

Suomalaistutkijat keksivät,

Miksi puu paks

■ **Puiden paksuuskasvu on lähes 150 vuotta vanha mysteeri, jonka Helsingin yliopiston tutkijat ovat nyt ratkaisseet. Löytö panee oppikirjat uusiksi ja helpottaa kasvinjalostusta.**

Raili Leino

Suuri koko on kasveille suuri etu. Tuuheita ja korkea latvus kerää valoa, syvälle ulottuvat juuret löytävät vettä ja ravinteita. Puut ovat juuri kokonsa ansiosta laajoilla alueilla valtakasveja. Siellä missä varsinaisia puita ei kasva, osa muista kasveista kehittyy puumaisiksi.

Suuret kasvit venyvät pituutta, mutta niitä ei olisi ilman paksuuskasvua.

”Paksuuskasvu on niin tärkeä innovaatio, että se on mahdollisesti keksitty kasvien historiassa monta kertaa”, sanoo professori **Yrjö Helariutta**.

Yrjö Helariutta ja tutkija **Ari Pekka Mähönen** johtivat kahta Helsingin yliopiston organismi- ja evoluutiobiologian tutkimusryhmää, jotka ovat ratkaisseet maailman tiedeyhteisöä toistasataa vuotta askarruttaneen arvoituksen: miksi puut eivät kasva pelkästään pituutta vaan myös paksuutta.

Molemmat tutkimukset tehtiin Suomen Akatemian kuusivuotisen huippuyksikkörahoituksen turvin, ja ne tuottivat komeat kaksi suomalaisartikkelia arvostetun *Nature*-lehden samaan numeroon.

Paksuus kasvaa piilossa

Kasvien pituuskasvun mekanismi tunnetaan jo varsin hyvin, koska kasvua aikaansaava solukko eli meristeemi on kasvin pinnalla ja helposti kuvannettavissa. Näiden kantasolujen toiminta selvitettiin jo parikymmentä vuotta sitten.

Paksuuskasvun mekanismi on ollut vaikeampi ongelma jo siksi, että se piileskelee rungon sisällä. Puun pintaa peittää kaarna, jonka alla on ravinteita

kuljettava ja varastoiva nila. Kasvu tapahtuu nilan alla pehmeässä jälsikeroksessa.

Jälsi kasvaa kahteen suuntaan ja erilaistuu sisäreunassaan puusoluiksi, ulkopinnassa nilaksi. Puu on tukirakennetta, mutta nila on hyvin aktiivinen kerros.

Kun ohuet jälsisolut ensimmäisen kerran lähes 150 vuotta sitten nähtiin mikroskoopilla, tutkijat alkoivat pohtia jälleen kasvusta vastaavien ”äitisolujen” eli kantasolujen luonnetta.

Mitkä äitisoluista tekevät nilaa ja mikä puuta? Onko jällessä useanlaisia kantasoluja vai voiko sama kantasolu erilaistua useaan eri suuntaan – ja jos niin on, kuinka se tietää, miten erilaistua?

Työkaluna lituruoho

Sekä Mähösen että Helariutan tutkimusryhmät käyttivät koekasveinaan lituruohoa, kasvitutkijoiden perustyökalua.

Lituruoho on pieni, yksinkertainen ja nopeakasvuinen rikkaruoho, joka normaalisti kukkii, tekee siemenet ja kuolee kahdessa kuukaudessa. Lituruohon juureissa on kuitenkin kaikki samat osat kuin parimetrisessä tammenrungossa: kuori, nila, jälsi ja puumainen sisus.

Jopa lituruoho saa puumaisia piirteitä, jos se kasvaa riittävän pitkään. Jos sen perimään tehdään kukkimisen estävä mutaatio, se voi jatkaa kasvuaan puoli vuotta.

Se ero puilla ja pikkuisella lituruoholla on, että siinä missä kantasolujen ker-

» » »

uuntuu



"Paksuuskasvu on niin tärkeä innovaatio, että se on voinut syntyä evoluutiossa monta kertaa."

Puut voivat paisua monta metriä paksuiksi. Suomalaistutkijoiden ansiosta tiedämme nyt, kuinka se tapahtuu.

»»»

ros on koivulla noin 20 solun paksuinen, lituruoholla paksuutta on vain muutaman solun verran.

Oman tutkimustyönsä aluksi Mähösen ryhmä rakensi tarvittavat geneettiset, histologiset ja mikroskooppiset työkalut.

Ratkaisevaan osaan nousi menetelmä, jolla saatiin aikaan periytyvä muutos vain yhteen soluun kerrallaan. Muutos sai kantasolun ja kaikki sen jälkeläiset tuottamaan sinistä väriainetta.

Vanha mysteeri ratkesi, kun tutkijat näkivät mikroskoopilla, kuinka väriaine oli levinnyt kantasolusta kahteen suuntaan, sekä nilaan että puuhun.

Näin selvisi, että on vain yksi kantasolu, josta tulee sekä nilaa että puuta.

Kantasolun huoltaja

Kantasolun vieressä on aina järjestäjäsolu, joka ylläpitää kantasolua ja pitää huolen prosessin jatkumisesta.

Järjestäjäsolujen monimutkainen säätelymekanismi määrää, missä järjestäjäsolut ja kantasolut sijaitsevat. Kantasolun paikka on dynaaminen ja muuttuu puun kasvaessa.

Aluksi järjestäjäsolu varmistaa kasvuhormoni auksiinin avulla, että sen vieressä oleva kantasolu jakaantuu kahtia. Järjestäjäsolu ohjaa toisen jakautu-

neista soluista muuttumaan niin, että siitä tulee uusi järjestäjäsolu, minkä jälkeen vanha järjestäjäsolu erilaistuu puu- tai nilasoluksi.

Näin on syntynyt uusi kantasolu ja uusi järjestäjäsolu.

Järjestäjäsolut ylläpitävät kantasoluja myös eläimillä, mutta kaikilla lajeilla ne eivät osallistu kasvuun.

Tärkein kasvuhormoni on auksiini, joka on indoli-3-etikkahappo. Sen kumppanina ja vastavaikuttajana toimii sytokiiniini, joka on adeniinipohjainen nukleotidijohdannainen.

Tapahtumia ohjaavat useat muutkin kasvutekijät. Kemikaalien määrät ja sijaintipaikat solussa ratkaisevat, missä ja miten kasvu tapahtuu.

Järjestäjäsolut pitävät myös yllä jatkuvaa kantasolujen ”laaduntarkkailua”. Kantasolut ovat herkkiä vaurioitumaan, ja ne kärsivät helposti mutaatioita aiheuttavista kemikaaleista. Järjestäjäsolut valitsevat, mitkä kantasolut saavat tehdä paljon tytärsoluja ja mitkä joutuvat ohjattuun solukuolemaan.



Geenisaksilla voitaisiin tehdä ihmeitä myös kasvinjalostuksessa.

Rikkakasvi on rokkitähti, puu satsaa tulevaisuuteen

Kasvit noudattavat kasvussaan erilaisia strategioita, jotta ne menestyisivät ja voisivat lisääntyä. Rikkaruohojen strategia on nopeus: kasvi saattaa kasvaa siemenestä kukkivaksi ja tuottaa uudet siemenet parissa kuukaudessa, minkä jälkeen se voi kuolla.

”Rikkakasvit ovat kuin rokkitähtiä, jotka elävät lyhyen ja vauhdikkaan elämän”, kuvailee tutkija Ari Pekka Mähönen.

Toinen strategia on kasvattaa mahdollisimman paljon biomassaa. Näin toimivat puut.

”Puut satsaavat tulevaisuuteen ja kukkivat vasta 20–30-vuotiaina.”

Suuren massan turvin kukkimista ja siementen valmistamista voi lykätä, jos olosuhteet eivät ole suotuisat.

Sopivissa olosuhteissa puidenkin kasvu voi olla ällistyttävän nopeaa. Koivu saattaa venähtää kasvihuoneessa kasvukauden aikana siemenestä kattoon asti ja tehdä jo vuoden iässä kukat ja siemenet, jos lämpötila, kosteus ja hiilidioksidin määrä säädellään optimaalisesti.

Havupuut eivät kuitenkaan pysty samaan. Niiden alkukasvu on hidas.

Juurenkärki huhkii ja huilaa

Yrjö Helariutan tutkimusryhmä selvitti samaan aikaan juurenkärjen kasvua siinä vaiheessa, kun jälttä ei vielä ole. Juurenkärjen nuoret nilasolut käynnistävät puuaineksen ja nilan välissä jälleen muodostumisen ensimmäisen vaiheen ja ohjaavat prosessia.

”Tässä vaiheessa juurenkärjessä tapahtuu todella paljon päivän tai jopa tuntien aikana. Sitten on useamman päivän tauko ennen kuin jälsi aktivoituu. Kasvua säätämällä kasvi säätää rakenteensa arkkitehtuuria. Se päättää, milloin tarvitaan lisää johtosolukkoa ja lisää haaroja”, Helariutta kertoo.

Kun Mähösen ja Helariutan löydökset yhdistetään, ne selittävät, miten kasvit pystyvät jatkuvasti ja erittäin järjestelmällisesti kasvamaan paksuutta niin, että juurien ja runkojen poikkeikkauksissa nähdään samankeskeisiä vuosirenkaita.

Ratkaisevia tekijöitä ovat solujen sijainti ja niiden välillä oleva monimutkainen molekulaarinen signaalintiverkosto.

Monta kaistaa kulkijoille

Solut kommunikoivat toisten solujen kanssa erilaisilla kemiallisilla ja fysi-

kaalisilla viesteillä. Kasvuhormonit ja pienet mikro-rna-molekyylit liikkuvat solusta toiseen.

Säätelyproteiini siirtyy nuoresta nilasolusta ympäröiviin soluihin, aktivoi geenejä ja kiihdyttää kasvua. Proteiinin liikettä pitää kuitenkin säädellä niin, ettei kasvu kiihdy liikaa. Tähän liittyy oma monimutkainen säätelyverkostonsa.

Ravinteita kuljettava nila on pak-suimmillaan tyvässä ylimpien juurihaarojen ylä- ja alimpien oksien alapuolella. Tällä alueella nilassa on eniten liikennettä.

”Se on kuin moottoritie, johon kaikki pienemmät tiet yhtyvät. Tarvitaan monta kaistaa, jotta kaikki kulkijat mahtuvat”, Helariutta kuvailee.

Oksien ja juurien kärjissä tilanne on toinen. Oksankärjessä voi tapahtua mutaatioita, joista toisissa oksissa ei tiedetä mitään. Tällaista muuntelua on havaittu jopa yli tuhatvuotisen tammen eri puolilla olevissa oksissa. Erot ovat tosin vähäisiä.

Huikat mahdollisuudet

Suomalaistutkijoiden tulokset voivat helpottaa ja nopeuttaa tulevaisuuden kasvinjalostusta merkittävästi, joskin käytännön tasolle on vielä matkaa.

Perustutkimus tuottaa tietoa siitä, mitkä geenit kasvissa tai eläimessä vaikuttavat mihinkin prosessiin. Tämä tieto auttaa myöhemmin jalostajaa, joka pyrkii tiettyihin ominaisuuksiin.

Uusia viljelykasveja tarvitaan välttämättä ihmiskunnan ravinnontuotantoon, kun ilmasto lämpenee ja kasvuolosuhteet käyvät nykyisille kasvilajikkeille epäsuotuisiksi.

”Meidän on tulevaisuudessa tuotettava yhä pienemmällä pinta-alalla ja yhä tehokkaammin sekä puuta että elintarvikkeita, jotta voimme säilyttää koskemattoman luonnon sellaisenaan”, Helariutta painottaa.

Ari Pekka Mähönen muistuttaa jalostuksen mahdollisuuksista.

”Kasvinjalostuksen potentiaali on valtava. Puilla tämä potentiaali on lähes käyttämättä”, hän huomauttaa.

Puut voidaan saada tuottamaan uusia materiaaleja, kuten muovien raaka-aineita fossiilisen öljyn tilalle.

Puiden sisältämän ligniinin ja selluloosan keskinäistä suhdetta ja rakennetta voidaan muuttaa, jolloin selluloosan jatkojalostus esimerkiksi sokereiksi



Aivan erinäköiset kaalit ovat kaikki syntyneet villikaalista vain muutaman geenimutaation seurauksena.

Geenimuuntelun rajoitukset harmittavat jalostajia

Genomieditoinnin ja uuden crisprcas9-tekniikan, niin kutsuttujen geenisaksien, avulla kasvista voidaan tehdä täsmälleen alkuperäisen kaltainen versio, jossa on yksi pistemutaatio täsmälleen halutussa paikassa.

Pieni geenimuutos voi saada aikaan suuren muutoksen kasvin ilmiössä. Esimerkiksi hyvinkin erinäköiset kerräkaali, kukkakaali, parsakaali, lehtikaali, ruusukaali ja kyssäkaali ovat kaikki syntyneet villikaalista vain muutaman geenimutaation seurauksena.

Pienestä ja kitkerästä villitomaatista saatiin jalostettua uusi taudinkestävä lajike alle kahdessa vuodessa editoimalla peräkkäin kuutta eri geeniä.

Jalostajia kuitenkin turhauttaa Euroopan nykyinen suhtautuminen geenimuuntelutekniikkaan.

Vanhastaan sallittua on niin sanottu mutaatiojalostus, jossa kemikaa-

leilla tai säteilyllä aiheutetaan kasviin paljon sattumanvaraisia mutaatioita. Muutosten hyödyt ja haitat punnitaan, ja tuloksista valitaan sopivimmat risteyttämällä tapahtuvaan jatkojalostukseen.

Tällä tavoin kehitettyjä kasvilajikkeita on käytössä paljon, eikä niitä pidetä gm-organismeina.

Jos kasviin kuitenkin tehdään laboratoriossa yksi pistemutaatio tiettyyn kohtaan, kasvia koskevat ankarat gm-säännökset, ja se on testattava raskain menetelmin.

Tämä on tehnyt gm-lajikkeet suurten yhtiöiden ja suuren rahan tuotteiksi. Sadat tutkimuslaitosten kehitämät terveelliset, hyödylliset tai helposti viljeltävät lajikkeet ovat jääneet laboratorioihin. Sellaisia ovat esimerkiksi A-vitamiinipitoinen kultainen riisi tai viljelyn aikana merkittävästi pienempiä metaanipäästöjä aiheuttava riisi.

voi helpottaa. Ligniinistä voidaan tehdä helpommin hyödynnettävää.

Uudet puulajikkeet voivat kasvaa nykyistä paremmin tai erilaisessa ilmastossa tai sitoa nykyistä enemmän ja pa-

remmin hiiltä. Koivusta voidaan tehdä ruoantuottaja. □

Kirjoittaja on tiedetoimittaja.
raili.leino@gmail.com