

Kasvinjalostus 2000-luvulla

(Kirsi Lehto, Biotieteet ja geeniteknologia -seminaari, Turku 10.2.2001)

Kasvien jalostus ennen

Kasvinjalostuksella on pitkät perinteet: jo varhaiseen kasvinviljelyyn liittyi parempien ja sopivampien viljelykasvien valinta. Varhaiset viljelykasvit sisälsivät vielä paljon geneettistä vaihtelua, joka tuotti runsaasti uusia ominaisuuksia valittavaksi. Kun risteytysjalostus otettiin käyttöön 1800-luvun loppupuolella, voitiin sen avulla uudelleen yhdistellä eri kasvinlinjojen välisiä ominaisuuksia. Jalostusmateriaalien geneettistä vaihtelua on lisätty mm. käsittelemällä kasveja tai kasvisolukkoja vahvoilla mutageeneilla, (muutoksia perinnöllisessä aineksessa aiheuttavia tekijöitä) jotka aiheuttavat runsaasti sattumanvaraisia geenimuutoksia. Jalostuksessa on voimakkaasti hyödynnetty myös keinotekoisia lajiristeymiä ja kasvien kromosomistojen moninkertaistamista kemikaalikäsittelyjen avulla, sekä siitepöly-steriilisyteen perustuvia puhtaiden kasvinlinjojen välisiä risteytyksiä. 1950-luvulla saavutettiin poikkeuksellisen suotuisia jalostustuloksia sellaisten viljakasvien mutanttimuotojen avulla, jotka vähensivät voimakkaasti kasvien pituuskasvua. Tämän ansiosta viljakasvit alkoivat kestää hyvin voimaperäistä viljelyä, eli voimakasta lannoitusta ja kastelua, jotka johtivat satotasojen suureen nousuun. Ns. vihreän vallankumouksen aikana mm. vehnän ja maissin satotasot nousivat jopa kymmenkertaisiksi perinteisiin lajikkeisiin verrattuna. Tämän huiman tuotantotason nousun ansiosta ravintoa on riittänyt maailman jatkuvasti lisääntyneelle väestölle.

Nykyinen tehokas maatalous ja viljelykasvien korkeat satotasot perustuvat pitkälliseen kasvinjalostustyöhön, mutta myös sen rinnalla kehittyneeseen tuotantoteknologiaan, eli ravinteiden riittävään käyttöön, tehokkaaseen kasvinsuojeluun, tuotannon voimakkaaseen koneellistamiseen ja -ainakin kuivemmilla alueilla, viljelysten riittävään kasteluun makealla vedellä. Nykyisiä kasvintuotantomenetelmiä ja niiden tulevaisuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon, että jo sadan vuoden ajan kasvinviljely on kehittynyt 'teknokraattiseen' suuntaan. Se on kehittynyt jo hyvin erilaiseksi ns. luonnollisista ekosysteemeistä, ja nykyisiä satotasoja voidaan tuottaa vain pitkälle muokatuissa agro-ekosysteemeissä. Tämä kehitys on nostanut satotasoa valtavasti, mutta sillä on ollut myös haitalliset sivuvaikutuksensa. Viljelyksille lisättävistä ravinteista osa huuhtoutuu ympäristöön ja aiheuttaa mm. suurimman yksittäisen ravinnekuormituksen suomalaisiin vesistöihin. Myös kasvinsuojeluaineista osa päättyy viljelysten ympäristöön, eli pieneliöstöön ja ravintoketjuihin. Itse viljelykasvilajikkeet ovat myös erittäin alttiita erilaisille ympäristöriskeille ja tauti- ja tuholais-epidemioille.

Tulevaisuuden kasvinjalostuksen tavoitteet ja haasteet

Tulevaisuuden kasvinjalostuksen tavoitteet ovat pitkälti tuttuja perinteisiä: pyritään parempiin satotasoihin, kasvien viljelyvarmuuden parantamiseen eli tautien ja tuholaisien kestävyys lisäämiseen sekä kasvien sopeuttamiseen uusiin ympäristöoloihin. Monissa jalostusohjelmissa pyritään myös kasvituotteiden käyttöominaisuuksien, esim. teollisten prosessointiominaisuuksien parantamiseen, tai uusien, terveellisempien kasvituotteiden tuottamiseen. Kasvinjalostuksen haasteena on myös nykyiseen kasvintuotantoon liittyvien ongelmien, eli esimerkiksi ravinteisiin ja kasvinsuojeluaineisiin liittyvien ympäristöhaittojen vähentäminen. Perinteisen jalostustyön myötä, nykyisten kasvilajikkeiden vakiintuessa suurin osa ko. kasvilajien geneettisestä vaihtelusta on kuitenkin jo menetetty – on päädytty "eliitti-lajikkeisiin" joita ei enää pystytä paljoo muuttamaan tai parantamaan perinteisten menetelmien avulla. Mainittujen tavoitteiden toteuttamiseen tarvitaankin

uusia menetelmiä, eli kasvibioteekniikkaa. Bioteekniikan avulla voidaan kasvinjalostuksessa toteuttaa myös aivan uusia tavoitteita, eli esimerkiksi kokonaan uusien tuotteiden, esimerkiksi lääkkeiden tai biohajoavien muovien tuottaminen viljelykasveissa.

Kasvibioteekniikka - mitä se on?

Kasvibioteekniikka ei ole mikään oma, erillinen tutkimusala, vaan erilaisten biologisten perustutkimus- ja soveltavien tutkimusalojen poikkitieteellinen yhdistelmä. Kasvibioteekniikassa tehdään molekyylibiologian menetelmin kasvifysiologian, genetiikan, mikrobiologian ja elintarviketieteen perustutkimusta, ja sovelletaan sen tuottamien tuloksia esim. kasvinjalostukseen, kasvinsuojeluun ja kasvintuotantoon.

Kasvibiotekninen perustutkimus sisältää useita erilaisia painopistealueita. Eräs tärkeimmistä tutkimusalueista on kasvigeenien toimintojen tunnistaminen ja tutkiminen. Geenitoimintatutkimuksissa paljon käytetty mallikasvi on lituruoho, jonka koko genomi on jo sekvenoitu. Lituruohon kaikkien geenien sekvenssit, eli sen DNA:n kaikkien nukleotidien järjestys on siis saatavana tietopankeista, mutta toistaiseksi vain pieni osa geenien toiminnoista tai niiden säätelyjärjestelmistä tunnetaan. Lituruohosta on saatavana laajoja keinotekoisia mutanttikirjastoja, joista eri geenitoimintojen muuntuneita muotoja voidaan tunnistaa ja tutkia. Geenitoimintoja voidaan myös hiljentää esim. kasvivirusien avulla, ja tämän jälkeen havaita, miten ko. geeni vaikuttaa kasvin ominaisuuksiin. Tehokkain menetelmä kasvien geenitoimintojen tunnistamiseen ovat ns. geenilastut tai DNA-sirut, jossa yhden pitkälle automatisoiden analyysin avulla voidaan samanaikaisesti tunnistaa 10 000 eri geenin ilmeneminen yhdessä näytteessä. Tämä analytiikka on kuitenkin erittäin työlästä ja kallista.

Toinen kasvibioteekniikan keskeinen tutkimusalue on bio-informatiikka. Bioteekniikka perustuu pitkälti sekvenssitietojen analysointiin, vertailuun ja tunnistamiseen - jos uusi geenisekvenssi havaitaan samankaltaiseksi jonkun aiemmin tunnetun sekvenssin kanssa, tiedetään että ko. geenien toiminnot ovat samat tai ainakin samantapaiset. Eri eliöiden geenitoimintoja – samoin kuin kokonaisia biosynteesireittejä – voidaan tunnistaa ja vertailla täysin tietokonepohjaisesti. Sekvenssi-analytiikassa käytetään ja vertaillaan tietoja hyvin suurista tietopankeista, ja tämä vaatii tehokasta tietokonekapasiteettia. Bioteekniikka onkin meteorologian, ydinfysiikan ja tähtitieteen ohella yksi suurimpia tietokoneiden käyttäjiä.

Perus- ja soveltavan tutkimuksen välimaastossa kasvibioteekniikka liittyy läheisesti myös elintarviketutkimukseen: Useimmat kasvituotteet käytetään elintarvikkeiksi, ja elintarviketieteen ja kasvinjalostuksen yhteisenä tavoitteena on tuottaa entistä terveellisempiä elintarvikkeita. Haluttuja terveysominaisuuksia voidaan hakea nykyisin mistä tahansa kasvilajeista tai lajikkeista. Jos haluttuja ominaisuuksia löydetään, kasvibioteekniikan avulla voidaan määrittää mihin geenitoimintoihin nämä ominaisuudet liittyvät, ja siirtää ko. geenit viljeltyihin kasvilajikkeisiin.

Siirtogeenien käyttö kasvinjalostuksessa

Geeni siirtomenetelmät ovat kasvibioteekniikan merkittävin sovellutusalue. Agrobakteerivälitteinen geeni siirtomenetelmä kehitettiin 1980-luvun alkupuolella, ja jo samalla vuosikymmenellä siirrettiin ensimmäiset yksittäiset hyötygeenit viljelykasveihin. Ensimmäiset siirtogeenit olivat yksinkertaisia kestävyysgeenejä, jotka antoivat kestävyyttä rikkakasvihävitteitä, tuhohyönteisiä tai viruksia vastaan.

Kehittelytyön alla tällä hetkellä on kuitenkin valtavan suuri määrä uusia, eri tyyppisiä siirtogeenisiä kasvilinjoja, joissa siirtogeenit tuottavat hyvin erilaisia hyötyominaisuuksia. Euroopan unionin alueella on nyt käynnissä olevissa kenttäkokeissa testattavana mm. runsaasti uusia kasvilajeja, joihin on siirretty edellä mainittuja kestävyysgeenejä. Kokeissa on myös paljon kasvilajeja, joihin on siirretty geenejä jotka antavat kestävyyttä esim. kylmää, kuivuutta tai maaperän korkeaa suolapitoisuutta vastaan, kasveja joiden pituuskasvu on rajoitettu siten että kasvutuotteet ohjautuvat tehokkaammin siementen tuottamiseen, ja kasveja joiden typpiravinteiden käyttökykyä tai biologista typensidontaa on tehostettu. On ilmeistä, että mainitut kasvit tulevat entistä paremmin kestämaan kasvitauteja, sopeutumaan ympäristöstresseihin ja käyttämään tehokkaammin hyväkseen maaperän ravinteita.

Kokeissa on myös siirtogeenisiä kasveja, joiden sokeri- tai tärkkelyskoostumusta on muutettu. Tällä tavalla on voitu esim. parantaa ohran mallastumisominaisuuksia, tai muuttaa perunan tärkkelystä siten, että se paremmin soveltuu erilaisiin käyttötarkoituksiin. Myös perunan mustumisreaktio kolhiintumisen seurauksena on voitu eliminoida, ja esim. tomaatin pehmenemistä varastoinnin aikana vähentää. Kasvien terveystauteja on parannettu esim. siten, että ihmisille välttämättömien aminohappojen, eli lysiinin ja metioniinin määrää on nostettu vilja- ja palkokasveissa. Kasvien tuottamat karotenoidit ovat ihmisille tärkeitä vitamiineja ja antioksidantteja, ja myös näiden yhdisteiden, samoin kuin raudan määrää kasveissa on voitu nostaa. Öljykasvien rasvahappokoostumusta on voitu muuttaa terveellisemmäksi siten, että niiden tyydyttämättömyysastetta on nostettu.

Kasveista voidaan tuottaa myös uudenlaisia 'dieetit tuotteita', mm muuttamalla osa perunan tärkkelyksestä fruktaanisokereiksi, jotka eivät sula ihmisen ruuansulatuksessa. Koristekasveja on muutettu siten, että niiden lakastuminen leikkokukkana hidastuu, ja kukkien kukanväriä on muutettu. Kasveissa pyritään tuottamaan lääkkeitä ja esim. biohajoavien muovien raaka-aineita. On myös kehitetty kasveja, jotka sitovat raskasmetalleja saastuneesta maaperästä.

Tällä hetkellä hyväksytyjä kenttäkokeita Euroopassa on käynnissä yhteensä n. 1650. Eniten kokeita on käynnissä Ranskassa (n. 440), Italiassa (n. 275) ja Englannissa (205). Suomessa hyväksytyjä kenttäkokeita on käynnissä 19. Tiedot löytyvät Euroopan unionin biotekniikkatilastoja sisältäviltä kotisivuilta.

Siirtogeenisten kasvien viljely

Siirtogeenisiä kasveja on viljelty peltomittakaavassa vuodesta 1990 lähtien; viljelyksessä on ollut siirtogeenistä maissia, puuvillaa, soijaa ja rapsia, sekä pienempiä aloja muita kasvilajeja, joissa siirtogeenit antavat kestävyuden joko rikkaruohohävitteitä, tuhohyönteisiä tai virustauteja vastaan. Näiden kasvien viljelyalat ovat lisääntyneet vuosittain niin, että v. 1999 niitä viljeltiin jo n. 44 miljoonan hehtaarin alueella – suurin osa tästä viljelyalasta oli Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Euroopassa viljelyksessä on ollut vain pieniä aloja siirtogeenistä maissia ja rapsia, joissa siirtogeenit antavat resistenssin rikkaruohohävitteitä tai tuhohyönteisiä vastaan.

Siirtogeenisten kasvien viljely yleistyi Pohjois-Amerikassa hyvin nopeasti siksi, että kyseiset siirtogeeniset ominaisuudet paransivat oleellisesti niiden viljelyominaisuuksia (rikkakasvien ja tuhohyönteisten torjuntaa) ja paransivat satotasoa joitakin prosentteja. Viimevuosina siirtogeenisen sadon markkinointi on kuitenkin osoittautui ongelmalliseksi, ja tämän seurauksena niiden viljelyala laski jonkun verran vuonna 2000. Markkinoinnin vaikeus liittyy Euroopan unionin tuontirajoitukseen ja kuluttajien kielteisiin mielipiteisiin.

Siirtogeenisiin kasveihin liittyviä ongelmia ja avoimia kysymyksiä

Yleisön taholla suurimpia siirtogeenihin liittyviä ongelmia on se, että geenisiirtoteknologian katsotaan olevan epäluonnollista ja siksi vaarallista tai eettisesti arveluttavia. Agrobakteerivälitteinen geenisiirtomenetelmä on kuitenkin luonnollinen, bakteereissa esiintyvä toiminto - geenien siirtymisen bakteereista kasvisoluihin on osa agrobakteerien normaalia infektiomekanismia. Geenien vaihtoa eri lajien välillä, sekä genomien muuntelua mutaatioiden kautta tapahtuu luonnossa monilla erilaisilla menetelmillä. Erityisesti perinteinen kasvinjalostus on muokannut viljelykasvien genomeita niin voimakkaasti, että ne jo nykyisin ovat täysin erilaisia kuin näiden lajien viltteillä kantamuodoilla. Näin ollen uusien geenien siirtäminen kasvisolukkaan ei sinänsä ole epäluonnollista eikä uutta.

Siirtogeenien hyöty- tai haittavaikutuksista ei voida tehdä mitään yleistyksiä, koska kullakin geenillä ja geenituotteella on omat spesifiset vaikutuksensa. Solut tai kasvit joihin uusi geeni on siirretty poikkeavat alkuperäisestä solukosta vain kyseisen geenin toiminnan osalta, ja näin ollen riippuu pelkästään tästä geenistä, ovatko sen vaikutukset kuluttajille tai ympäristölle hyödyllisiä vaiko haitallisia – tai onko sillä mitään vaikutuksia. Viljelykseen otettujen ja elintarvikkeiksi hyväksyttyjen siirtogeenisten kasvien terveysvaikutukset on kaikki hyvin tarkasti testattu, joten kuluttajien kannalta niiden käyttöturvallisuus on ainakin yhtä hyvä tai jopa huomattavasti parempi kuin useiden muiden elintarvikkeiden. Eräs riskitekijä, joka tällä hetkellä liittyy siirtogeenitekologiaan - eli antibioottiresistenssigeenien käyttö siirtogeenisten linjojen valinnassa – on jo tällä hetkellä korvattavissa uudella, riskittömällä menetelmällä. Tämän hetken geenisiirtoteknologia onkin vielä ns. 'ensimmäisen sukupolven teknologiaa', joka varmasti tulee kehittymään vuosien mittaan entistä paremmaksi.

Kannanotot siirtogeenien ympäristövaikutuksista lienevät toistaiseksi lähes kokonaan arvailujen varassa, sillä mitään laajamittaisia tai pitkäaikaisia ympäristövaikutuskokeita näillä kasveilla ei ole vielä tehty. Joitakin pieniä kokeita on tehty, mutta pienten, laboratorio-olosuhteissa tehtyjen ja epäluonnollisia ekologisia vuorovaikutuksia testaavien kokeiden tulokset voivat olla kuitenkin täysin harhaanjohtavia. Esimerkiksi kokeellinen osoitus siitä, että Bt-siirtogeenisen maissin (siirtogeeninen kasvi, joka itse tuottaa tietuille hyönteisille haitallista myrkyä) siitepöly oli haitallista monarkkiperhosille ei ole kovinkaan relevantti tulos siksi, että luonnossa monarkkiperhoset eivät ollenkaan syö maissin siitepölyä, ja toisaalta, maissin tuholaisen torjuminen siirtogeenien avulla voi olla monarkkiperhosille huomattavasti edullisempaa kuin nykyinen pestisidien voimakas käyttö. Siirtogeenisten kasvien ympäristövaikutuksia tulisikin testata ottaen huomioon niiden erilaisia vaikutuksia mahdollisimman laajasti ja monipuolisesti.

Vertailevissa tutkimuksissa tulisi huomioida myös siirtogeenisten kasvien vaikutukset sadon tuottoon ja viljymenetelmiin, ja tuotettua satoyksikköä kohden laskettua ympäristön kokonaisrasitusta tulisi verrata nykyisten viljelymenetelmien (tai muiden vaihtoehtoisten menetelmien) aiheuttamiin kokonaisrasituksiin. Edelleen, ympäristövaikutukset pitää selvittää kullekin siirtogeenille erikseen - kullakin niistä tulee olemaan omat vaikutuksensa, jotka voivat olla joko haitalliset tai hyödylliset.

Suurimpia siirtogeenitekologiaan liittyviä kysymyksiä lienee niiden sosio-ekonomiset ja tuotantotaloudelliset vaikutukset. Toistaiseksi kaikki viljelyksessä olevat siirtogeeniset lajikkeet ovat suurten, monikansallisten agro-bisnes yhtiöiden kehittämiä ja omistamia , ja tämä lienee tilanne vielä tulevaisuudessakin, sillä näiden kasvilajikkeiden kehittäminen ja markkinoille saattaminen edellyttää hyvin suuria investointeja. Kaikkien kallein vaihe tässä prosessissa on uusien tuotteiden turvallisuus- ja haitattomuustestaukset , ja näin ollen juuri tämä prosessi tulee määräämään sen, että vain

kaikista suurimmalla pääomalla on varaa tuoda näitä tuotteita markkinoille. On kuitenkin kyseenalaista, onko suurteollisuudella kiinnostusta kehittää 'yleishyödyllisiä' kasvituotteita, eli esim. erityisen ympäristöystävällisiä viljelykasveja, tai kasveja kehitysmaiden ravintohuollon tarpeisiin. Olisi-kin erityisen tärkeää, että edes tietty osa tutkimuksesta, tuotekehittäystä ja uusien tuotteiden testauksesta tehtäisiin julkisin varoin, tavoitteena tuottaa uusia kasvilajeja, joiden viljely olisi yhteiskunnallisesti edullisempaa, eli esimerkiksi kasveja, joiden viljely olisi ekologisempaa, joiden ravintoarvo olisi entistä parempi, tai joiden viljelyvarmuus (esim. tautien, kylmän tai kuivuudenkestävyys) olisi parempi, ja jotka voisivat turvata kehitysmaiden ravintohuoltoa.

Kasvivirologian dosentti Kirsi Lehto työskentelee Turun yliopiston Biologian laitoksen Kasvifysiologian ja molekyylibiologian osastolla. Artikkelin perustuu hänen pitämäänsä esitelmään Vihreän liiton valtuuskunnan seminaarissa "Biotieteet ja geeniteknologia" Turussa 10.2. 2001.