# Kasvinjalostuksen uudet menetelmät

Anneli Ritala, VTT
Teemu Teeri, Helsingin yliopisto

**Mistä on kyse?**

Kasvinjalostus on yhtä vanhaa kuin maanviljely. Jääkauden jälkeen eri puolilla maapalloa tietoinen kasvien kasvattaminen ruuaksi alkoi kehittyä. Kasvien domestikaatio (”kesyttäminen”) sai aikaan periytyviä muutoksia kasveihin, mm. siemenet eivät viljellyissä kasveissa varise herkästi vaan ne voidaan korjata sadoksi. Yksi dramaattisimmista muutoksista näkyy viljellyn maissin kohdalla, jonka villimuoto teosintti kasvaa edelleen Väli-Amerikassa. Kuinka on mahdollista, että kasvien ilmiasu voi tällä tavalla taipua ihmisen tarpeisiin? Muutos tapahtuu luontoon sopeutumisen kustannuksella ja sen seurauksena viljelykasvit ovat riippuvaisia viljelijästä. Samalla tavalla valinta on muuttanut luonnonvaraisen suden kesyksi kaikkien tuntemaksi koiraksi, kaikkine variaatioineen.

Kasvinjalostus tieteenä alkoi noin sata vuotta sitten, kun perinnöllisyyden lainalaisuudet opittiin tuntemaan ja tilastotieteen menetelmät kehittyivät (tilastotieteen yksi tärkeimmistä motivaattoreista liittyi kasvinjalostuksen hallintaan). Vain osa yksilöiden välisistä eroista perustuu eroihin geeneissä (termi periytyvyys kuvaa tätä osaa) ja niin kauan kuin geneettisiä eroja on jalostusaineistossa, voidaan valinnalla edetä. Esimerkiksi viimeisen sadan vuoden aikana on kasvinjalostuksen ansiosta Pohjoismaissa kehitettyjen vehnälajikkeiden hehtaarisato kasvanut prosentin vuodessa, samoissa olosuhteissa mitattuna. Kaiken kaikkiaan sadot kasvoivat kuitenkin yli 2 % vuosivauhtia, joten kasvinjalostus on tärkeä mutta ei ainoa tekijä maanviljelyn tuottavuuden kehittämisessä (lannoitus, koneet, kasvinsuojelu ym. muodostavat toisen osan). Valintajalostus (tarkemmin risteytys-valinta) on menetelmänä geenejä karsiva. Uutta geeniainesta syntyy hitaasti mutaatioiden vaikutuksesta tai sitä voidaan tuoda saman lajin maatiaislinjoista, villimuodoista tai muista risteytettävissä olevista lajeista.

1980-luvulla kehitetty ja 1990-luvulla lajikejalostukseen edennyt geeninsiirtotekniikka toi suuren muutoksen tähän periaatteeseen. Geenejä opittiin siirtämään eliöstä toiseen ja geneettisen kielen ollessa kaikilla eliöillä sama, oli mahdollista siirtää kasveihin jopa eläinten tai mikrobien geenejä. Tällä hetkellä eniten viljellyissä siirtogeenisissä viljelykasveissa on nimenomaan bakteeriperäisiä geenejä, joiden tuomat uudet ominaisuudet ovat tuhohyönteisten ja rikkakasvihävitteiden kestävyys. Geeninsiirto oli mullistava keksintö ja tiedeyhteisön aloitteesta sen riskejä, liittyen ihmisten terveyteen ja ympäristöön, haluttiin tutkia ennen laajamittaista soveltamista. Tämän perusteella EU:ssa säädettiin 1990-luvun kuluessa geenitekniikkalaki (Suomessa 1995), jonka tarkoitus on edistää geenitekniikan turvallista ja eettisesti hyväksyttävää käyttöä. Geenitekniikkalain terminologiassa siirtogeenisiä eliöitä kutsutaan geneettisesti muunnelluiksi organismeiksi, lyhyesti GMO. Vuonna 2004 lakiin 377/1995, lain tarkoitusta määrittävään osaan, liitettiin termi ”ennaltavarautumisen periaate”. Tällä haluttiin korostaa riskinarvioinnin tärkeyttä GM-lajikkeiden kehittämisessä.

Geenitekniikkalaki määrittelee GMO:n eliöksi, jonka geneettistä ainesta on muutettu tavalla, jota luonnossa ei voi tapahtua ja tyypillisesti siirtämällä eliöön geeniainesta (nukleiinihappoa, esim. DNA:ta). Erityisesti mutaatioiden aiheuttaminen kemikaaleilla tai säteilyllä suljettiin pois määrittelystä. Tämä onkin järkevää, sillä aiheutetut mutaatiot ovat samanlaisia kuin mitä luonnossakin syntyy.

Kasvinjalostuksen uusista menetelmistä eniten keskustelua aiheuttaa geenieditointi, jossa mutaatiot suunnitellaan etukäteen laboratoriossa. Teknisesti geenieditointi tapahtuu siten, että solussa oleva kohdegeeni katkaistaan entsyymillä, joka on suunniteltu tähän nimenomaiseen tarkoitukseen. Katkaisijaentsyymejä (nukleaaseja) on osattu ohjelmoida haluttuun kohteeseen jo parin vuosikymmenen ajan. Vasta noin viisi vuotta sitten keksitty CRISPR/Cas teknologia teki sen kuitenkin erityisen helpoksi ja menetelmäkehitys on sen jälkeen ollut erittäin nopeaa.

Aivan kuin toimivan laitteen särkeminen on helpompaa kuin korjaaminen, geenin editointi toimimattomaksi on sovelluksista yksinkertaisin. Tällä toimintaperiaatteella on tärkeitä sovelluksia kasvinjalostuksessa ja osa perinteisen jalostuksen saavutuksista liittyy juuri geenien toiminnan estämiseen. Oliiviöljyn kanssa terveellisyydestä kilpaileva rapsi- ja rypsiöljyn jalostus perustuu haitallisten aineosien (erukahappo ja glukosinolaatit) poistamiseen valitsemalla kasveja, jotka eivät näitä aineita osaa tehdä. Nyt tämä voidaan tehdä CRISPR/Cas teknologian avulla suoraan parhaisiin viljelyssä oleviin lajikkeisiin. Geenieditoinnin menetelmällä voidaan tehdä myös kohdennettu muutos eli geenin korjaus tai jopa siirtää kokonaan uusi geeni tarkasti haluttuun kohtaan genomia, missä se esim. toimii hyvin.

Kohdennettu geeninsiirto kuuluu selkeästi geenitekniikkalain piiriin eikä ole erimielisyyksiä näin aikaansaadun kasvilajikkeen sääntelystä. Geenieditointi sen sijaan aiheuttaa tulkinnassa pulmia. Modernia geeniteknologiaa on toki käytetty muutoksen aikaansaamiseksi, mutta lopputulos muistuttaa luonnollista geenimutaatiota siinä määrin, ettei sitä voida millään tekniikalla erottaa luonnollisesta. Syntyneet mutaatiot eivät myöskään ole luonnolle uusia, voidaan helposti laskea, että esimerkiksi keskikoisella suomalaisella ohra- tai vehnäpellolla on jokainen genomin emäs muuttunut toiseksi jossain pellon jyvistä, joita on yhdellä pellolla n. miljardi.

**Teknologian edut ja mahdolliset riskit**

Mihin kasvinjalostaja tarvitsee geeninsiirtoa tai geenieditointia? Vastaus on sama molempiin kysymyksiin: saadakseen lisää perinnöllistä muuntelua, jonka perusteella valintajalostus voi edetä. Geeninsiirron kohdalla kyse on muuntelusta, jota viljellyn kasvin lajissa ei yksinkertaisesti ole. Hyönteisiä ilman kemikaaleja torjuviin Bt-lajikkeisiin (maissi, soija, puuvilla, rapsi – yhteinen viljelyala tällä hetkellä globaalisti n. 100 miljoonaa hehtaaria) on siirretty *Bacillus thuringiensis* bakteerin geeni, joka tuottaa tuholaishyönteisten toukkien suolessa vaikuttavaa proteiinia. Kyseistä bakteeria voidaan myös sellaisenaan käyttää torjunta-aineena esim. luomuviljelyssä, jolloin proteiinin tuottaa bakteeri itse viljelykasvin sijaan.

Geenieditoinnissa kyse on luonnollisen kaltaisesta geenimuuntelusta, useimmissa tapauksissa luonnosta periaatteessa löydettävistä geenimuodoista. Vaikka nykytekniikoilla näitä geenimuotoja voidaan myös seuloa laajasta olemassa olevasta aineistosta (vrt. ylle), on seulonta menetelmänä työläs ja kallis. Kasvinjalostuksen tärkein rajoittava tekijä onkin yksinkertaisesti resursointi. Tämä näkyy maissin- ja vehnänjalostuksen saavutuksissa, verrattuna vaikka kotoisen rukiin jalostukseen. Luonnosta tai muille viljelyalueille sopeutuneista lajikkeista löydettyjen geenimuotojen siirtäminen risteyttämällä paikallisiin lajikkeisiin on aina työlästä (ajan ja rahan suhteen) tai joskus kokonaan mahdotonta. Esimerkiksi peruna lisätään kasvullisesti ja takaisinristeytysohjelmassa ei periaatteessakaan voida päätyä samaan lajikkeeseen uudella ominaisuudella tehostettuna, vaikka kokonaan uusi lajike voidaan toki saada aikaan.

Geenieditoinnin riskit ovat siis helposti käsitettävällä tavalla samoja kuin perinteisen jalostuksen riskit. Lääketieteen kohdalla kiinnitetään paljon huomiota vääriin editointikohteisiin ns. off-target -

muutoksiin. Kasvinjalostuksessa ne eivät muodosta ongelmaa. Samoin kuin perinteisessä kasvinjalostuksessa, jalostaja yksinkertaisesti karsii yksilöt, joiden geeneissä on ei-toivottuja muutoksia.

GM-jalostuksen kohdalla ihmisen terveydelle tai ympäristölle haitallisten ominaisuuksien syntyminen oli, menetelmän ollessa uusi, hyvin perusteltu kysymys. Yli 25 vuoden kokemuksen jälkeen voidaan kuitenkin jo vankalta pohjalta sanoa, että GM-jalostuksessa ei itse teknologiaan liity sen suurempia riskejä kuin perinteiseenkään jalostukseen. Viime kädessä kysymys on siitä, mitä jalostetaan. Perinteinenkään jalostus ei ole riskitöntä. Esimerkiksi perunan ja sellerin kohdalla on jouduttu poistamaan lajikkeita markkinoilta niiden sisältäessä liian suuria määriä haitallisia kemiallisia komponentteja.

Suurimmat kasvinjalostuksen uusiin tekniikkoihin, GM-tekniikka mukaan luettuna, liittyvät riskit lienevät taloudellisia ja sosiaalisia. EU pitää tiukasti kiinni geenitekniikan sääntelystä, siitä huolimatta että vaikutusten tieteellinen analyysi pikemminkin ohjaisi sääntelyn ja siten myös kasvinjalostuksen helpottamiseen. Tähän lienee erilaisia syitä. Jäädyttämällä disruptiivisten innovaatioiden käyttöönotto, pyritään tukemaan perinteisten eurooppalaisten tuotteiden taloudellista asemaa ja säilyttämään eurooppalaista tavanomaista maanviljelykulttuuria. Kyse on myös mielipiteistä ja mielikuvista. On tunnettua, että niin tärkeään asiaan kuin ruokaan liittyy hyvin henkilökohtaisia käsityksiä. Kasvinjalostuksen historiaa tuntien on mielenkiintoista huomata miten ”luonnolliselta” perinteinen jalostus ihmisten mielissä tuntuu. Usein GM-vapaus nähdään harhaanjohtavasti takeena tuotteen ”luonnollisuudesta”.

EU:n päättämättömyys geenieditoinnin sijoittumisesta lainsäädännössä hankaloittaa tilannetta. Niin kauan kuin on olemassa mahdollisuus, että geenieditoiduille kasvilajikkeille tulee tehdä samanlainen riskinanalyysi kuin GM-lajikkeille, kasvinjalostajat eivät voi vakavissaan panostaa tähän mullistavaan mutta luonnollisen kaltaiseen menetelmään. Euroopassa ollaan ns. on hold -tilanteessa, jolloin auttamattomasti jäämme myös kehityksessä jälkeen. Pysyykö nykytilanteen vallitessa eurooppalainen kasvinjalostus, maanviljely ja tuotanto kilpailukykyisenä?

**Nykytila**

Geeninsiirtoon perustuva soveltava GM-tutkimus on ollut pysähdyksissä koko geenitekniikkalain soveltamisen ajan. Akateeminen maailma etenee perustutkimuksen suhteen hyvin, mutta 1990-luvun vaihteen soveltavia hankkeita on erittäin vähän syystä, että pieniä ja keskisuuria GM-jalostusta soveltavia yrityksiä ei ole. Myös perustutkimuksen yhteydessä syntyy valtavasti ideoita, jotka voisivat johtaa hyödyllisiin sovelluksiin. Näitä voidaan harvoin nykytilanteessa viedä eteenpäin. Geenitekniikan sääntely on johtanut siihen, että vain agrobisneksen jättiyritykset pystyvät hyödyntämään GM-tekniikkaa, ja nekin vain tiettyjen viljelykasvien kohdalla. On laskettu, että lain määräämä riskinarviointi on kustannuksiltaan 10-20 miljoonaa euroa lajiketta kohden.

Geenieditointi on nopeasti yleistymässä perustutkimuksen puolella. Tutkimuksen kannalta on valtava hyöty siitä, että kohdekasviin voidaan tehdä luonnollisen kaltaisia mutta suunniteltuja mutaatioita. CRISPR/Cas teknologia on teknisesti yksinkertaista laboratoriossa, missä kasvibiotekniikan menetelmät ovat hyvin hallinnassa ja toimitaan suljetussa ympäristössä. Vaikka Suomen jalostusyrityksissä, yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa on kiinnostusta geenieditointitekniikoiden käyttöön, laajamittainen hyödyntäminen puuttuu kokonaan ja siihen valmistautuminenkin tapahtuu vain pienimuotoisesti. Tärkein jos ei jopa ainoa syy tähän on epävarmuus sääntelystä.

Tärkkelysjalostus perunan kohdalla kuvaa hyvin nykyistä tilannetta. Kasvien tärkkelys koostuu kahdenlaisista molekyyleistä, jotka ovat molemmat glukoosin polymeerejä. Amyloosi on lineaarinen polymeeri ja amylopektiini haaroittunut polymeeri. Näillä on erilaisia ominaisuuksia ja erilaisia sovelluksia. Niin sanotut vahalajikkeet tuottavat lähes yksinomaan amylopektiiniä, niissä yksi tärkkelyssyntaasientsyymin muodoista ei ole toimiva. Vahamaissi on tärkein vahatärkkelyksen lähde, mutta myös perunan kohdalla tätä ominaisuutta on jalostettu. BASFin kehittämä perunalajike Amflora on GM-lajike, jossa kyseinen geeni on hiljennetty geeninsiirron avulla. BASF sai pitkällisen yli kymmenen vuotta kestäneen, prosessin jälkeen viljelyluvan Amfloraperunalle Euroopassa, mutta lopulta vetäytyi hankkeesta poliittisen vastustuksen takia. Ruotsalainen tutkimusryhmä on osoittanut, että vahaperunan voi saada aikaan myös geenieditoinnilla, jossa tärkkelyssyntaasin geenistä puuttuu pieni jakso,mutta mitään uutta ei ole lisätty genomiin. Geenieditoitua lajiketta ei olla kaupallistamassa niin kauan kuin ei tiedetä miten sitä säännellään. Sen sijaan markkinoilla on röntgensäteilyllä aikaansaatu vahaperunalajike Elaine. Röntgensäteily tyypillisesti aiheuttaa kromosomikatkoksia ja siten särkee geenejä. Elaine on siis perinteisen mutaatiojalostuksen tuote, jota ei säännellä geenitekniikkalain perusteella. Kaikissa kolmessa tapauksessa on siis saatu perunaan sama biokemiallinen muutos, yksi GM-tekniikalla, yksi geenieditoinnilla ja yksi mutaatiojalostuksella. Vaikka lopputulos on kaikilla tekniikoilla sama, on ainoastaan mutaatiojalostuksella tuotettu lajike markkinoilla.

**Toimenpide-ehdotukset**

Geenitekniikkalain tarkoitusperät ovat hyvät ja nykyaikaisen ajattelutavan mukaiset. Lain soveltamista ei kuitenkaan säätele kertyvä kokemus ja tieto, vaan päinvastaiseen suuntaan vievät erilaiset tavoitteet. Riskinarviointiin ei kuulu hyödyn analyysi. Riskinarvioinnin rinnalla tapahtuva riski-hyötyarviointi voisi osaltaan selkeyttää geenitekniikan asemaa kasvinjalostuksessa ja ihmisten mielissä.

Geenitekniikan lainsäädäntö ei sisällä mekanismia uusien tekniikoiden hallintaan. Tällä hetkellä 1990-luvun alun määritelmiä yritetään soveltaa geenieditointiin, joka johtaa välillä huvittavaankin saivarteluun ja asioiden kiertelyyn sekä puoltavien että vastustavien osapuolten toimesta. Selvää on, että lainsäädäntö ei suhtaudu samalla tavalla lajikkeisiin, jotka ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia, mutta aikaansaatu erilaisilla menetelmillä. Geenitekniikan lainsäädännön uudistamista EU:n tasolla on esitetty tarpeellisena, mutta samaan aikaan on myös todettu uudistamisen olevan kallis ja monimutkainen prosessi. Viime kädessä kyse on siitä miten lakia sovelletaan ja siitä miten eurooppalaiset kansalaiset suhtautuvat kasvinjalostukseen ja sen tekniikoihin.

Kasvinjalostus on uusillakin tekniikoilla hidasta ja valmiin lajikkeen pakollinen testaus, rekisteröinti ja markkinoillesaattaminen kestää vuosia. Kasvinjalostuksesta vain osa on lyhyellä aikavälillä taloudellisesti kannattavaa, jolloin toiminta voi olla yritysvetoista. Äärimmäinen esimerkki on metsänjalostus, jossa hyödyt ovat selkeitä, mutta realisoituvat vasta vuosikymmenten kuluttua. Niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa, kaupallisen kasvinjalostuksen rinnalla tarvitaan julkisesti rahoitettua kasvnjalostusta. Valtiovallan tehtävänä on varmistaa ja resursoida kasvinjalostuksen tarvittava tutkimus ja sen soveltaminen. Hyödyt ovat pitkällä ja keskipitkällä aikavälillä merkittäviä ja panostus kääntyy voitoksi.