J., Smith, D. B. ja Kumar, A. (1992). Extreme Heterogeneity of *Ty1-copia* Group Retrotransposons in Plants. Mol. Gen. Genet. 231, s. 233-242.
- Flexner, J. L., Lighthart, B. ja Croft, B. A. (1986). The Effects of Microbial Pesticides on Non-target Beneficial Arthropods. Agric. Ecosys. Environ. 16, s. 203-254.
- Fox, J. L. (1996). *Bt* Cotton Infestations Renew Resistance Concerns. Nature Biotechnology, syyskuu 1996, s. 1070.
- Fraley, R. (1992). Sustaining the Food Supply. Bio/Technology 10, s. 40-43.
- Fraley, R. ja Schell, J. (1993). Plant Biotechnology, editorial overview. Curr. Opin. Biotechnol. 4, s. 133.
- Fraley, R. T. (1994). The Contributions of Plant Biotechnology to Agriculture in the Coming Decades. BioSafety for Sustainable Agriculture: Sharing Biotechnology Regulatory Experiences of the Western Hemisphere, toim. A.F. Kratiger ja A. Rosemarin. ISAAA, Ithaca, s. 3-28.
- Franck-Oberaspach, S. L. ja Keller, B. (1996). Produktsicherheit von krankheits- und schädlingsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene. Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen, Kapitel 2. (Ks. <<http://www.eurospider.ch/BATS\data/german/k2titel.htm>>.)
- Fuchs, R. L., Rogan, G. J., Keck, P. J., Love, S. L. ja Lavrik, P. B. (1995). Teoksessa: Report of a WHO Workshop : Application of the Principles of Substantial Equivalence to the Safety Evaluation of Foods or Food Components from Plants Derived by Modern Biotechnology, s. 63. Köpenhamina, 31.10.-4.11.1994.
- Geurts, J. L. ja Mayer, I. (1996). Methods for Participatory Policy Analysis: Towards a Conceptual Model for Research and Development. WORC report 96.12.008/3.
- Gliddon, C. (1996). Risk Assessment and the Release of Genetically Modified Organisms. Käsikirjoitus, 12.3.1996.
- Gliddon, C., Boudry, P. ja Walker, S. (1996). Gene flow - a Review of Experimental Evidence. Käsikirjoitus.
- Goy, P. A. ja Duesing, J. H. (1995). From Pots to Plants: Genetically Modified Plants on Trial. Bio/Technology 13, s. 454-458.
- Greef, W. de (1996). A Perspective on Crop Biotechnology for the First Half of the 21st Century. Special Issue on Biotechnology, Science Technology Industry Review No. 19, OECD, s. 65-74.
- Haapala, O. (1994). Geenistä, vallasta, etiikasta. Yliopistopaino, Helsinki.
- Haen, H. de, Alexandratos, N. ja Bruinsma, J. (1998). Prospects for the World Food Situation on the Threshold of the 21st Century. The Future of Food: Long-Term Prospects for the Agro-Food Sector. OECD, Pariisi, s. 21-52.
- Hama, H., Suzuki K ja Tanaka, H. (1992). Inheritance and Stability of Resistance to *Bacillus thuringiensis* Formulations of the Diamondback Moth *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Yponomeutidae). Appl. Entomol. Zool. 27:355-362.
- Hemmer, W. (1997). Foods Derived from Genetically Modified Organisms and Detection Methods. BATS, Basel, Sveitsi. ISSN: 1420-228X. (Ks. <<http://www.bioweb.ch>>.)
- Herrera-Estrella, L., Depicker, A., Montagu, M. van ja Schell, J. (1983). Expressions of Chimaeric Genes Transferred into Plant Cells Using Ti-plasmid-derived Vector, Nature 303, s. 209-213.
- Hildyard, N. (1996). Too Many for What? The Social Generation of Food "Scarcity" and "Over-population". The Ecologist 26/6, 282-289.
- HMSO (1993). Report of the Committee on the Ethics of Genetic Modification and Food Use. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- Hoban T. J. (1996). How Japanese Consumers View Biotechnology. Food Technology, heinäkuu 1996, s. 85-88.
- Hoban, T. J. (1997). Consumer Acceptance of Biotechnology: An International Perspective. Nature Biotechnology 15, s. 232-234.
- Huang, F., Higgins, R. A. ja Buschman, L. L. (1997). Beline Susceptibility and Changes in Susceptibility to *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* Under Selection Pressure in European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of Economic Entomology 90, s. 1137-1143.
- Huuskonen, M. (1997). Emäkset jonoon järjesty! - Helsingin Sanomat, 4.10. 1997, Tiede ja Ympäristö.
- Häyry, H. ja Häyry M. (1997). Hyvä, kaunis, tosi - avojen filosofiaa. Yliopistopaino, Helsinki.
- Häyry, M. (1997). Geenitekniikka ja kategoriset kiellot - Geenit ja etiikka. Edita, Helsinki, s. 48-58.

- IBC UK (1998). Protecting the Environment through the Use of Biotechnology. Konferenssi 26-27.1.1998.
- IFIC (1997). U.S. Consumer Attitudes Toward Food Biotechnology. Wirthlin Group Quorum Survey, 21.-24.1997 (Ks. <<http://ificinfo.health.org/press/quest.htm>>.)
- Ikeda, R. ja Wakasa, K. (1997). Frontier of Rice Breeding by Utilization of Genetic Resources and Biotechnology - Plant Biotechnology and Plant Genetic resources for Sustainability and Productivity. R.G. Landes Company, Austin, s. 103-115.
- Inose, T. ja Murata, K. (1995). Enhanced Accumulation of Toxic Compound in Yeast Cells Having High Glycolytic Activity: A Case Study on the Safety of Genetically Engineered Yeast. Intl. J. Food Sci. Techn. 30, s. 141-146.
- International Food Biotechnology Council (1990). Regul. Toxicol. Pharmacol 12: 51.5196, WA, USA.
- IPTS (1996). The Ethical Dimensions of Technology Watch and Assessment. Weber M. & Nicolai, M. (toim.). Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.
- IRRI (1996). *Bt* Rice: Research and Policy Issues. IRRI Information Series No. 5, heinäkuu 1996. Manila, Philippines.
- James, C. (1997). Global Status of Transgenic Crops in 1997. ISAAA Briefs No. 5. ISAAA, Ithaca, New York. (Ks. <<http://128.253.183.94/brief5w.htm>>.)
- James, C. ja Krattiger, A. F. (1996). Global Review of the Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants, 1986-1995: The First Decade of Crop Biotechnology. ISAAA Briefs No. 1. ISAAA, Ithaca, New York. (Ks. <<http://128.253.183.94/Broch1.htm>>.)
- Kaiser, J. (1996). Pests Overwhelm *Bt* Cotton Crop. Science, 26.7.1996, s. 423.
- Kapuscinski, A. R. (1995). Environmental Impacts of Aquaculture Using Aquatic Organisms Derived through Modern Biotechnology, Proceedings of the Trondheim Workshop. OECD Environment Directorate.
- Kendall, H. W., Beachy, R., Eisner, T., Gold, F., Herdt, R., Raven, P. H., Schell, J. S. ja Swaminathan, M. S. (1997). Bioengineering of Crops. Report of the World Bank Panel on Transgenic Crops. Environmentally and Socially Sustainable Development Studies and Monograph Series 23. The World Bank, Washington, D.C.. ISBN 0-8213-4073-5.
- Kern, M. (1998). Biotechnology: Multifunctional Key Technologies for Safeguarding World Food Supplies and Natural Resources. Protecting the Environment through the Use of Biotechnology, Conference Documentation, 26.-27.1.1998. IBC UK Conferences Limited, Lontoo.
- Kirjavainen, H. (1996). Moraali, motivaatio ja yhteiskunta - johdatus eräisiin motivaatio- ja etiikan sosiaalietiikan keskeisiin ongelmiin. Suomalaisen tietojen kirjallisuuden seura, Helsinki.
- Kivi, E. (1983). Pölyä pinsetin kärjessä. Hankkijan kasvinjalostuslaitos.
- Kivi, E. ja Tigerstedt, P. M. A. (1975). Kasvinjalostuksen perusmenetelmät. Kurssimoniste, Helsingin yliopiston metsäkirjasto.
- Kok, E. J. N., Noteborn, P. J. M. ja Kuiper, H. A. (1994). Food Safety Assessment of Marker Genes in Transgenic Crops. Trends in Food Sci. and Technol. 51, s. 294-298.
- KOM(94)219 (1995). Bioteknologia ja valkoinen kirja kasvusta, kilpailukykyistä ja työllisyydestä. Komission tiedonanto neuvostolle, Euroopan parlamentille ja talous- ja sosiaalikomitealle. EYVL C 18, 23.1.1995.
- Komissio (1996). Eurooppa-tiedon käsikirja. Euroopan komission Suomen edustusto.
- Konsumentberedningen (1997). Framtidens Konsument - Rapport från seminarium. Konsumentberedningen, Jordbruksdepartementet, Tukholma.
- Koschätzky, K. (1995). Wirkungen des Einsatzes der neuen Biotechnologie in der Lebensmittel-produktion. Teoksessä Schell, T. von ja Mohr H. (toim.), Biotechnologie - Gentechnik: Eine Chancen für neuen Industrien. Springer-Verlag, Berlin.
- Krattiger, A. F. (1997). Insect Resistance in Crops: A Case Study of *Bacillus thuringiensis* (Bt) and Its Transfer to Developing Countries. ISAAA Briefs. No.2-1997.
- Krieg, A. ja Langenbruch, G. A. (1981). Susceptibility of arthropod species to *Bacillus thuringiensis*. Teoksessä Microbial Control of Pests and Plant Diseases. Toim. Burges, H.D. Academic Press, London. s. 837-896.
- Kuluttajavirasto (1997). Opinio -97. Kuluttajaviraston selitys kuluttajien mielipiteistä, 11.2.1997.
- Kuusi, O. (1991). Uusi biotekniikka - mahdollisuuksien ja uhkien teknologia. Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Kärenlampi, S. (1996). Health Effects of Marker Genes in Genetically Engineered Food Plants. TemaNord 1996:530, Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina.
- Launis, V. (1997). Biotekniikan käyttö vaatii tarkkaa punnintaa - Tiede 2000, 8/97, s. 42-43.
- Launis, V. ja Räikkä, J. (1997). Geenit ja etiikka. Editat, Helsinki.
- Lehtonen, E., Kangasjärvi, J. (1998). Biotekniikan riskit - siirto geenien kasvien ympäristöriskejä Suomessa. Suomen ympäristö 185. Pohjois-Savon ympäristökeskus. Kuopion kaupungin palveluskeskus, Kuopio.
- Leisinger, K. M. (1995). Sociopolitical Effects of New Biotechnologies in Developing Countries. Ciba-Geigy Foundation for Cooperation with Developing Countries.
- Lesser, W. (1997). The Role of Intellectual Property Rights in Biotechnology Transfer under the Convention on Biological Diversity. ISAAA Briefs No. 3. ISAAA, Ithaca, New York. (Ks. <<http://128.253.183.94/Broch3.htm>>.)
- Levidow, L., Carr, S., von Schomberg, R. ja Wield, D. (1996). Regulating Agricultural Biotechnology in Europe: Harmonisation Difficulties, Opportunities, Dilemmas. Science and Public Policy 23/3, s. 135-157.
- Levy, S. B. (1998). The Challenge of Antibiotic Resistance. Scientific American, maaliskuu 1998.
- Lewis, R. G. (1998). Jalostajat tavoittelevat kasvia, joka sie-tää kuivuutta ja tulvia. Maaseudun tulevaisuus 6.1.1998.
- Loibl, G. ja Stelzer, M. (1998). Nationale Souveränität im Gentechnikrecht. Völkerrechtliche und europarechtliche Vorgaben für eine Regelung der Gentechnik.
- Maatilahallitus (1996). Maatilahallituksen vuosikirja 1996. Maatilahallitus, Helsinki. Suomen virallinen tilasto.
- Malnøe, O. (1995). Virus Resistant Crops - New Viral Pathogens from Plants. Safety of Transgenic Crops. Environmental and Agricultural Considerations, Proceedings of Basel Forum on Biosafety, 17.19.1995. ISSN: 1420-228X.

- Mayeno, A. N. ja Gleich, G. J. (1994). Eosinophilia-myalgia Syndrome and Tryptophan Production: a Cautionary Tale. *TIBTECH* 12, s. 346-352.
- Melin, B. E. ja Cozzi, E. M. (1989). Safety of Microbial Insecticides. Laird, M., Lacey, L. A., Daidson, E. W. (toim.). CRC Press, Boca Raton, Florida. s. 150-167.
- Menzler-Hokkanen, I. (1998). Economic Impacts of Biotechnology. Expectations and Reality. Surrey Bioscience Conference, 30.3.1998, Surrey, Iso-Britannia.
- Menzler-Hokkanen, I. ja Hokkanen, H. (1998). Maatalouteen sovellettu biotekniikka: kansallisen tutkimus- ja hyödyntämisstrategian kehittäminen. Taustaselvitys maa- ja metsätalousministeriölle, 31.1.1998.
- Metcalfe, D. D., Fuchs, R. L., Townsend, R., Sampson, H. A., Taylor, S. L. ja Fordham, J. R. (toim.) (1996). Allergenicity of Foods Produced by Genetic Modification. A Report from International Food Biotechnology Council in Collaboration with the ILSI Allergy and Immunology Institute. *Food Science and Nutrition* 36: S1-S181.
- Mikkelsen T. R., Andersen B. ja Jorgensen R. B. (1996). The Risk of Crop Transgene Spread. *Nature* 380, 7.3.1996.
- Mitsuhashi, S. (toim.) (1977). R-Factor: Drug Resistance Plasmid. University Park Press, Baltimore.
- Mitten, D., Redenbaugh, K. ja Lindemann, J. (1996). Evaluation of Potential Gene Transfer from Transgenic Plants. Teoksessa Schmidt, E.R., Hankeln, T. (toim.), *Transgenic Organisms and Biosafety: Horizontal Gene Transfer, Stability of DNA, and Expression of Transgenes*. Springer-Verlag, Berliini. s. 95-100.
- Myerson, A. R. (1997). Seeds of Discontent: Cotton Growers Say Strain Cuts Yields. *New York Times*, 19.11.1997, New York.
- NC-205 (1997). Bt Corn & European Corn Borer. Long-Term Success Through Resistance Management. Research and Extension Entomologists of the North Central Regional Research Project. Publications Office, Cooperative Extension Service, University of Minnesota, St. Paul, Minnesota.
- Nestle, M. (1996). Allergies to Transgenic Foods - Questions of Policy. *New England Journal of Medicine*, March, n:o 334, s. 726-728.
- Nielsen, K. M. (1997). Horizontal Gene Transfer from Genetically Modified Plants (GMP) to Soil Associated Bacteria. *Proceedings on Nordic Seminar on Antibiotic Resistance Marker Genes and Transgenic Plants*. 12.-13.6.1997, Oslo, s. 29-39.
- NISTEP (1997). The Sixth Technology Forecast Survey: Future Technology in Japan Toward the Year 2025. National Institute of Science and Technology Policy, NISTEP Report No 52.
- Nordlee, J. A., Taylor, S. L., Townsend, J. A., Thomas, L. A. ja Bush, R. K. (1996). Identification of a Brazil-nut Allergen in Transgenic Soybeans. *New England Journal of Medicine*, n:o 334, s. 688-692.
- Noteborn, H. P. J. M., Bienemann-Plum, M.E., Alink, G. M., Zolla, L., Reynaerts, A., Pensa, M. ja Kuiper, H. A. (1996). Safety Assessment of the *Bacillus thuringiensis* Insecticidal Crystal Protein CryA(b) expressed in transgenic tomatoes. Teoksessa *Agri-Food Quality. An Interdisciplinary Approach*. Fenwick, G.R., Hedley, C., Richards, R.L., Khokhar, S. (toim.), The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK. ISBN 0-85404-711-5. s. 23-26.
- Noteborn, H. P. J. M., ja Kuiper, H. A. (1995). Teoksessa: Report of a WHO Workshop: Application of the Principles of Substantial Equivalence to the Safety Evaluation of Foods or Food Components from Plants Derived by Modern Biotechnology, s. 51. Köpenhamina, 31.10.-4.11.1994, 80 s. World Health Organization, Food Safety Unit.
- Ockhuizen, T., Smith, M., Teuber, M., Walker, R. ja Vogel, P. de (1996). The Safety Assessment of Novel Foods. Guidelines prepared by ILSI Europe novel food task force. *Food and Chemical Toxicol.* 34, s. 931-940.
- OECD (1986). Recombinant DNA Safety Considerations. Head of Publications Service, OECD, Pariisi.
- OECD (1995). Commercialisation of Agricultural Products Derived through Modern Biotechnology: Survey Results. *Environment Monograph* no. 99. OECD, Pariisi.
- OECD (1998). Summary of Data from OECD's Database of Field Trials. *BioTrack Online*. (Ks. <<http://www.oecd.org/ehs/summary.htm>>.)
- Oksanen, M. ja Rauhalainen-Hayes, M. (toim.) (1997). Ympäristöfilosofia. Gaudeamus, Tampere.
- OPECST (1998). L'utilisation des organismes génétiquement modifiés en agriculture et dans l'alimentation. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Assemblée nationale, Pariisi.
- Paillotin, G. (1998). The Impact of Biotechnology on the Agro-Food Sector. Teoksessa *The Future of Food: Long Term Prospects for the Agro-Food Sector*. OECD. s. 71-89.
- Palva-Alhola, M. ja Paganus, A. (1987). Hyvää ruokaa ruoka-allergisille ja keliaakikoille. Kirjayhtymä. Helsinki. ISBN 951-26-3121-0.
- Pardey, P. G ja Alston, J. M. (1996). Revamping Agricultural R&D 2020. Brief No. 24, IFPRI, Washington D.C.
- Pehu, E. ja Rojas M. (1998). Food Security, Environmental Issues and Human Health: A Potential with Biotechnology and Plant Genetic Resources with Economic, Social and Political Views. Teoksessa Watanabe, K.N. ja Pehu, E. (toim.), *Plant Biotechnology and Plant Genetic Resources for Sustainability and Productivity*. Academic Press, Austin.
- Peuhkuri, K., Korpela, R. ja Huntunen-Backman, K. (1996). Ruoka-aineallergia ja -ylikkyys. Art House. Gummerus, Jyväskylä. ISBN 951-884-176-4.
- Pickergill, B. (1981). Biosystematics of Cop-weed Complexes. *Kulturpflanze* XXIX:377-388.
- Pietarinen, J. (1997). Geenitutkimus ja etiikka - Geenit ja etiikka. Edita, Helsinki. s. 30-47.
- Pietarinen, J. ja Launis, V. (1990). Bioetiikan käsitteestä. Bioetiikka - periaatteita ja teoreettisia lähtökohtia. Käytännöllisen filosofian julkaisuja, Turku. s. 3-10.
- Pinstrup-Andersen, P., Pandya-Lorch, R. ja Rosegrant, M. W. (1997). The World Food Situation: Recent Developments, Emerging Issues, and Long-Term Prospects. Food Policy Report, IFPRI, Washington D.C. (Ks. <<http://www.cgiar.org/ifpri/pubs/fdpolrep.htm>>.)
- Pitkäjärvi, J. ja Ruohonen-Lehto, M. (1998). Geenitekniikalla muunnettujen organismien ympäristöriskien arviointi. Ympäristöopas 44. Suomen ympäristökeskus. Edita, Helsinki.
- Raininko, K. (1998). Perimä, kasvinjalostus ja geenitekniikka. *Juurikassarka* 11/1, s. 24-25.
- Rao, V. R. ja Iwanaga, M. (1997). Utilization of Plant Genetic Resources. Teoksessa *Plant Biotechnology and*

- Plant Genetic Resources for Sustainability and Productivity, Watanabe, K. N. ja Pehu, E. (toim.). Academic Press, Austin. s. 29-69.
- Raphals, P. (1990). Does Medical Mystery Threaten Biotech? *Science* 249, s. 619.
- Redenbaugh, K., Berner, T., Emlay, D., Frankos, B., Hiatt, W., Houck, C., Kramer, M., May, L., Martineau, B., Rachman, N., Rudenko, L., Sanders, R., Sheehy, R. ja Wixtrom, R. (1993). Regulatory Issues for Commercialization of Tomatoes with an Antisense Polygalacturonase Gene. *In Vitro Cell. Dev. Biol.* 29, s. 17-26.
- Redenbaugh, K., Hiatt, W., Martineau, B., Kramer, M., Sheehy, R., Sanders, R., Houck, C. ja Emlay, D. (1992). Safety Assessment of Genetically Engineered Fruits and Vegetables. A Case Study of the Flavr Savr® Tomato. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Redenbaugh, K., Hiatt, W., Martineau, B., Lindemann, J. ja Emlay, D. (1994). Amnoglycoside-3'-phosphotransferase II (APH(3')II): Review of Its Safety and Use in the Production of Genetically Engineered Plants. *Food Biotechnol.* 8, s. 137-165.
- Reifenberg, A. ja Rundle, R. L. (1996). Buggy Cotton May Cast Doubt on New Seeds. *Wall Street Journal*, 23.7.1997, s. B1, B3.
- Reiss, M. J. ja Straughan, R. (1996). Improving Nature? The Science and Ethics of Genetic Engineering. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rifkin, J. (1988). *The Biotech Century: Harnessing the Gene and Remaking the World*. Tarcher/Putnam, New York.
- Rissler, J. ja Mellon, M. (1996). *The Ecological Risks of Engineered Crops*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Roberts, L. (1990). L-Tryptophan Puzzle Takes New Twist. *Science* 249, s. 988.
- Rosegrant, M. W., Agcaoili-Sombilla ja Perez, N. D. (1995). Global Food Projections to 2020: Implications for Investment. Food Agriculture, and the Environment Discussion Paper 5, IFPRI, Washington D.C.
- Roush, R. T. ja Shelton, A. M. (1997) Assessing the Odds: The Emergence of Resistance to Bt Transgenic Plants. *Nature Biotech.* 15, s. 816-817.
- Rousi, A. (1997). Ravintokasvit - Aurinkokukasta viiniköynnökseen. WSOY, Helsinki.
- Salo, A. ja Kauppinen, V. (1997). Eiselvitys kasvien geeniteknikaasta. Tulevaisuusvaliokunnan teknologiajaosto, teknologian arviointeja 1, eduskunnan kanslian julkaisu 3/1997.
- Salo, A., Kauppila, J. ja Salminiitty, J. (1998). Elintarviketeollisuuden teknologiset menestystekijät. Tekes, Teknologia katsaus 60/98.
- Sauli, J. O. (1947). Kasvinjalostuksen perusteista ja menetelmistä. Otava. s. 5-10.
- Scheffler, J. A. ja Dale, P. J. (1994). Opportunities for Gene Transfer from Transgenic Oilseed Rape (Brassica napus) to Related Species. *Transgenic Research* 3, s. 263-278.
- Schlüter, K., Fütterer, J. ja Potrykus, I. (1995). "Horizontal" Gene Transfer from a Transgenic Potato Line to a Bacterial Pathogen (*Erwinia chrysanthemi*) Occurs - if at All - at an Extremely Low Frequency. *Bio/Technology* 13, s. 1094-1098.
- Schomberg, R. von (1998). Democratizing the Policy Process on the Environmental Release of Genetically Modified Organisms. (Ks. <<http://www.its.fzk.de/deu/TADN/TADN1296/schwer.htm#schwer5>>.)
- Seidler, R. J. ja Levin, M. (1994). Potential Ecological and Nontarget Effects of Transgenic Plant Gene Products on Agriculture, Silviculture, and Natural Ecosystems: General Introduction. *Molecular Ecology* 3, s. 1-3.
- Shawn-Dow Kung (1993). From Green Revolution to Gene Revolution. Teoksessa *Transgenic Plants, Vol 2: Present Status and Social and Economic Impacts*, Shawn-dow Kung and Ray Wu (toim.) Academic Press, Lontoo. s. xvii-xxxi.
- Shechtman, M. (1998) BSS Biotechnology Update, February 1998. (Ks. <<http://www.aphis.usda.gov/bbep/bp/98feb-2.gif>>.)
- Shohet, S. (1996). Biotechnology in Europe: Contentions in the Risk-Regulating Debate. *Science and Public Policy* 23/2, s. 117-122.
- Smalla, K. (1995). Horizontal Gene Transfer from Transgenic Plants into Plant Associated Micro-organisms and Soil Micro-organisms. Teoksessa *Safety of Transgenic Crops. Environmental and Agricultural Considerations*, Proceedings of Basel Forum on Biosafety. 17.10.1995. ISSN: 1420-228X.
- Smalla, K., Wellington, E. ja Elsas, J. D. van (1997). Natural Background of Bacterial Antibiotic Resistance Genes in the Environment. Käsikirjoitus, esitelmä seminaarissa Nordic Seminar: Antibiotic Resistance Marker Genes and Transgenic Plants. 12-13.6.1997, Oslo, Norja.
- Snow, A. A. ja Palma, P. M. (1997). Commercialization of Transgenic Plants: Potential Ecological Risks. *BioScience* 47/2, s. 86-96.
- Somersalo, S., Koivu, K., Kanerva, A., Kuvsinov, V. ja Pehu, E. (1998). Kasvinjalostus kiihtyy. *Maatila-Pellervo* 1/98, s. 42-45.
- Sparks, P. ja Shepherd, R. (1994). Public Perceptions of the Potential Hazards Associated with Food Production and Food Consumption: An Empirical Study. *Risk Analysis* 14, s. 799-806.
- Sparks, P., Shepherd, R. ja Frewer, L. J. (1994). Gene Technology, Food Production and Public Opinion: A UK Study. *Agriculture and Human Values* 11, s. 19-28.
- Sparks, P., Shepherd, R. ja Frewer, L. J. (1995). Assessing and Structuring Attitudes Toward the Use of Gene Technology in Food Production: The Role of Perceived Ethical Obligation. *Basic and Applied Social Psychology* 16, s. 267-285.
- Steinbecher, R. A. (1996). From Green to Gene Revolution: The Environment Risks of Genetically Engineered Crops. *The Ecologist*, vol. 26, no 6, s. 273-278.
- STOA (1992). Bioethics in Europe. Final Report. Scientific and Technological Options Assessment, European Parliament, Luxemburg.
- STOA (1998). An Appraisal of the Working in Practice of Directive 90/220/EEC on the Deliberate Release of Genetically Modified Organisms. Working Document for the STOA Panel, PE 166.953/Final. Luxemburg, tammikuu 1998.
- Tabashnik, B. E., Liu, Y.-B., Finson, N., Masson, L. ja Heckel, D. G. (1997). One Gene in Diamondback Moth Confers Resistance to four *Bacillus thuringiensis* Toxins. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94, s. 1640-1644.
- Tada, Y., Nakase, M., Adachi, T., Nakamura, R., Shimada, H., Takahashi, M., Fujimura, T. ja Matsuda, T. (1996). Reduction of 14-16 kDa Allergenic Proteins in Transgenic Rice Plants by Antisense Gene. *FEBS LETT* 391: 341.
- Tainio, R. (1997). Miksi geeniruokaa pelätään? Bioteknikka, geeniteknikka - mahdollisuus vai uhka? *Forum Mikkeli* III 9-10.6.1997.

- Tanskanen, A. (1998). Paraneeko masennus ruokaliolla? Helsingin sanomat 22.2.1998.
- Taylor, P. W. (1997). Luonnon kunnioittamisen etiikka - ympäristöfilosofia. Gaudeamus, Helsinki. s. 225-250. Suom. Oksanen, M.
- Tiedje, J. M., Colwell, R. K., Grossman, Y. L., Hodson, R. E., Lenski, R. E., Mack, R. N. ja Regal, P. J. (1989). The Planned Introduction of Genetically Engineered Organisms: Ecological Considerations and Recommendations. Ecology 70, s. 298-315.
- Tigerstedt, P. M. A. (1986). Bioteknologian merkitys kasvinjalostuksessa. Luonnon tutkija 90, s. 2-16.
- Troil, H. von (1995). Geeniteknisten tuotteiden hyväksyntä. Biotekniikan ja käymisteollisuuden tutkimussäätiö, Helsinki.
- Troil, H. von (1997). Geeniteknikkalainsäädäntö. Eläinvikevalvonta 1/97.
- Tähtinen, L. (1998). Maanviljelyn alkukoti löytyi. Tiede 2000 1/98, s. 15.
- Ulmanen, I., Valste, J. ja Viitanen, P. (1995). Geeni. WSOY, Porvoo.
- Ulmanen, I., Tenhunen, J., Yläne, J., Valste, J. ja Viitanen, P. (1998). Geeni - Biologia. WSOY, Porvoo.
- USDA (1998). USDA Agricultural Baseline Projections to 2007. World Agricultural Outlook Board, Office of the Chief Economist, USDA Staff Report No. WAOB-98-1, 132 s. (Ks. <<http://www.econ.ag.gov/epubs/pdf/waob981/>>.)
- Verhey, A. D. (1997). Playing God. Genetic Ethics - Do The Ends Justify The Genes?, s. 60-74. Michigan, Wm. B. Eerdsman Publishing Co. Toim. Kilner, J. F., Pentz, R., D. ja Yong, F. E.
- Viatte, G. ja Schmidhuber, J. (1998). Long-term Policy Issues and Challenges for Agro-food. The Future of Food: Long-term Prospects for the Agro-food Sector. OECD, Pariisi. s. 157-194.
- Vilka, L. (1998). Oikeutta luonnolle: ympäristöfilosofia, eläin ja yhteiskunta. Helsingin yliopisto, Helsinki.
- Wagner, W., Torgerson, H., Einsiedel, E., Jelsoe, H., Fredricson, H., Lassen, J., Rusanen, T., Boy, D., Cheveigne, S. de, Hampel, J., Stathopoulou, A., Allansdottir, A., Midden, C., Nielsen, T., Przestalski, A., Twardowski, T., Fjaestad, B., Olsson, S., Olofsson, A., Gaskel, G., Durant, J., Bauer, M. ja Liakopoulos, M. (1997). (1997). Europe Ambivalent on Biotechnology. Nature 387, 26.6.1997, s. 845-847.
- Watanabe K. N. ja Raman K. V. (1997). Plant Biotechnology and Plant Genetic Resources: A Global Perspective. Plant Biotechnology and Plant Genetic Resources for Sustainability and Productivity, s. 1-13. R.G. Landes Company, Austin.
- Wenzel, G. (1992). Plant Biotechnology: Comprehensive Biotechnology, s. 259-282. Pergamon Press, Oxford. Toim. Fowler, M.W. ja Warren, G. S.
- WHO (1993). Health Aspects of Marker Genes in Genetically Modified Plants. Report of a WHO Workshop. WHO, Food Safety Unit.
- WHO (1995). Application of the Principles of Substantial Equivalence to the Safety Evaluation of Foods or Food Components from Plants Derived by Modern Biotechnology. Report of a WHO Workshop, Kööpenhamina 31.10.-4.11. 1994. World Health Organization, Food Safety Unit.
- Wijk, J. van (1993). Farm Seed Saving in Europe under Pressure. Biotechnology and Development Monitor 17, s. 13-14.
- Wirthlin (1997). U.S. Consumer Attitudes Toward Food Biotechnology. Wirthlin Group Quantum Survey, 21-24.3.1997. (Ks. <<http://ificinfo.health.org/press/quest.htm>>.)
- WorldBank (1997). Bioengineering of Crops: Report of the World Bank Panel on Transgenic Crops. Environmentally and Socially Sustainable Development Studies and Monographs Series No. 23.
- Wrubel, R. P., Krinsky, S. ja Wenzler, R. E. (1992). Field Testing Transgenic Plants. Bio Science 42, s. 280-289.
- Yoder, J. I. ja Goldsbrough, A. P. (1994). Transformation Systems for Generating Marker-free Transgenic Plants. Bio/Technol. 12, s. 263-267.

LIITE 1. TERMISTÖÄ⁴⁴⁸

additiivinen, engl. *additive*

Lisä- yhteenlaskettava, lisättävä; esim. eri aineiden additiivinen vaikutus tarkoittaa niiden summautuvaa yhteisvaikutusta; vrt. synergismi.

adeniini, engl. *adenine*

Yksi nukleiinihappojen (DNA ja RNA) nukleotidien neljästä mahdollisesta emäsosasta.

alleelit, engl. *alleles*

Samanpaikkaiset vastingeenit, geenin vaihtoehdotiset muodot, jotka sijaitsevat aina samassa lokuksessa. Jos samasta geenistä on useampia kuin kaksi alleelia, niitä sanotaan multippeleiksi alleeleiksi. Alleeleja voi samalla yksilöllä olla kerrallaan vain kaksi, joko kaksi samanlaista (homotsygotia) tai kaksi erilaista (heterotsygotia).

alkaloidit, engl. *alkaloids*

Typpeä sisältäviä orgaanisia yhdisteitä, joita on 20-30 % putkilokasveissa, etupäässä koppisemenisissä. Monet alkaloidit ovat myrkyllisiä eläimille ja ihmisille. Alkaloideja ovat esim. kofeiini, teobromiini, efedriini, kodeiini, nikotiini, atropiini, morfiini, strykniini, meskaliini ja koliksiini.

aminohappo, engl. *amino acid*

Typipitoisia orgaanisia happoja, joista peptidiketjut ja valkuaisaineet (proteiinit) rakentuvat.

antibiootti, engl. *antibiotic*

Mikrobien tuottamia aineita tai synteettisiä lääkkeitä, jotka estävät muiden mikrobilajien lisääntymistä ja kasvua.

antibiootiresistenssi, engl. *antibiotic resistance*

Elion vastustuskyky antibiootteja vastaan.

antibiootiresistenssigeeni, engl. *antibiotic resistance gene*

Geeni, jonka koodittama ominaisuus antaa solulle kyvyn kasvaa tietyn antibiootin läsnäollessa. Usein em. geenin tuote on kyseistä antibiootia hajottava tai tehottomaksi muuntava entsyymi.

antigeeni, engl. *antigen*

Elimistölle vieras aine, joka aiheuttaa elimistön torjuntajärjestelmän aktivoitumisen; tämä ilmenee immuunijärjestelmässä vasta-aineiden syntymisenä.

antikodoni, engl. *anticodon*

Siirtäjä-RNA:ssa kolmen emäksen ryhmä, joka tunnistaa kutakin aminohappoa vastaavan lähetäjä-RNA:n kolmikon. Tunnistaminen tapahtuu emäspariperiaatteen mukaisesti.

antosyaani, engl. *anthocyan*

Kasvisolujen solunesteen vesiliukoinen väriaine.

bakteerit, engl. *bacteria*

Esitumallisia mikrobeja, joilta puuttuu tumaa ympäröivä tumakotelo ja monet soluelimet.

basilli, engl. *bacillus*

Sauvabakteeri, moneen bakteerisukuun kuuluvia, sauvamaisia bakteereja.

biodiversiteetti, engl. *biodiversity*

Luonnon koko moninaisuus, johon sisältyvät lajien runsaus ja niiden ympäristöjen monipuolisuus sekä laaja lajinsisäinen perinnöllinen muuntelu.

⁴⁴⁸ Termit ovat kustantajan ja tekijöiden suostumuksella pääosin peräisin kirjoista *Geeni* (Ulmanen et al., 1995) ja *Geeni - Biologia* (Ulmanen et al., 1998).

biotekniikka, engl. *biotechnology*

Eliöiden, (lähinnä mikrobien) toiminnan hyödyntämiseen perustuva tekniikka.

containment-periaate

Geenitekniisiä kohteita saadaan suorittaa vain suljetuissa tiloissa.

diabetes, engl. *diabetes*

Sokeritauti, insuliinin määrällisestä tai toiminnallisesta vajauksesta johtuva häiriötila. Sen eri muotoja ovat aikuisiän diabetes (ominaista riittämättömän insuliinin erityys) ja nuoruusiän diabetes (ominaista insuliinierityksen puuttuminen).

diagnostiikka, engl. *diagnostics*

Taudin määrittäminen.

diploidia, engl. *diploidy*

Tila, jossa solun tumassa on kaksi samanlaista peruskromosomistoa. Diploideja ovat yleensä somaattiset solut.

DNA eli **deoksiribonukleiinihappo**, engl. *deoxyribonucleic acid*

Solun perintötietoa siirtävä aine. Pääosin kromosomeissa sijaitsevan DNA:n rakenteena ovat nukleotidit, jotka koostuvat deoksiriboosisokerista, fosfaattiosasta ja orgaanisesta emäksestä.

DNA-polymeraasi, engl. *DNA-polymerase*

DNA-juostetta syntetisoiva entsyymi, joka käyttää mallina vastakkaissuuntaista DNA-juostetta ja lähtöaineina nukleotiditrifosfaatteja. Käänteiskopioijaentsyymi on myös DNA-polymeraasi, mutta se käyttää mallinaan RNA:ta.

dominoiva periytyminen, engl. *dominant inheritance*

Vallitseva periytyminen, periytymistapa, jossa yksinkertaisenakin (heterotsygoottisena) esiintyvä geeni aiheuttaa tietyn ominaisuuden niin, että toisen, resessiivisen alleelin olemassaoloa ei havaita.

ekosysteemi, engl. *ecosystem*

Biosysteemi, luontonsa puolesta verrattain yhtenäisen alueen eliöiden ja elottomien ympäristötekijöiden toiminnallinen kokonaisuus.

emäspari, engl. *base pair*

DNA:n kaksoiskierteessä nukleotidien emäsosat sitoutuvat toisiinsa emäspareiksi vetysidosten välityksellä siten, että vetysiltoja muodostavat emäsparit A-T ja C-G; DNA:n ja RNA:n nukleotidien pariutuessa keskenään parit ovat A-U ja C-G. Emäspari on myös DNA:n koon mittayksikkö, esim. tyypillisen plasmidin koko on 4000 emäsparia.

entsyymi, engl. *enzyme*

Katalyyttinen proteiini, solun muodostama yhdiste, joka katalysoi jonkin solussa tai sen ulkopuolella tapahtuvan reaktion. Tietty entsyymi katalysoi vain yhdenlaista reaktiota. Molekyyli, jonka reaktioita entsyymi katalysoi, on entsyymin substraatti.

epäorgaaninen, engl. *inorganic*

Elottoman luonnon aineita tai reaktioita tarkoittava, esim. epäorgaaninen kemia.

evoluutio, engl. *evolution*

Lajinkehitys, populaatioiden ja lajien vähittäinen perinnöllinen muuttuminen.

ex situ

Paikalta pois, muualla tehtävä (koe yms.).

fenotyyppi, engl. *phenotype*

Ilmiasu, geenien (genotyyppin) ja ympäristötekijöiden yhdessä luoma yksilön kaikkien ominaisuuksien kokonaisuus.

fuusio, engl. *fusion*

Yhteen sulattaminen, sulautuminen; esim. molekyylien, solujen, tai elinten tai niiden osien yhteenkasvaminen, sulautuminen.

geeni, engl. *gene*

Useita eri määritelmiä: 1) perinnöllistä ominaisuutta ohjaava DNA-jakso, joka sisältää tiedon proteiinin tai RNA:n rakenteesta; 2) perinnöllisyyden yksikkö, toiminnallisesti yhtenäinen osa eliön DNA:ta (joillakin viruksilla RNA:ta), joka ohjaa solun elintoimintoja tai kehitystä.

geenienvaihdunta, engl. *crossing over*

Tekijäinvaihdunta, meioosin ensimmäisessä jaossa (redukstiojaossa) vastinkromosomien pariutuessa tapahtuva kromatidien osien vaihto, jonka seurauksena geenien kytkentä purkautuu näiltä osin.

geenikartta, engl. *gene map*

Geenien ja geenimerkkien sijaintipaikkoja (lokuksia) kromosomeissa kuvaava kaavio.

geenimerkki, engl. *gene marker*

DNA-merkki, genomiin tarkasti paikannettu DNA-jakso, usein polymorfinen locus, jota käytetään geenien tai kloonien paikantamiseen geenimerkkikarttaan.

geenipankki, engl. *gene bank*

Kokelma, jonka avulla säilytetään geneettisiä luonnonvaroja (lajien elossapysymistä), kuten viljelykasvien ja kotieläinten maatiaiskantoja ja niiden luonnonvaraisia lähisukulaisia, käytettäväksi mm. jalostuksessa.

geeniperhe, engl. *gene family*

Sukulaisgeenit, geenijoukko, joilla on joko toiminnallista tai rakenteellista samankaltaisuutta.

geenipommitus

DNA:n siirtäminen soluihin partikkelien pinnalle kiinnitettynä. Partikkelit kiihdytetään riittävästi nopeuteen erilaisin fysikaalisin keinoin.

geeniruoka, engl. *genetically modified food*

Ruoka- tai ravintoaine, joka sisältää geneettisesti muunnettuja eliöitä tai jonka valmistamisessa on käytetty niillä tuotettuja aineita.

geenitekniikka, geeniteknologia, geenimanipulaatio, engl. *genetic engineering, gene manipulation*
Perintöaineksen keinotekoinen muokkaaminen ja luominen; biotekniikan haara, jossa lähinnä yhdistelmä-DNA-tekniikalla suoritetaan geenien hallitua muuttamista ja siirtämistä.

geneettinen koodi, engl. *genetic code*
Kolmikkokoodi, periaate, jolla tieto proteiinien aminohappojärjestyksestä on säilytetty DNA:han. Koodi koostuu kolmen nukleotidin (emäksen) peräkkäisistä sanoista, kolmikoista, joista kukin vastaa tiettyä aminohappoa.

genomi, engl. *genome*
Eliön tai solun koko geenistö.

genotyyppi, engl. *genotype*
Perimä, yksilön vanhemmiltaan perimien kaikkien geenien kokonaisuus.

glukoosi, engl. *glucose*
Rypälesokeri, kuusi hiiliatomia ja kuusi happiatomia sisältävä yleinen monosakkaridi. Soluissa se on keskeinen energian lähde.

GMO eli **geenitekniikalla muunnettu organismi**, engl. *genetically modified organism*
Organismi, jonka perintöainesta on muutettu tavalla, joka ei toteudu luonnossa paritumisen tuloksena tai luonnollisena rekombinaationa (tämä on direktiivin 90/220/ETY mukainen määritelmä, jossa GMO:sta tosin käytetään ilmausta "geneettisesti muunnettu organismi").

guaniini, engl. *guanine*
Yksi nukleiinihappojen (DNA:n ja RNA:n) nukleotidien neljästä emäsosasta.

haploidia, engl. *haploidy*
Tila, jossa solulla tai yksilöllä on yksinkertainen eli haploidi (n) kromosomisto; kutakin kromosomia on vain yksi, tai sukusolujen kromosomaalinen tilanne, jolloin solussa on kromosomeja vain puolet somaattisten solujen määrästä.

hemoglobiini, engl. *hemoglobin*
Verenpuna, veren punasolujen happea sitova yhdiste.

herbisidi, engl. *herbicide*
Rikkakasvihävite, torjunta-aine, jota käytetään hävittämään ei-toivotut kasvit joko viljelyksiltä tai viljelemättömiltä aloilta. Myös vesakkomyrkyt luetaan rikkakasvihävitteisiin. Rikkakasvihävitteet luokitellaan joskus valikoiviin eli selektiivisiin ja kaiken tappaviin eli totaalisiin aineisiin: tällainen jako on kuitenkin vaikea ja varsin suhteellinen, koska yhdisteen selektiivisen vaikutus riippuu monesta tekijästä. Rikkakasvihävitteiden osuus on suurin kaupan olevista torjunta-aineista. Suomessa on myynnissä kaikkiaan yli sata rikkakasvihävitettä.

heteroosi, engl. *heterosis, hybrid vigour*

Risteymävoima, eri lajien tai saman lajin geneettisesti erilaisten yksilöiden (kantojen, rotujen) risteymissä usein ilmenevä, heterotsygotiasta johtuva tavallista suurempi elinvoimaisuus.

heterosyklinen, engl. *heterocyclic*
Erilaisrenkainen; kuvaa esim. orgaanista yhdistettä, jossa ainakin yhdessä renkaassa on muita kuin hiiliatomeita.

homotsygotinen, engl. *homozygous*
Samanperäinen, solu tai yksilö, jonka diploidisessa kromosomistossa jotkin tietyt vastingeenit ovat samaa alleelia.

hormoni, engl. *hormone*
Elimistön, varsinkin umpirauhasten tuottamia viestiaiaineita, jotka leviävät veren mukana ja saavat aikaan muutoksia toisten kudosten tai elinten toimintaan. Hormonit vaikuttavat vain sellaisiin kohdesoluihin, joissa on kyseiselle hormonille vastaanottajamolekyyliä (reseptoreita).

hullun lehmän tauti, engl. *Bovine Spongiform Encephalopathy*
BSE, nautakarjan prionitauti.

hybridi, engl. *hybrid*
Kahden perimältään erilaisen vanhemman jälkeläinen.

hybridisaatio, engl. *hybridization*
Tapahtuma, jossa kaksi vastakkaista nukleiinihappojuostetta emäspariperiaatteen mukaisesti liittyy yhteen. Tämä tarjoaa geenitekniikassa tehokkaan tavan etsiä tietyn emäsparijärjestyksen omaavia nukleiinihappomolekyyliä.

ICE-MINUS-bakteeri
Jäätymistä hidastava/ehkäisevä bakteeri.

immuuteetti, engl. *immunity*
perinnöllinen tai hankittu vastustuskyky tiettyä sairaudenaiheuttajaa (bakteeri tai virus) tai sen tuottamaa toksinia vastaan. Immuuteetti perustuu sekä syöjäsoluihin että vasta-aineiden tuotamiseen.

imusuolu, engl. *lymphocyte, lymph cell*
Lymfosyytti, erityyppisiä veren, imukudoksen, luuytimen ja sidekudoksen valkosoluja, jotka torjuvat elimistöön tunkeutuneita antigeneja.

insektisidi, engl. *insecticide*
Torjunta-aine, jonka vaikutus kohdistuu hyönteisiin; synon. hyönteismyrkky.

insuliini, engl. *insulin*
Haiman Langerhansin saarekkeiden soluista erittyvä proteiinihormoni, joka säätelee glukosipitoisuutta mm. siirtämällä sokeria verestä soluihin. Häiriötila voi johtaa mm. diabetekseen.

in vitro
Lasissa, pullossa, koeputkessa; esim. solukkoa, kudosta tai soluja voidaan tutkia eliöstä irrotet-

tuna ja kasvattaa maljoissa, pulloissa tai koeputkissa (*in vitro* -tutkimus); tarkoittaa myös esim. jotakin reaktiota, joka normaalisti tapahtuu solussa mutta suoritetaan koeputkessa.

itsepölytys, engl. *self-pollination*

Kasviyksilön (yleensä saman kukan) heteistä emin luotille tapahtuva pölytys.

iturata, engl. *germ line*

Sukusolulinja, yksilönkehityksessä hedelmöityneestä munasolusta seuraavan sukupolven sukusoluihin johtava solulinja, joka on periaatteessa päättymätön verrattuna muihin, somaattisiin soluihin. Ituradan solujen välityksellä geenien sisältämä perintöinformaatio siirtyy sukupolvesta toiseen.

kaari, engl. *division*

Kasvikunnan luokittelussa käytetty pääryhmä (esim. viherlevät, sammalet, siemenkasvit); eläinkunnassa vastaava luokitteluryhmä on pääjakso.

kaksisirkkaiset, engl. *dicotyledons*

Siemenkasvien kaaren koppisiemenisten alakaaren luokka. Kaksisirkkaisilla on alkiossa kaksi sirkkalehteä, kukan pohjaluku on neljä tai viisi ja lehtien suonitus verkkomainen, varren johtajanteet ovat kehässä ja jälleen avustama sekundaarinen paksuuskasvu on tyypillistä. Koppisiemenisten toista kehityslinjaa edustaa yksisirkkaisten luokka. Suurin osa siemenkasveista on kaksisirkkaisia, esim. leinikki, koivu, voikukka.

karsinogeeni, engl. *carcinogen*

Syöpää synnyttävä ulkoinen tekijä, kuten kemiallinen aine, säteily tms.

kasvinjalostus, engl. *plant breeding*

Viljelykasvien ominaisuuksien parantaminen, joka pyrkii kehittämään runsassatoisempia, kestävämpiä tai muuten edullisempia lajikkeita.

katalyysi, engl. *catalysis*

Kemiallista reaktiota kiihdyttävä (katalysoiva) vaikutus, jossa kiihdyttävä aine (katalyytti) itse ei kulu ja tehoa siksi hyvinkin vähäisinä määrinä.

kloonaus, engl. *cloning*

1) klooninen tuottaminen; 2) geeniteknikassa DNA-palasan siirto bakteereihin vektorin (esim. bakteeriplasmidin) avulla ja varsinkin sitä seuraava, halutun geenin omaavan bakteerikasvuston valinta ja lisääminen.

klooni, engl. *clone*

Kaikkien samasta yksilöstä (tai solusta) suvuttoman lisääntymisen (pelkkien mitoosien) kautta syntyneiden, perinnöllisesti samankaltaisten yksilöiden (tai solujen) joukko; geeniteknikassa DNA-klooni.

kolkisiini, engl. *colchicine*

Myrkkyliljan tuottama alkaloidi, joka estää tumasukkulalan muodostumisen mitoosissa; sen avulla saadaan keinotekoisesti aikaan polyploidiaa.

koppisiemeniset, lat. *Angiospermae*

Siemenkasvien ryhmän alaryhmä, joka luokitellaan useimmiten siemenkasvien kaaren alakaareksi. Koppisiemenisillä siemenaiheet ovat emiön suljetussa sikiäimessä ja siementen kypsyessä sikiäimestä kehittyy hedelmä. Koppisiemeniset jaetaan edelleen kaksi- ja yksisirkkaiisiin.

kromosomi, engl. *chromosome*

DNA:sta ja tumallisilla myös proteiineista koostuva rihma, joka sisältää pääosan solun geenitöstä.

kymosiini, engl. *chymosine*

Maidon kaseiinia pilkkova entsyymi (muistuttaa nisäkkään mahan tuottaamaa renniiniä), jota valmistetaan bioteknisesti ja käytetään juustonvalmistuksessa maidon juoksetteena.

kystinen fibroosi, engl. *cystic fibrosis*

Resessiivisesti periytyvä sairaus, jolle on ominaista mm. haiman ja suolen sidekudoksen lisääntynyt kasvu.

laji, engl. *species*

Keskenään lisääntyvien yksilöiden kokonaisuus, taksonomian (luokittelun) perusyksikkö, johon kuuluu yleensä useita populaatioita.

maissikoisa, engl. *European corn borer*

Koisaperhosiin kuuluva laji, jonka toukka on maissin paha tuholainen Euroopassa ja Amerikassa.

meioosi, engl. *meiosis*

Kypsymisjako, sukusolujen syntyessä tapahtuva kahden tumanjakautumisen sarja, jossa normaali somaatisten solujen (diploidinen) kromosomimäärä (2n) alenee sukusoluihin puoleen eli haploidiseksi (n).

mikrobi, engl. *microbe*

Pieneliö, yleensä yksisoluihin eliö, jonka näkemiseen tarvitaan mikroskooppi. Mikrobeihin luetaan virukset ja kaikki esitumalliset eliöt (bakteerit ja sinibakteerit), tumallisista eliöistä protistit (yksisoluiset levät, hiivat, homeet ja alkueläimet) sekä eräät mikroskooppisen pienet monisoluiset eliöt.

mikro-organismi, engl. *micro-organism*

Mikrobiologinen solu- tai muu rakenne, joka pystyy lisääntymään tai siirtämään perintöainesta (määritelmä EU:n direktiivin 90/219/ETY mukaan).

mitoosi, engl. *mitosis*

Tuman jakautuminen, joka tuottaa kaksi keskenään ja emotuman kanssa geneettisesti identtistä tumaa.

molekyyli, engl. *molecule*

Alkuaineen tai yhdisteen atomeista kemiallisin sidoksin muodostunut rakenneyksikkö, joka on pienin yksikkö, johon aine voidaan jakaa sen kemiallisten ominaisuuksien muuttumatta.

moratorio, (lak.) maksuajan pidennys, maksun lykkäys; tässä: (kokeiden) sallimisen siirtäminen tuonnetuksi.

mutaatio, engl. *mutation*

Geenissä, kromosomissa tai koko kromosomissa tapahtunut äkillinen rakenteellinen muutos, joka sukusolujen välityksellä voi siirtyä jälkeläisiin.

mutageeni, engl. *mutagen*

Aine, säteily tms., joka aiheuttaa mutaatioita.

mutageneesi, engl. *mutagenesis*

Mutaatioiden keinollinen aiheuttaminen esim. säteilytyksellä tai kemikaaleilla. Geenitekniikan keinoin voidaan kohdennetulla mutageneesilla aiheuttaa halutun geenialueen mutaatio.

muuntelu, engl. *variation*

Variaatio, yksilöiden, rotujen, lajien jne. välinen erilaisuus. Muovautumismuuntelu on ympäristötekijöiden, perinnöllinen muuntelu geenien aiheuttamaa.

nukleiinihappo, engl. *nucleic acid*

Suurimolekyyliä, nukleotideista koostuvia yhdisteitä.

nukleosidi, engl. *nucleoside*

Nukleiinihappojen (DNA, RNA) ja nukleotidien rakenneosia.

nukleotidi, engl. *nucleotide*

Nukleiinihapon rakenneyksikkö, jonka osia ovat fosforihappotähdde, sokeri ja orgaaninen emäs.

orgaaninen, engl. *organic*

1. Elimellinen, elollinen, eliössä esiintyvä tai niistä peräisin oleva; 2. hiiliyhdisteisiin liittyvä (esim. orgaaninen kemia); vastakohta epäorgaaninen.

patogeeni, engl. *pathogen*

Tautia aiheuttava eliö (esim. sieni, bakteeri tai virus).

penisilliini, engl. *penicillin*

Antibiootti, jonka lääkevaikutus perustuu kykyyn keskeyttää bakteerin soluseinän tukiaineen mureinin synteesi, jolloin bakteerisoluhajoaa nopeasti.

peptidi, engl. *peptide*

Kahdesta tai useammasta aminohaposta muodostunut molekyyli. Aminohappojen lukumäärän mukaan peptidejä nimitetään di-, tri-, tetra-, jne. peptideiksi, 2-10 aminohappotähdettä sisältäviä kutsutaan oligopeptideiksi ja niitä suurempia polypeptideiksi.

peptidisidos, engl. *peptide bond*

Sidos, jossa yhden aminohapon aminoryhmä on liittynyt toisen aminohapon karboksyyli-ryhmään, samalla kun vesimolekyyli on poistunut.

perinnöllinen muuntelu, engl. *genetic variation*

Geeneistä johtuva lajin yksilöiden erilaisuus.

plasmidi, engl. *plasmid*

Bakteerien solulimassa olevia, useita geenejä sisältäviä DNA-renkaita, jotka ovat kromosomista erillään. Plasmidit kaksinkertaistuvat itsenäisesti ja voivat siirtyä bakteerisolusta toiseen. Geenitekniikassa yleisesti käytetty vektori.

polymeraasi, engl. *polymerase*

Nukleiinihapon ja muiden vastaavien polymeerien syntä katalysoivia entsyymejä.

polyploidia, engl. *polyploidy*

Haploidisen kromosomiston esiintyminen enemmän kuin kaksinkertaisena.

proteiini, engl. *protein*

Valkuaisaine, valkuainen, yhdestä tai useammasta aminohappoketjusta koostuvia suurimolekyyliä yhdisteitä. Ketjussa aminohapot ovat peptidisidoksilla kytkeytyneinä toisiinsa.

protoplasti, engl. *protoplast*

Bakteeri-, sieni- tai kasvisolun soluseinätön solun osa.

puriini, engl. *purine*

$C_5H_4N_4$, heterosyklisistä renkaista muodostunut emäs, joka on rakenneosana nukleosideissa ja nukleotideissa sekä näistä koostuvissa nukleiinihappoissa DNA:ssa ja RNA:ssa. Nukleiinihappojen puriineja ovat adeniini ja guaniini.

pyrimidiini, engl. *pyrimidine*

Yhden heterosyklisen renkaan sisältävä orgaaninen yhdiste, $C_4H_4N_2$, jonka emäsjohdokset (pyrimidiiniemäkset) ovat rakenneosana nukleosideissa, nukleotideissa ja nukleiinihappoissa. Pyrimidiiniemäksistä DNA-molekyylisiin kuuluvat sytosiini ja tymiini, RNA:han sytosiini ja urasiili sekä siirtäjä-RNA:han edellisten lisäksi pseudourasiili.

rDNA, yhdistelmä-DNA,

ks. rekombinaatio.

rekombinaatio, engl. *recombination*

Geenien sattumanvarainen uudelleenryhmittäminen meiosisin ja hedelmöityksen seurauksena. Termiä käytetään geeniteknikassa kuvaamaan solun ulkopuolella suoritettua geeninrakenteen uudelleenyhdistelemistä (esim. rDNA, rekombinoitu DNA, yhdistelmä-DNA).

resistenssi, engl. *resistance*

Eliön vastustuskyky esim. sairautta, mikrobia, torjunta-ainetta, lääkeainetta tms. vastaan.

resessiivinen periytyminen, engl. *recessive inheritance*

Väistyvä, peittyvä, periytymistapa, jossa alleelin ilmentämä ominaisuus tulee esiin vain alleelin esiintyessä kaksinkertaisena (homotsygoottina).

rikkakasvihäviö, engl. *herbicide*

Herbisidi, rikkakasvien torjunta-aineita, usein kasvuhormonin tapaisia synteettisiä aineita, jotka aiheuttavat rikkakasveille kasvuhäiriöitä.

RNA eli **ribonukleiinihappo**, engl. *ribonucleic acid*

Nukleiinihappo, jonka nukleotidit koostuvat riboisokerista, fosfaattiosasta ja orgaanisesta emäksestä. Proteiinisynteesissä lähetti-RNA toimii DNA:n tiedon välittäjänä, siirtäjä-RNA ja ribosomi-RNA sen toteuttajana; vrt. DNA.

R-plasmidi, resistenssiplasmidi.

Rengasmainen kromosominulkopuolinen DNA-rakenne, joka sisältää geenin (geenit) yhden tai useamman antibiootin vastustuskykyyn. Tavallisia bakteereissa.

siirtogeeninen, engl. *transgenic*

Transgeeninen, geeniteknologian avulla jalostettu eliö, johon on siirretty toisen yksilön, rodun tai lajin geenejä.

siirtovektori, ks. vektori.

solu, engl. *cell*

Eliöiden pienin itsenäinen aineenvaihdunnan ja perinnöllisen informaation omaava yksikkö.

solufuusio, ks. fuusio.

solulima, engl. *cytoplasm*

Sytoplasma, solukalvon sisäpuolella ja tumakotelon ulkopuolella oleva osa, jossa syntyvät lipidit ja kalvoproteiinit.

somaattinen solu, engl. *somatic cell*

Muut kuin ituradan solut.

synergismi, engl. *synergism*

Samansuuntainen vaikutus, yhteisvaikutus; esim. aineet, voimat, yms., jotka vaikuttavat samansuuntaisesti lisäten toistensa vaikutuksia, ovat synergistisiä.

synergistinen vaikutus, engl. *synergistic effect*

Voi olla additiivinen eli summautuva tai potentisoituva (yhteisvaikutus on suurempi kuin erillisten vaikutusten summa). Synergismi on viime aikoina tullut tunnetuksi ympäristöongelmien yhteydessä, koska esim. ympäristömyrkyjen synergistisiä vaikutuksia ei juuri tunneta.

sytosiini, engl. *cytosine*

Yksi nukleiinihappojen (DNA:n ja RNA:n) nukleotidien neljästä mahdollisesta emäsosasta.

takaisinristeytys, engl. *back cross*

Risteytys, jossa uusi yksilö risteytetään uudeleen vanhempain polven vanhempansa kanssa. Käytetään kasvinjalostuksessa.

tetraploidia, engl. *tetraploidy*

Autoploidian muoto, jossa haploidinen kromosomisto on nelinkertainen.

toksiini, engl. *toxin*

Myrkkyaaine, eräiden eliöiden (mikrobien, kasvien, sienten tai eläinten) aineenvaihdunnan myrkyllinen tuote.

torjunta-aine, engl. *biocide*

Yleisnimi synteettisille tai luonnontuotteille, joita käytetään tuhohyönteisten ja rikkakasvien sekä haitallisten sienten ja mikrobien torjuntaan.

triploidia, engl. *triploidy*

Autoploidian muoto, jossa haploidinen (perus)kromosomisto on kolminkertainen.

tsygootti, engl. *zygote*

Hedelmöitynyt munasolu.

tuma, engl. *nucleus, cell nucleus*

Solun toimintojen ohjauskeskus, perinnöllisyystä ja synteetitointia ohjaava solun osa, jossa mm. kromosomit sijaitsevat.

tumasukula, engl. *nuclear spindle*

Soikiomainen kaksinapainen säiekimppu, joka havaitaan solunjakautumisen aikana ja jonka tehtävänä on ohjata kromosomien liikettä ja soluliman jakautumista.

tymiini, engl. *thymine*

Yksi DNA-nukleotidien neljästä mahdollisesta emäsosasta.

vegetatiivinen lisääntyminen, engl. *vegetative reproduction*

Kasvullinen lisääntyminen; kasvien lisääntymisen suvuttomasti erilaisten leviäinten avulla.

vektori, kuljetin, engl. *vector*

1) Virus tai bakteerin plasmidi, johon siirrettävä geeni liitetään ja joka kuljettaa sen vastaanottajasoluun; 2) tartunnanlevittäjä (esim. verta imevä hyönteinen).

yhdistelmä-DNA, engl. *recombinant DNA*

DNA-molekyyli, johon keinotekoisesti on liitetty erilaisia, jopa toisesta lajista peräisin olevia DNA-jaksoja.

yksisirkkaiset, engl. *monocotyledons*

Yksisirkkaisten alkiossa on yksi sirkkalehti, kukkien perusluku on kolme ja lehtien suonitus yhdensuuntainen, johtojänteet ovat varressa hajallaan ja varsinainen sekundaarinen paksuuskasvu puuttuu. Tyypillisiä yksisirkkaisia ovat esim. lilja- ja heinäkasvit. Toista koppisiemenisten linjaa edustavat kaksisirkkaiset.

LIITE 2. LYHENTEET

APHIS	Animal and Plant Health Inspection Service (USA)
DNA	Deoksiribonukleiinihappo, ks. termistö
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
FAO	Food and Agriculture Organization
FDA	Food and Drug Administration (USA)
GM	Geenitekniikalla muunnettu
GMMO	Geenitekniikalla muunnettu mikro-organismi
GMO	Geenitekniikalla muunnettu organismi
ILSI	International Life Sciences Institute
ISAAA	International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
MTT	Maatalouden tutkimuskeskus
NIH	National Institute of Health (USA)
NSF	National Science Foundation (USA)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
rDNA	Yhdistelmä DNA, ks. termistö
RNA	Ribonukleiinihappo, ks. sanasto
STM	Sosiaali- ja terveysministeriö
STOA	Scientific and Technological Options Assessment (Euroopan parlamentin TA-yksikkö)
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TA	Teknologian arviointi, engl. Technology Assessment
UNEP	United Nations Environment Programme
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
USDA	US Department of Agriculture
VTI	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
WHO	World Health Organization
WTO	World Trade Organization
YM	Ympäristöministeriö

LIITE 3. INTERNET-LÄHTEITÄ

Tällä hetkellä monet järjestöt, viranomaiset ja kansainväliset organisaatiot hyödyntävät tiedotustoiminnassaan internetiä laajasti. Alla on listattu muutamia internetsivuja, joilta löytyy tietoa kasvi geenitekniikasta sekä eri tahojen kannanottoja.

AMICA	Advanced Molecular Genetics Initiative in Community Agriculture < http://www.mpiz-koeln.mpg.de/~amica/ >
APHIS	Animal and Plant Health Inspection Service (USA) < http://www.aphis.usda.gov/biotech/ >
ASM	American Society for Microbiology < http://www.asmtusa.org/newasm.htm >
BATS	Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Programme Biotechnology (Sveitsi) < http://www.eurospider.ch/BATS/data/german/k2titel.htm >
Belgian Biosafety Server	< http://biosafety.ihe.be/ >
Bioweb (Sveitsi)	< http://www.bioweb.ch >
Center for Agricultural and Rural development	< http://www.ag.iastate.edu/card/ >
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research < http://www.cgiar.org/ >
DGVI	Komission pääosasto VI (maatalous) < http://europa.eu.int/en/comm/dg06/index.htm >
DGXXIV	Komission pääosasto XXIV (kuluttajapolitiikka ja terveys) < http://europa.eu.int/en/comm/dg24/ >
EPA	Environmental Protection Agency (USA) < http://www.epa.gov >
Elintarvikevirasto	< http://www.elintarvikevirasto.fi/index.html >
Euroopan komission Suomen edustusto	< http://europa.eu.int/offices/fi/index.htm >
Euroopan parlamentin tiedotuspalvelu	< http://www.europarl.eu.int/press/en/default.htm >
FAO	Food and Agriculture Organization; YK:n ruoka- ja maatalousjärjestö < http://www.fao.org/ >
FAPRI	Food and Agricultural Policy Research Institute, Iowa State University (USA) < http://www.ag.iastate.edu/card/fapri/fapri98/frames.htm >
FDA	Food and Drug Administration (USA) < http://www.fda.gov/ >
Finfood	Suomalainen elintarvikealan uutis- ja informaatiopalvelu < http://www.finfood.fi/ >

Gen-ethisches Netzwerk (Saksa)
<http://www.inx.de/~usp/gen-gid.htm>

Genetic Concern (Irlanti)
<http://www.geocities.com/rainforest/vines/2767>

Greenpeace
<http://www.greenpeace.org/index.shtml>

Gentechnik in der Presse
<http://www.netlink.de/gen/Zeitung/>

IFIC Internatinal Food Information Council
<http://ificinfo.health.org/press/quest.htm>

IFPRI International Food Policy Research Institute
<http://www.cgiar.org/ifpri/#TOP>

INRA Institut National de la Recherche Agronomique (Ranska)
<http://www.inra.fr/>

ISAAA International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications
<http://128.253.183.94/>

Joint Research Center (Euroopan komissio)
http://biotech.jrc.it/breakdown_country.htm

KEPA Kehitysyhteistön palvelukeskus
<http://www.kepa.fi/etusivu.htm>

Kuluttajavirasto
<http://www.kuluttajavirasto.fi/>

Leisinger, K. M.
<http://www.cgiar.org/ifpri/2020/briefs/number35.htm>

MAFF Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (Iso-Britannia)
<http://www.maff.gov.uk/>

Monsanto
<http://www.monsanto.com/>

MTK Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto
<http://www.mtk.fi/>

MTT Maatalouden tutkimuskeskus
<http://www.mtt.fi/>

NIH National Institutes of Health (USA)
<http://www.nih.gov/>

Novartis
<http://www.novartis.com/agri/>

OECD Organization of Economic Co-operation and Development
<http://www.oecd.org/ehs/summary.htm>

OTA Office of Technology Assessment (USA)
<http://www.wws.princeton.edu/~ota/index.html>

Schomber, R. von
<http://www.itas.fzk.de/deu/TADN/TADN1296/schwer.htm#schwer5>

Suomalaiset puolueet
<http://www.webstudio.fi/Yhteiskunta/Puolueet.html>

Suomen ympäristökeskus
<http://www.vyh.fi/ympsuo/geenit/gentek.htm>

Tammilehto, O.
<http://www.helsinki.fi/~otammile/geeniyht.htm>

Teknologi Rådet (Tanska)
<http://www.ing.dk/tekraad/eng/index.htm>

UCS Union of Concerned Scientists
<http://www.ucsusa.org>

LIITE 4.

HAASTATELLUT JA KOMMENTOIJAT

Paavo Ahvenniemi
K-ryhmän koe tiä

Reino Aikasab
Bore a Suomen Kasvinjätös

Oila H
Geeniruokaforum i

Iho Aronen
Rehurasio Oy

Riikka Eä
Valtion tekniikkeneuvoimuskus

Lisa Eronen
Sokeryurikkään Tutkimuskus

Jaana Hallama
Heidän yliopisto

Saara Hassinen
Kemiantoluus ry

Heidi Hauta
Geeniruokaforum i

Topi Heikkeli
Heidän yliopisto

Seppo Heiskanen
Ei tarvitteoluus ry

Heikki Hokkanen
Heidän yliopisto

Simona Hovinen
Bore a Suomen Kasvinjätös

Matti Häyry
Heidän yliopisto

Leena Hömmö
Maa-jametsätaustaminiö

Sirkka Immonen
Maa-tuotetuimuskus

Kari Jokinen
Raisio Yhtymä Oy j

Johanna Juuse
Dodo ry

Raija Koivisto
VTT

Voitto Koskenmäki
Bore a Suomen Kasvinjätös

Anna-Liisa Kostinen
Kauppa-jatoluusminiö

Aarne Kurppa
Maa-tuotetuimuskus

Osmo Laine
Päivittäistavarakauppa ry

Veikko Launis
Turun yliopisto

Päivi Mannenkorpi
Maa-jametsätaustaminiö

Leena Mannonen
Ei tarvittevirasto

Ilkka Nieminen
Päivittäistavarakauppa ry

Pau Nyberg
Kauppa-jatoluusminiö

Kirsi-Marja Oksanen-Calden
VTT

Leena Packalen
MTK ry

Eija Rehu
Heidän yliopisto

Leena Rietiä
Bore a Suomen Kasvinjätös

Jyri Rieäjärvi
Suomen ympäristökeskus

Eija Riikinen
Cu tor

Matti Ruomata
Maa-tuotetuimuskus
Kari Ruukko
AgrEvo

Kyösti Raininko

Sokeryurikkään Tutkimuskus

En Rapinaja
Kauppa-jatoluusminiö

Olli Reko
Maa-jametsätaustaminiö

Marja Ruohonen-Lehto
Suomen ympäristökeskus

Jukka Sahiniitty
Ei tarvitteoluus ry

Ima Saavuori
Sosiaalijärveysminiö

Markku Suojanen
MTK ry

Mirja Suurnäkki
Maa-jametsätaustaminiö

Hans Söderlund
VTT

Riitta Tainio
Suomen Kuiduttajaliitto ry

Jussi Tammi
Maa-jametsätaustaminiö

Aimo Tiihtainen
Heidän yliopisto

Heidi von Troil
Bioteknikan neuvotteijunta

Unto Tuusab
Mido Oy

Kirsi Törmäkangas
VTT

Juha Villi
Bore a Suomen Kasvinjätös

