

Kasvinjalostus ja sen ympäristövaikutukset

27.3.2000 Esitelmä Lääkäriiliiton seminaarissa. Jussi Tammissola, dos.

Jalostus muuttaa perimää

Maanviljely on soveltavaa ekologiaa, jonka tarkoituksena on manipuloida pellon ekosysteemiä niin, että pellon kasvien tuotanto saadaan ihmisen käyttöön. Jalostus taas on tuotantoeliön perinnöllisten ominaisuuksien muuttamista ihmisen toivomaan suuntaan. Kasveja on viljelty ja jalostettu 12 000 vuoden ajan. Tänä aikana kasvien käyttökelpoisuus ihmiselle on parantunut ratkaisevasti. Viljelykasvien satomäärät ovat alkumuotoihin verrattuna nousseet usein 10-30-kertaisiksi, mistä puolet lasketaan viljelymenetelmien edistymisen, puolet kasvinjalostuksen ansioksi. Samalla ihmiselle haitalliset aineet kasveissa ovat vähentyneet. Muinaisihmisen päivä kului ravinnon keräilyssä. Kun maanviljelyn kehittyessä ruokaa alettiin saada yli oman tarpeen, tuli työnjakoon ja vaihdantaan perustuvien, nykyaikaisten kulttuurien syntyminen mahdolliseksi.

Jalostuksen taide: tuntemattomia mutaatioita tienposkesta

Jalostuksessa hyödynnetään eliöiden perinnöllisiä eroja. Luonnon koko perinnöllinen monimuotoisuus eli geneettinen diversiteetti perustuu pohjimmiltaan perimässä tapahtuviin sattumanvaraisiin virheisiin eli mutaatioihin, ja niiden yhdistelmiin. Aluksi kasvinjalostus oli mutanttiyksilöiden etsimistä kasvustoista ulkonäön perusteella ja ottamista viljelykäyttöön (valintajalostus). Vasta 300 vuotta on osattu yhdistää eri mutaatioita risteyttämällä uusiksi lajikkeiksi (risteytysjalostus). Ns. kaukoristeytyksillä on pyritty tuomaan viljelykasveihin hyötyominaisuuksia myös villeistä lähilajeista. Itse asiassa monet viljelykasvit ovat alunperin kehittyneet eri kasvilajien risteytymisestä - esim. vehnä on kolmen eri heinälajin risteytymä. Uusia mutaatioita on jo 50 vuoden ajan saatu aikaan erilaisilla fysikaalisilla ja kemiallisilla käsittelyillä (mutaatiojalostus).

Perinteisissä jalostustavoissa on ongelmana, että käyttöön tulevia mutaatiota ei ollenkaan tunneta. Itse asiassa jokaista toivottua muutosta kohden syntyy mutaatiojalostuksessa aina kymmeniä tuhansia tuntemattomia, kenties epäsuotavia muutoksia. Puutteistaan huolimatta mutaatiojalostusta on kuitenkin voitu käyttää apuna yli 1500 uuden ravintokasvilajikkeen kehittämisessä - ilman ihmiselle tai ympäristölle koituneita haittoja. Kaukoristeytyksissä taas siirtyy villilajista tavoitellun geenin ohella aina myös tuhansia ei-toivottuja genejä, jotka alentavat viljelykasvin käyttökelpoisuutta. Niiden määrää kasvissa voidaan kyllä vähentää risteyttämällä jälkeläiset sukupolvi sukupolvelta aina takaisin viljelykasvin kanssa, mutta kaikista tuntemattomista siirtyneistä geneistä ei voida päästä eroon.

Kasvinjalostus geenitiedon sarastaessa

Uudessa kasvinjalostuksessa sovelletaan perinteisten jalostustapojen lisäksi myös jalostusta nopeuttavia kasvibioteekniikan menetelmiä (esim. siitepölyviljelyä ja mikrolisäystä) sekä uutta geenitietoa. Geenitekniikan avulla geenitieto viedään sovelluksiin. Tällöin voidaan saada aikaan tarkempia ja hallitumpia muutoksia kasvin perimään kuin ennen oli mahdollista, mistä syystä puhutaan usein myös täsmäjalostuksesta. Toisin kuin perinteisessä risteytysjalostuksessa, haluttu geeni tai geenimuoto tunnetaan yksityiskohtaisesti ja voidaan siirtää lajikkeeseen puhtaana. Evoluutiossa testattua geenitietoa pyritään etsimään niin läheltä viljelykasvia kuin mahdollista, usein kasvista itsestään. Kasvin haitallisia genejä voidaan sammuttaa tai muokata, ja hyödyllisten geenien toimintaa tehostaa. Geenitiedon karttuessa yli 10 000 villin heinäkasvilajin geenivaranto nou-

see arvoon arvaamattomaan monimuotoisuuden lähteenä, jalostettaessa terveyttä, kestävyyttä, tuotelaatua ja ympäristöystävällisiä viljelyominaisuuksia viljakasveilla.

Geenitieto on räjähdysmäisessä kasvussa. Monien tärkeiden eliöiden perimän eli genomien rakenne on selvitettävänä laajoissa kansainvälisissä ohjelmissa, joissa eliön perintöaineuksen emäsjärjestys määritetään viimeistä DNA-jaksoa myöten. Perimän rakenne on kartoitettu pääosin jo sadoilta viruksilta, ja käytännössä kokonaan kymmeniltä mikrobeilta (joukossa bakteereita, arkki- ja sinibakteereita, leivinhiiiva sekä malarialoiso) sekä sukkulamadolta ja banaanikärpäseltä. Vuoden 2000 kuluessa valmistuneen ensimmäisen mallikasvin (lituruoho eli *Arabidopsis*) kuin todennäköisesti myös ihmisen geenikartta. Lituruohosta kertyvä tieto on sovellettavissa laajasti ainakin kaikille kaksisirkkaisille kasveille - kukkakasvithan kehittyivät vasta 150 milj. vuotta sitten, joten ne ovat melko läheistä sukua toisilleen. Viljakasveista riisillä on käynnissä laaja ohjelma (mm. Japani, USA, Intia) koko perimän selvittämiseksi. Kun eliön geenit on kirjattu, voidaan siirtyä selvittämään laajassa mitassa niiden toimintaa ja luontaista säätelyä.

Maatalouden ympäristövaikutukset

Maatalouden eliöt eivät itsessään ole juurikaan olleet ympäristölle uhkana. Kesykanat eivät ole valanneet luontaisen linnuston pesimäalueita, eikä viljelty peruna ole muodostunut maanvaivaksi luonnon ekosysteemeissä. Maatalous vaikuttaa ympäristöön ensi sijassa tuotantomenetelmiensä välityksellä.

Maatalouden suurimmat ympäristövaikutukset ovat epäilemättä aiheutuneet monien luonnon ekosysteemien valtaamisesta viljelykäyttöön. Etelä-Suomen parhaat lehdot on jo kauan sitten muokattu pelloiksi. Viimeisiä sademetsiä poltetaan laajassa mitassa mm. köyhien viljelijöiden tarpeisiin. Biologisen monimuotoisuuden keskittymiä raivataan heikkotuottoisiksi kaskimaiksi tehottomaan, alkukantaiseen viljelyyn.

Pohjolan kukkaniittyjen nousu ja tuho

Pohjolan kukkakedot, niityt ja ahot ovat värittäneet maisemaamme suurelta osin ihmisen toiminnan seurauksena. Muinoin käytössä oli kaskiviljely, luonnonniittyjä (myrkkukasveineen) niitettiin eläinten talvirehuksi, ja kotieläimet ajettiin laiduntamaan metsissä, niityillä, ahoilla ja hakamailla.

Viime vuosisadan kuluessa maatalous on muuttunut. Kaskiviljelystä on luovuttu. Eläinten ravitsemusta ja tuotelaatua on parannettu, jolloin luonnonniittyjä ei enää juuri hyödynnetä. Ihmisvaikutuksen vähentyessä Pohjolan kukkaniityt ovat palaamassa lähemmäs luonnontilaa, ts. kasvamassa umpeen. Valtaosa niistä (yli 90%) on jo hävinnyt. Paremmat uudet lajikkeet olivat toki mukana luomassa edellytyksiä nykyaikaiselle maataloudelle. Lajisto muuttuu ympäristön mukana. Muuten ei kasvinjalostuksella - uudella tai vanhalla - ole kukkaniittyjen katoamiseen ollut osaa eikä arpaa.

Pelto ja pensasaita

Englanti on hävittänyt luontonsa kauan sitten - maasta on 75% peltoa. Pelto ja pensasaita ovat englantilaisen ”luonto”. Voi vaikuttaa makaaberilta, mutta sikäläisessä luontokeskustelussa kiistellään, saako viljelmältä torjua rikkakasveja. Sivusta katsoen näyttäisi, että maata voisi kohtuullisessa mitassa irrottaa ”alkuperäisen” luonnon palauttamiseen. Siihen uskoisi olevan mahdollisuuksia ainakin, jos viljelyssä käytetään tehokkaita ja ympäristöystävällisiä lajikkeita ja viljelymenetelmiä.

Kestävyys vähentää myrkkynuiskutuksia

Banaaniplantaaseilla saavat tuhannet työntekijät vuosittain myrkytyksiä torjunta-aineiden toistuvista ruiskutuksista. Tautien ja tuholaisen paine on tropiikissa kova eikä asiallisia suojaruukkeita juuri käytetä ruiskutuksissa ilmaston ja köyhyyden vuoksi. Modernin biotekniikan avulla jalostetaan kuitenkin jo pahimmille kasvitaudeille vastustuskykyisiä 'biobananeja', jolloin ruiskutuksia tullaan tarvitsemaan vähemmän.

Erilaiset sieni- ja bakteeriperäiset ruoste- ja poltetaudit aiheuttavat suuria sadonmenetyksiä riisillä ja muilla viljoilla, ja niiden torjunnassa tarvitaan epäsuotavia ja kalliita kemikaaleja. Virukset, joita mm. kirvat levittävät, voivat eräillä alueilla aiheuttaa lähes täydellisen kadon vanhoilla riisilajikkeilla, jolloin kirvoja on pakko torjua toistuvilla myrkkynuiskutuksilla. Villeistä riisin sukulaislajeista on jo onnistuttu geenitekniikalla siirtämään kestävyysgeenejä riisiin sekä polte- että virus-tauteja vastaan. Kestävillä uusilla lajikkeilla viljelijä saattaa saada jopa kymmeniä prosentteja paremman sadon, kadon uhka pienee eikä ruiskutuksia tarvita.

Puuvillan tärkeimpiä tuholaisia vastaan kestävä Bt-puuvillalajikkeet ovat vähentäneet Yhdysvalloissa ruiskutuksia vuosittain miljoonilla myrkkylitroilla, ja samanlaisia tuloksia on saatu myös kinaalalaisista lajikkeista. Etelä-Afrikan puuvillaviljelmät joudutaan tavallisesti ruiskuttamaan hyönteismyrkyllä 14 kertaa, mutta uusilla lajikkeilla selvittää kolmella ruiskutuskerralla. Tämä vähentää suuresti paitsi ympäristöön myös viljelijään kohdistuvaa myrkkyrasitusta. Zuluille yksi ruiskutuskerta on merkinnyt 25 kilometrin kävelyurakkaa reppuruiskulla sumuttaen.

Kestäviin kasveihin perustuva torjuntastrategia on ympäristölle haitattomampi kuin perinteiset myrkkynuiskutukset myös sen ansiosta, että torjunta kohdistuu yleensä paljon tarkemmin nimenomaan kasvin kimppuun käyvään tuholaiseen. Ruiskutukset sensijaan tavallisesti tappavat valikoidutta pellolla liikkuvia hyödyllisiäkin eliöitä.

Rikkahävitettä sietäviä lajikkeita viljeltäessä voidaan rikkakasveja torjua tilanteen saneleman tarpeen mukaan, jolloin on mahdollista selvittää kaikkiaan pienemmällä torjunta-ainemäärillä. Vanhoista maahan sekoitettavista, usein pitkävaikutteisista ja myrkyllisistä rikkakasvihävitteistä siirrytään samalla uusiin, yleensä nopeammin hajoaviin ja vähemmän toksisiin valmisteisiin. Entiseen viljelytapaan verrattuna tämä rasittaa usein vähemmän ympäristöä ja voi parantaa pellon eliöstön biologista monimuotoisuutta.

Evoluutio murtaa kestävyden

Jokainen kehitetty suoja-aine on ajan mittaan murrettavissa evoluution tuloksena, oli sitten kysymys torjunta-aineista, lääkkeitä tai geeneihin perustuvasta kestävydestä. Seurauksena ei kuitenkaan ole "super" tuholaisen tai -taudinaiheuttajan syntyminen vaan paluu lähtöruutuun ko. suoja-aineen osalta. Uudistuneet tuholaiset eivät ole sen hyökkäävämpiä tai aiheuta pahempia vaurioita kuin aikanaan ennen suoja-aineen käyttöön tuleminen.

Kyseessä on päättymätön kilpajuoksu luonnon kanssa. Perinteisessä kestävyysjalostuksessa viljakasvin vastustuskyky tiettyä sienitautitrotua vastaan säilyy tyypillisesti alle vuosikymmenen. Kestävyyden murtuminen on usein sitä nopeampaa (todennäköisempää), mitä suuremmissa mitta-kaavassa kestäviä eliöitä hyödynnetään. Siksi pyritään löytämään "hyvän käytön sääntöjä", joiden

avulla käytön suomat edut voidaan saada kaikkien ulottuville mutta onnistutaan samalla säilyttämään arvokas suojakeino mahdollisimman pitkään käyttökelpoisena.

Geenitekniikalla jalostettu kestävyys ei murru sen nopeammin kuin vanhemmilla menetelmillä jalostettu, paremminkin päinvastoin.

Tuottavuus säästää luontoa

Jotta kehitysmaat voisivat turvata kasvavan väestönsä oikeutetut ravintovaatimukset, olisi viljakasvien satoisuuden arviolta kaksinkertaistuttava v. 2020 mennessä. Lisäksi ruuan terveydellistä laatua olisi voitava parantaa. Uuden jalostuksen avulla on jo kehitetty esim. ”kultainen riisi”, joka jyvät sisältävät A-vitamiinin esiastetta ja rautaa, proteiinerikas bataatti, sekä viruksenkestävä papaija ja riisi. Kehitteillä on myös huonoissa oloissa selviäviä sekä vähemmän vettä ja lannoitteita vaativia lajikkeita. Veden puutehan on jo monin paikoin nousemassa kansojen väliseksi kiistakysymykseksi. Papaija ja riisi on jalostettu sietämään kolmannen maailman alumiinimaita, kasvien ravinteidenottoa on onnistuttu tehostamaan, ja tutkijat ovat myös löytäneet kuivan-, kylmän- ja suolankestävyyden genejä.

Ylikansoitetuilla alueilla patoutuvaa painetta jäljellä olevien luonnonalueiden ottamiseksi viljelyyn voidaan hillitä ainoastaan, mikäli ravinnon tuotantoa kehitysmaiden nykyiseltä peltoalalta onnistutaan tehostamaan riittävästi.

Eroosio saadaan aisoihin

Eroosio eli hedelmällisen pintamaan hupeneminen saasteeksi vesistöihin on maatalouden vakavimpia ympäristöongelmia. Eroosiota kiihdyttää maanpinnan rikkominen kyntämällä. Maissikoisankestävän maissin ja rikkahävitettä sietävien soijalajikkeiden vuoroviljelyssä selvittää nyt kuitenkin lähes kokonaan ilman kyntämistä. Uutta viljelytapaa käytettäessä eroosio vähenee jopa kymmenesosaan perinteisten lajikkeiden viljelyyn verrattuna. Tämä nähdäänkin näiden uusien soijalajikkeiden tärkeimmäksi ympäristöeduksi.

Jalostettu ominaisuus ratkaisee

Hyötyjen ja haittojen kannalta keskeistä ovat eliöön jalostetut geenit ja niiden eliölle suomat ominaisuudet - ei jalostuksessa käytetty tekniikka sinänsä. Tästä tieteellisestä perusasiasta on jo kauan vallinnut laaja yhteisymmärrys biotieteiden yhteisössä, mm. geneetikkojen, kasvitieteilijöiden ja riskitutkijoiden keskuudessa. Sama perusasia vahvistetaan kerta toisensa jälkeen tiedekongressseissa ja kansainvälisten järjestöjen, jopa EU:n lausumissa. Utistointistoja se ei kiinnosta.

Biologian kannalta lopputulos ratkaisee, ei geenin tuomisen reitti tai siinä käytetyt apuvälineet. Kyse on eliöstä toimivana kokonaisuutena, ei sen kehittämisessä käytetystä prosessista. Geneeissä ei ole nimilappuja - luonto ei tiedä eikä sinänsä edes välitä, mistä jalostetun geenin informaatio on peräisin, kun se vain on solun hyväksymässä muodossa. Solun, eliön ja tuotteen käyttäjän kannalta olennaista on se, miten geeni toimii: mitä geenin koodaama proteiini solussa ja eliössä tekee, mihin aineenvaihdunnan tapahtumiin se osallistuu ja millaisin tuloksin.

Yhtä geneettisesti muunnettua kasvia ei ole olemassa. Uudella jalostuksella tuotetaan aivan yhtä monenlaisia viljelykasvien lajikkeita kuin ennenkin. Jokainen niistä on omanlaisensa. Jos saasteesta elohopeaa puhdistava keltapoppeli osoittautuisi keskentekoiseksi prototyypiksi, voi kultai-

nen riisi tai rokotebanaani siitä huolimatta pelastaa ihmishenkiä. Ominaisuuden on oltava riskin-arvioinnin keskiössä, ja jokaisen sovelluksen hyödyt ja haitat on arvioitava erikseen tapauskohtaisesti.

Geenit eivät leviä kuin tauti

Avainkysymykset geenien käyttäytymisestä eliöpopulaatioissa tunnetaan varsin hyvin. Populaatio-genetiikka syntyi tieteenalana v.1908, kun Hardy ja Weinberg osoittivat, että geen- ja genotyypitaajuudet pysyvät "ideaali"populaatiossa vakioina (elleivät valinta, vaellus tai mutaatiot niitä muuta). Eliöpopulaatioiden geneettistä koostumusta ja niiden muutoksia koskevat keskeisimmät mekanismit ja lainmukaisuudet opittiin tuntemaan jo 1920-, 30- ja 40-luvuilla.

Pääsäännön mukaan geeni voi leviää laajalle ja yleistyä kasvipopulaatioissa, jos sen suomasta ominaisuudesta on kasville hyötyä. Uhanalaiselle kasvilajille tällaisen geenin saaminen voisi olla jopa onnenpotku, joka auttaisi kasvia säilymään olemassaolon taistelussa. Jos taas geeni ei paranna kasvin lisääntymis- tai selviämismahdollisuuksia vaan on sille haitaksi, se ei valtaa kasvin populaatioita vaan harvinaistuu. Kasville haitallisen geenin taajuus populaatioissa vähenee sitä vastaan kohdistuvan luonnonvalinnan vaikutuksesta.

Populaatiogenetiikan lainalaisuudet pätevät eräitä yksityiskohtia lukuun ottamatta muillekin eliöryhmille, kuten mikrobeille. Tunnettu esimerkki Suomesta on antibiooteille vastustuskykyisten bakteerien taajuuden väheneminen Kuopiossa neljästäkymmenestä viiteen prosenttiin, kun viisi vuotta kestäneessä kokeilussa antibioottikuureja määrättiin vähemmän kuin ennen.

Geenien kulkeutumisesta eli geenivuosta on jo kertynyt paljon tietoa mm. perinteisen kasvinjalostuksen kuluessa. Tätä tietoa on sovellettu laajasti käytännössä lajikkeiden ja säilytettävien kasvikantojen puhtauden varjelemiseksi siementuotannossa, jalostusohjelmissa ja geenipankkitoiminnassa.

Geenitekniikalla muunnetut kasvit eivät lähetä geenejään liikkeelle tehokkaammin kuin muut.

Viljelyssä on paljon kasveja, joiden ominaisuudet eivät voi karata ympäröivään luontoon. Viljelykasvi voi olla niin riippuvainen ihmisen huolenpidosta, ettei se selviä lainkaan luonnossa eikä siis voi muodostaa villipopulaatioita. Jos ei esiinny vilttejä sukulaislajejakaan, joiden kanssa lajike voisi risteytyä, ei viljelykasvista kulkeudu geenejä luonnonkasveihin.

Tomaattia on viljelty Euroopassa 200 vuotta eikä se ole vielä pystynyt asettautumaan täkäläiseen luontoon. Perinteinen maissi ei enää voi selvitä ollenkaan ilman ihmistä, eikä sillä ole Euroopassa sukulaisia. Samoista syistä sellaiset tärkeät viljelykasvit kuin peruna, ohra, vehnä, tomaatti ja kurkku ovat Pohjolassa ja etenkin Suomessa vaarattomia luonnonkasvien populaatioille. Vielä lähes villien kotimaisten kasvien kuten koivun viljelyssä tilanne on geenivuon kannalta tietysti kokonaan toinen.

Hyvin monista jalostuksen ominaisuuksista ei ole aiheutunut minkäänlaista uhkaa luonnolle. Ominaisuus, joka on ihmiselle eduksi, on tavallisesti itse kasville haitaksi. Erukahapon poistaminen rapsiöljystä oli aikanaan edistysaskel ihmisen terveydelle mutta heikensi luonnollisesti kasvin puolustusta. Öljyhappopitoisuuden kohottaminen johtaisi edelleen terveellisempään margariiniin, mutta löydetty mutaatio huononsi samalla liikaa kasvin talvenkestävyyttä. (Täsmäjalostuksella parannus on tosin onnistunut). Siemenproteiinin ravintoarvon parantaminen rypsiapuristeen rehulaadun kohottamiseksi ei toisi kasville itselleen tai sen villisukulaisille mitään etua. Hyötyjiin

kuuluisivat sen sijaan kiiltävaturkkiset jänikset, myyrät ja peurat, jotka verottaisivat tätä parempaa ravintolähdettä aikaisempaa ankarammin.

Huomiota ansaitsevat kuitenkin sellaiset kuvitteelliset tilanteet, joissa poikkeuksellisesti vain yksi tekijä (vaikkapa kylmänkestävyys) olisi pullonkaulana, joka estäisi kasvia valtaamasta itselleen "kohtuutonta" elintilaa ekosysteemissä. Vanhoista viljelykasveista liikkeelle lähettäessä tällainen mahdollisuus on yleensä kaukainen, vain hypoteettinen. Uusimpien, vasta vähän jalostettujen viljelykasvien kohdalla tilanne voisi - ainakin teoriassa - tulla ehkä helpommin kysymykseen. Monilla näistä, kuten mesimarjalla, ei kuitenkaan ole minkäänlaisia luontaisia edellytyksiä menestymiseen rikkakasvina.

Jalostuksella aikaan saatu omituinen tähkän rakenne sekä jyvien varisemattomuus riittivät jo yksin tekemään maissista ihmiskunnan elättäjän, luonnon luuserin. Myöskään rokotebanaani, vähäligniininen haapa, terveempi Pito-peruna tai kukaton koivu eivät Suomen luontoa tai Afrikan viidakoita valtaa. Yhden ominaisuuden suhteen täsmäjalostetut viljelykasvit eivät ole uusia lajeja. Ne ovat paljon lähempänä vanhoja lajikkeita kuin toiset kasvilajit – niitä on usein vaikeaa tai mahdotonta edes erottaa ulkonäön perusteella tutuista lajikkeista.

Ekologisen kokemuksen mukaan voi vieraslajien maahan tuonnista olla toisinaan haittaa. Varoittavia esimerkkejä on saatu etenkin biologiseen torjuntaan tarkoitettujen petoeliöiden aiheuttamista ongelmista. Muistettakoon silti, että muutos ei suinkaan aina merkitse haittaa. Valtaosa eri maiden uusista tulokaskasvilajeista on osoittautunut harmittomiksi. Ne otetaan usein tyytyväisinä vastaan luonnon kauneuden ja monimuotoisuuden lisääjinä. Ja Suomessahan me olemme kaikki jääkauden jälkeisiä tulokkaita...



Noidanhammas saapui rantaniittyjemme kaunistukseksi vasta purjelaivojen mukana.