

Uusi jalostus on paljon hallitumpaa

(Käsitteellinen HS Tiede -kirjoitukseen "Kasvinjalostus on arpapeliä", joka ilmestyi 17.8.2004)

INGRESSI

Viimeisten kolmen vuoden aikana kasvibiologien käsitykset perinteisestä jalostuksesta ovat kokeneet mullistuksen. Tulokset ovat tärkeitä käytännön sovelluksille mutta myös evoluutiobiologian teorialle.

"Perinteinen" kasvinjalostus on osoittautunut eräiltä keskeisiltä osiltaan paljon kaoottisemmaksi kuin on osattu ajatella. Se voi laukaista kasvissa liikkeelle "hyppivät geenit" ja mutaatiovyöryn, kaivaa esiin kätkeytyä geneettistä vaihtelua, vaimentaa tärkeiden geenien toimintaa sekä kiihdyttää soluissa perimäaineiden järjestäytymistä uudelleen (somaattista rekombinaatiota). Uusi, geenimuunteluun perustuva täsmäjalostus sitä vastoin selviää näistä ongelmista puhtain paperein.

Evoluutio ja jalostus ovat eliön perimän muuttamista. Hyötykasveja on jalostettava, sillä useimmat kasvit eivät ole "tarkoittaneet" itseään ihmisen käyttöön. Niissä on paljon parannettavaa ihmisen hyvinvoinnin, tuotannon tehokkuuden ja ympäristön säästämisen kannalta.

Kehityksen raaka-aineena toimivat mutaatiot, joita luonto ja ihminen saavat aikaan esimerkiksi monilla kemikaaleilla sekä gamma-, röntgen- ja UV-säteilyllä. Mutaatiot ovat harvinaisia ja satunnaisia, ja yhtä toivottua muutosta kohti syntyy perimässä satojatuhansia ei-toivottuja muutoksia.

Perinteinen mutaatiojalostus on sen vuoksi erittäin tehotonta ja umpimähkäistä.

Tuntemattomia muutoksia tuntemattomissa geneeissä - eikä kukaan kysy mitään? Niitä "saamme" syödä joka päivä ilman elintarvikelupia, tutkimuksia tai merkintöjä. Sellaisia ei vanhalta jalostukselta vaadita. Tietämättömyys on turvallisuutta?

Yhtä yritystä ja erehdystä on myös vuosisatainen valintajalostus. Vanhoilla, pitkään jalostetuilla viljelykasveilla on suoran massavalinnan teho käynyt jo vaatimattomaksi. Risteyttäminen ja valinta ovat sitä vastoin käytössä kaikissa jalostusohjelmissa myös tulevaisuudessa.

Kasvipopulaatiot ovat eräänlaista "mutanttipuuroa". On vaikeaa pyydystää siitä edullinen geenimuoto kasvilajikkeeseen vain kasvien ulkonäön perusteella. Uusi geenitieto ja -tekniikka voivat toki nopeuttaa perinnejalostustakin. Suunnattomia kasviaineistoja joudutaan silti analysoimaan (nyt kemiallisesti).

Mutaatiojalostuksella onnistuttiin sammuttamaan rapsista haitallista erukahappoa tuottava geeni. Sopivan mutantin löytämiseksi tehtiin Suomessakin satojatuhansia rasvahappoanalyysejä - pikkuruisten siementen puolikkaista! (toisesta puolikkaasta kasvatettiin sitten se kasvi)

Geenin nouto risteyttämällä

Perinteisessä jalostuksessa kasveihin haetaan usein hyötyominaisuuksia villikasveista risteyttämällä. Tässä ei sinänsä ole mitään ihmeellistä, sillä lajien risteytyminen on kasveilla arkipäivää.

Risteytyksissä siirtyy kuitenkin kasviin toivottujen geenien lisäksi tuhansia tuntemattomia geenejä. Niitä kaikkia ei voida puhdistaa pois kasvista, eikä tuntemattomien proteiinien haittomuutta (esimerkiksi allergiaominaisuuksia) voida selvittää.

Kymmenien sukupolvien takaisinristeytyksillä viljelykasviin päin voidaan ei-toivottujen, "primitiivisten" geenien lukumäärää jälkeläistössä laimentaa tilastollisesti. Jos valinnalla kuitenkin suositetaan joitakin villikasvin geenejä, seuraavat kaikki niihin läheisesti kytkeytyneet villigeenit sitkeästi mukana.

Vain väliin osuneet, harvinaiset tekijäinvaihdunnat (crossing-over) voivat pudottaa näitä "peukalokyytiläisiä" keltasta. Toivottujen harvinaisuuksien löytämiseksi jälkeläistöistä tarvitaan joka tapauksessa mittavia molekyylibiologisia analyysejä. Tutkimuksissa on havaittu ei-toivottuja kyytiläisiä jopa 50 takaisinristeytyspolven jälkeen.

Eriyisen ongelmalliseksi tilanne tulee, jos toivottu geeni sijaitsee sentromeerin eli kromosomin "vetokoukun" lähistöllä. Mutta senhän pitäisi oleman geeneistä tyhjää aluetta? Väärin! Uusin tutkimus on osoittanut, että sentromeerin lähistöllä kromosomissa on satoja aktiivisia geenejä, joita crossing-over ei voi lohkaista erilleen toisistaan.

Uudessa jalostuksessa geeni sitä vastoin tunnetaan ja siirretään geenitekniikan avulla kasviin puhtaana, ilman salamatkustajia. Vierasta dna:ta siirtyy kasviin miljoona kertaa vähemmän, ja valmiiseen lajikkeeseenkin sitä jää satoja (ellei tuhansia) kertoja vähemmän kuin vanhoilla menetelmillä.

Perinteinen jalostus on vielä kaoottisempaa kuin on tiedetty, kertovat uusimmat tutkimukset. Risteytykset kaukaisten sukulaisten kanssa laukaisevat viljelykasvissa hallitsematonta geneettistä muuntelua.

Hyppivät geenit, joita voi olla jopa 40 prosenttia perimäaineesta, lähtevät silloin liikkeelle ja käynnistävät kasvissa laajamittaisen "mutaatiomyllytyksen". Myös perinnöllinen uudelleenjärjestäminen (somaattinen rekombinaatio) kiihtyy kasvin soluissa.

Lisäksi geenien toimintaa vaimentava dna-metylaatio purkautuu ja rakentuu uudelleen. Tällöin kasvissa piilevää geneettistä vaihtelua ilmestyy näkyviin ja toisaalta toimivia geenejä vaimenee.

Suuri osa kasvien geeneistä saattaa nimittäin olla täysin vaimennettuina. Kasveilla siihen on varaa, sillä niillä on usein soluissaan koko geenistö useana kerranteena. Monet vastingeeneistä voivat olla kotoisin eri kasvilajeilta, joten kasvin ominaisuudet riippuvat siitä, mitkä niistä ovat toiminnassa.

Myös geenitekniikkaa sovellettaessa saattaa siirretty geeni hiljentyä useissa kasvinlinjoissa. Vaimeneminen ei tällöin kuitenkaan koske perimän muita geenejä. "Hiljaisten linjojen" ongelmasta päästään kuitenkin eroon jalostuksen koetelluilla periaatteilla. Alkuvaiheessa tuotetaan näet muutamia kymmeniä, ehkä satakin muuntogeenistä koelinjaa, joista sitten ainoastaan parhaat kelpuutetaan jatkokoon.

Satunnaiset muutokset ovat joskus hyödyllisiä mutta useimmiten haitallisia. Ja joka tapauksessa korvaamattomat vanhat marja-, hedelmä-, viiniköynnös- ja perunalajikkeet hajoavat risteytettäessä. Ne

löydettiin aikanaan geneettisinä onnenkantamoisina satojentuhansien taimien jalostusaineistoista. Mikään määrä perinnejalostusta ei voi rakentaa niitä koskaan takaisin.

Jalostajalle geneettinen vaihtelu on sinänsä arvokasta raaka-ainetta. Sen tulisi kuitenkin olla mahdollisimman hallittua. Uhanalaisia vanhoja lajikkeita ei kannata hävittää vaan parantaa.

Esimerkiksi nykyisiä maukkaampi banaanilajike, Gros Michel, päätyi historian hylkyhyllylle 50 vuotta sitten, kun uusi kasvitautirotu hävitti sen viljelmät. "Naurava banaani" saataisiin takaisin kauppoihin tuomalla siihen geenitekniikan avulla taudinkestävyyttä villibanaanilta.

Kun jalostettava geeni tunnetaan, sen tuottaman proteiinin (proteiinien) ominaisuuksia voidaan tutkia haitattomuuden varmistamiseksi. Nisäkkäillä geeni saattaa kyllä tuottaa useita eri proteiineja - toisin kuin kasveilla on tapana. Mutta kaikki ne voidaan silti tunnistaa solun proteiinikirjosta ja ottaa erilleen tutkittaviksi.

Uuselintarvikkeet tutkitaan huolellisemmin kuin mitkään elintarvikkeet ihmiskunnan historiassa. Muunnetun proteiinin turvallisuus selvitetään Maailman terveys- ja ruokajärjestöjen (WHO, FAO) yhteisten Codex alimentarius -ohjeistusten mukaisesti.

Yksikään tuotantoon hyväksytty muuntogeeninen kasvi ei ole aiheuttanut allergioita. Ei edes ole ainoatakaan tieteellistä syytä, miksi muuntogeeniset kasvit aiheuttaisivat allergiaa yhtään useammin kuin muut kasvit. Ne ovat tutkittuja ja turvallisempia kuin perinnelajikkeet (Allergia & Astma 3/03, 2/04).

Tahattomat muutokset

Uusi kasvinjalostus on monessa suhteessa tarkempaa kuin vanha, sillä kasviin tuodaan ainoastaan tunnettu geeni puhtaana, ilman monilukuisia salamatkustajia. Perinteisen jalostuksen jäljiltä sellaisia voi jäädä kasviin satamäärin.

Mikrobeilla voidaan toivottu muutos perimäaineksessa määrätä jo tarkalleen, viimeistä dna-emäsparia myöten - kun jalostus tehdään geenitekniikalla. Kasveilla ollaan yhtä pitkälle pääsemässä vasta näinä vuosina.

Nyt voidaan jo rakentaa kasvin kromosomiin valmis, vakioitu geenin kiinnittymispaikka, johon parempi geenimuoto voidaan aina myöhemmin ohjata. Kokeissa onnistuu myös jo toisinaan kasvin oman geenin korvaaminen jalostetulla geenimuodolla, joskin vielä liian harvoin. Tämä "geenitekniikan kolmas vaihe" on arkipäivää muutaman vuoden kuluttua, kun uusi geenitutkimus tuo lisää tietoa kasvin omien, perimäaineen muokkausta ohjaavien geenien toiminnasta.

Aiheutuuko geenin paikasta sitten hankalia pulmia jalostukselle? Eipä juuri, kertoo vuosituhansien kokemus. Luonto itse muuttaa geenien sijaintia kromosomeissa klassillisilla mutaatioilla (inversio, deletio, duplikaatio, translokaatio). Tämä on tiedetty jo 1920-luvulta asti.

Uudessa paikassa geeni voi toimia paremmin tai huonommin kuin ennen. Kromosomeissa on joka tapauksessa tuhansia paikkoja, joissa jalostettu geeni toimii hyvin.

Lähistön geneeillä voi joskus olla vaikutusta toistensa säätelyyn. Sen estämiseksi osataan nykyisin laittaa jalostettavan geenin ympärille tyhjää dna-rihmaa eristeeksi. (Geenituotetta koodaa vain 1-2 prosenttia kasvien dna:sta).

Luonto tai jalostaja valitsee käyttöön vain ehdottomasti onnistuneimmat kasviyksilöt. Evoluutio ja jalostus ovat vanhin tunnettu laatujärjestelmä.

Hyvän tuloksen varmistamiseksi tuotetaan täsmäjalostuksessa aluksi joitakin kymmeniä muuntogeenisiä kasvilinjoja. Niistä sitten muutama valitaan jatkoon ja yksi saatetaan hyväksyä lopulta lajikkeeksi. Sattumaan perustuvassa vanhassa jalostuksessa hallittavuus on sitä vastoin heikko, joten on seuloitava jopa satojatuhansia kasviyksilöitä.

Summa summarum: Tuottaako geenitekniikka kasviin tahattomia muutoksia enemmän kuin vanha jalostus? Tätä mediakampanjoiden väitettä ei biologia tue, pikemminkin päinvastoin.

Uusin tutkimus pystyy jo selvittämään kaikki kasvissa esiintyvät kymmenet tuhannet aineet (ns. sekundaarimetaboliitit) [tuntemattomatkin ainakin bruttokaavan tarkkuudella]. Kun rapsista poistettiin haitallinen erukahappo perinteisellä jalostuksella, muuttuivat samalla yli sadan muun aineen pitoisuudet kasvissa merkittävästi. Kun rapsi taas jalostettiin glyfosaatinkestäväksi geenitekniikan avulla, ei yhdenkään sekundaarimetaboliitin pitoisuus kasvissa muuttunut.

Geenitekniikka on ainoa jalostusmenetelmä, jolla voidaan parantaa kasvullisesti lisättäviä kasvilajikkeita hallitusti, säästään niiden suosittu vanhat ominaisuudet. Esimerkiksi Royal Gala -omenasta on jo jalostettu johdannaislajike, joka on vastustuskykyinen bakteerin aiheuttamalle tuhoisalle tulipoltetaudille. (Suomeen tauti ei ole onneksi vielä levinnyt). "Terve-Gala"-lajiketta ei streptomysiinillä tarvitse ruiskutella, kuten kaiken maailman omenapuita.

11.8.2004 Jussi Tammisola, kasvinjalostuksen dosentti, Helsinki

LAATIKKO 1. Kasvien evoluutio on erilaista

Eläimillä, varsinkin nisäkkäillä, lajien risteytyminen on harvinaista, samoin kromosomiston moninkertaistuminen eli polyploidia. Kasveilla sitä vastoin risteytyminen ja polyploidia ovat olleet evoluution päälinjoja - myös ihmisen ohjaamassa evoluutiossa eli kasvinjalostuksessa.

Uusien tutkimusten mukaan 80 prosenttia kasvilajeista on alkuperältään polyploideja. Niillä on siis soluissaan peruskromosomisto useana kerrannaisena. Diploidissa eliössä, kuten ihmisessä, kutakin vastinkromosomia on vain kaksin kappalein - toinen peräisin äidiltä, toinen isältä.

Polyploidiaasta on seurauksena geneettinen redundanssi, eli kasvin soluissa esiintyy samaa geeniä useana toistona.

Evoluutio on siksi voinut vähentää kasveilla helposti geenien pleiotropiaa. Kun genejä on kasveilla enemmän, ei yhden geenin tarvitse vaikuttaa moniin ominaisuuksiin. Osa kopiokappaleista on joutanut kehittymään mutaatioiden tuloksena edelleen. Kasveilla onkin useimpiin käyttötarkoitukseen kehittynyt oma, kapeasti erikoistunut geeninsä.

Esimerkiksi maailman ravinnontuotannolle tärkeiden, lyhytkortisten viljojen jalostaminen onnistuu, koska kasvilla on eri geenit varren pituuden ja kukkimisen säätelyyn. Molempia asioita ohjaa kasvissa gibberelliinihappo. Jos sen toiminta estyisi koko kasvissa, olisi kasvi lyhytkortinen mutta ei lainkaan kukkisi. Lyhytkortisissa lajikkeissa gibberelliinihapon toimintaa vaimennetaan siksi vain varressa.

Kasvin kromosomistot saattavat olla myös kotoisin eri kasvilajeilta, eli laji on alun perin syntynyt eri kasvilajien risteytymisestä. Kasveilla esiintyy kyllä erilaisia risteytymisestettä, kuten eroja esiintymisalueissa, kukkimisajoissa ja pölytystavoissa, sekä geneettisiä yhteensopimattomuus- eli inkompatibiliteettijärjestelmiä jotka ehkäisevät vääränlaisen siitepölyn kasvua tai hedelmöitystä. Siitä huolimatta lajien risteytyminen on kasvukunnassa arkipäivää.

Viljelykasveistakin monet ovat polyploideja hybrideitä. Esimerkiksi puutarhamansikka on oktoploidi, ja se syntyi kahden mansikkalajin risteytyessä. Vehnä on heksaploidi ja kolmen lajin risteytymä - ruisvehnän oktoploideissa linjoissa voi yhdistyä neljäkin eri heinälajia.

Huomattava osa kasvien lähisukuisista, eri lajeilta saaduista "toisinto" geneeistä on myös joutanut hiljennettäväksi - enemmän tai vähemmän pysyvästi. Genejä vaimennetaan muun muassa erilaisilla "epigeneettisillä" mekanismeilla, kuten dna-metylaatiolla - siinä dna-emäksiin kiinnitetään ylimääräisiä metyyliiryhmiä. Kasveissa esiintyy siis "piilevää" geneettistä vaihtelua, joka ryöstäytyy näkyviin vain erityistilanteissa, kuten kasvilajeja risteytettäessä perinteisessä jalostuksessa.

Jos kromosomiluku on pariton, kuten esimerkiksi tri- ja pentaploideilla, ei kromosomien tasajako sukusoluihin onnistu eikä elinkelpoisia siemeniä juuri synny. Useimmat viljellyt banaanilajikkeet ovatkin triploideja. Villibanaaneja ei käytetä ihmisravinnoksi, sillä nämä "eläimen kikkareet" ovat täynnä suuria, kovia siemeniä.

Toisaalta steriilitkin kasvit pystyvät usein leviämään kasvullisesti, esimerkiksi rönsyjen ja juurakoiden avulla. Ja toimivia siemeniä syntyy toisinaan myös äidin kopioina, ilman sukusolujen normaalia muodostumista. Tällaisia ns. apomiktisia siemeniä voivat tuottaa muun muassa monet sitrushedelmä- ja heinälajit.

Apomiksia-ominaisuutta yritetään jalostaa myös viljoihin, jolloin viljelijä voisi lisätä arvokkaita hybridilajikkeita muuttumattomina oman pellon siemenestä. Toistaiseksi hybridilajikkeiden kylvösiemen on näet ostotavaraa, joka on valmistettava aina uudelleen risteyttämällä.

LAATIKKO 2. Alkaako paimenmatara tuoksua?

Tuoksuvat keltamatarat ovat jököttäneet jäykin varsin ja neulasmaisin lehdin Suomen kuivilla kedoilla jo "iät ja ajat". Siis hetken, sillä jääkausi väistyi maastamme vasta äskettäin - kun maailma oli jo siirtynyt maatalouden aikakaudelle.

Paimenmatara on isompi, rennompi, tuoksuton ja valkokukkainen. Se kasvaa tienvarsilla ja myös rehevämmillä niityillä. Paimenmatara saapui tänne heinäsiemenen mukana vasta 1800-luvulla ja levisi ihmisen rakentamia ratapenkkoja ja tienvarsia pitkin koko maahan.

Menneen ihmistoiminnan tuloksena syntyneet kuivat kedot ovat nopeasti vähenemässä, mutta keltamatarana on löytänyt korvaavia kasvupaikkoja teiden varsilta. Siellä se kohtaa paimenmataran - ja risteytyy helposti sen kanssa. Tuloksena on monenkirjavia "hybridiparvia", joissa luonnon laboratorio testaa kahden lajin ominaisuuksien uusia yhdistelmiä.

Onko risteytysjälkeläisten joukossa kasvityyppejä, jotka voisivat "perinteisiä" mataroita paremmin käyttää hyväkseen nykyajan tarjoamia elinympäristöjä? Tuloksena voisi ajan mittaan olla tuoksuva paimenmatara - tai rehevämpi ja kulttuurikasvupaikoille paremmin sopeutuva keltamatarana.

Tienvarsilla on monenlaisia "keltapaimenia" jo näkyvissä. Kysymys on vain siitä, löytyykö jollekin niistä oma ekologinen "lokeron", jossa kasvi olisi voittaja ja syrjäyttäisi kilpailijansa. Teorian mukaan yhteen ekologiseen lokeroon mahtuu näet kerrallaan vain yksi laji.

Lapissa on mesimarjan ja lillukan risteytymisestä ehkä syntymässä uusi laji vuosisatojen saatossa. Vaatimaton, valkokukkainen lillukka viihtyy Lapin jokien kuivilla törmillä. Punakukkaista mesimarjaa, Euroopan maukkainta marjaa, kasvaa heti törmän takana aukeavilla suoniityillä. Niiden risteytymä taas näyttää löytäneen itselleen sopivan ekologisen lokeron joen rannasta, tulvien huuhtomalta nurmireunukselta, missä jokavuotinen jäiden myllerrys pitää pensaikon ja kilpailevan kasvillisuuden kurissa.

"Mesilillukan" kukat ovat valkean punaisia ja muistuttavat enemmän mesimarjan kukkia. Rönsojä risteytymällä ei ole kuten lillukalla, vaan se leviää eteenpäin juurakosta mesimarjan tapaan. Esiintymät saattavat silti ulottua jopa kilometrien matkalle.

Marjoja tähän hybridiin ei kuitenkaan (vielä) muodostu, sillä kasvi on toistaiseksi perimältään triploidi. Kolmesta kromosomistostaan se sai kaksi lillukalta, joka on tetraploidi, ja yhden mesimarjalta, joka on diploidi laji.

Sopiva kromosomistomutaatio voi kuitenkin tasapainottaa kromosomiston niin, että hybridi alkaa lisääntyä myös siemenistä. Silloin lajikelas voisi alkaa levitä lintujen avulla helpommin myös kaukaisemmille kasvupaikoille.

Kuva 1. Kelta- ja paimenmatara risteytyvät helposti



Kuva 2. Luonnon mesimarjat ovat jäämässä harvojen herkuksi

