

## NURMIKASVIEN TALVENKESTÄVYYS – KARAISTUMINEN

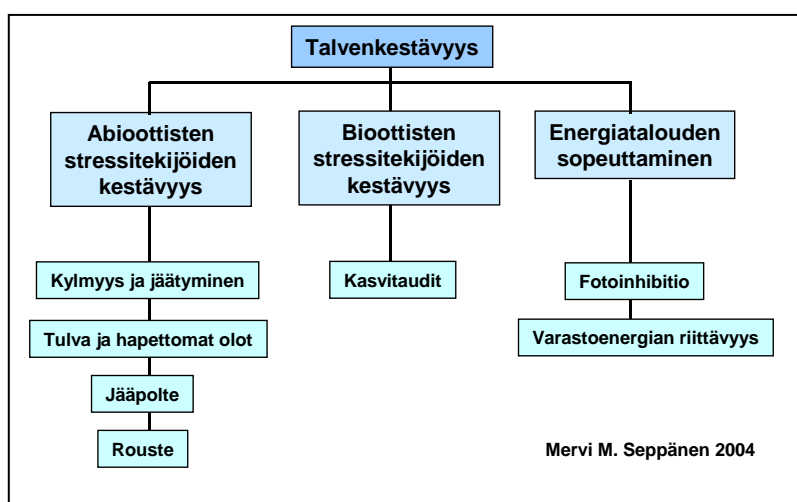
MMT Mervi Seppänen, Helsingin yliopisto, Soveltavan biologian laitos, kasvinviljelytiede, mervi.seppanen@helsinki.fi

Nurmikasvit, kuten monet muutkin pitkään ja kylmään talveen sopeutuneet kasvilajit, valmistautuvat talveen kylmäkaraistumalla. Karaistumisen aikana monet fysiologiset, biokemialliset ja molekyylibiologiset reaktiot johtavat kasvien kylmänkestävyyden lisääntymiseen sekä energiatalouden sopeuttamiseen epäedullisiin oloihin.

Pohjoisille alueille sopeutuneet nurmikasvit, kuten timotei-lajikkeista Iki, aloittavat karaistumisen hyvin varhain syksyllä. Karaistumisen alkaminen tarkoittaa samalla kasvun pysähtymistä ja energian varastoimista talvea varten. Hyvin sopeutuneet lajit ja lajikkeet pystyvät tunnistamaan lähestyvän talven herkästi kahdellakin tapaa; päivän pituuden lyhentymisenä sekä yölämpötilojen laskun kautta. Vastaavasti pohjoisiin kasvuoloihin sopeutumattomat lajit ja lajikkeet, kuten timoteilajikkeista Bilbo, eivät tunnista talven tuloa, vaan jatkavat kasvuaan pitkälle syksyyn. Näiden lajikkeiden sadontuottokyky on loppusyksystä parempi, mutta karaistumisaika ennen talven tuloa jää lyhyeksi eikä kylmänkestävyys kehity vastaavalle tasolle kuin pohjoisten genotyyppien. Lajien ja lajikkeiden väliset erot karaistumiskyvyssä ja kylmänkestävyydessä johtuvat niiden geeniperimän erilaisuudesta.

Viljelykasvien hyvä talvenkestävyys ja viljelyvarmuus pohjoisessa vaatii kylmänkestävyyden lisäksi myös muita kestävyysominaisuuksia kuten esimerkiksi tulvan, jääpoltteen ja kasvitautien kestävyuden. Talven aikaiset stressitekijät jaetaan kahteen ryhmään: abioottisiin ja bioottisiin stressitekijöihin. Näiden lisäksi energiatalouden sopeuttamisella on ratkaiseva merkitys kasvien talvehtimisen onnistumiselle (Kuva 1). Karaistumisen aikana tapahtuvat fysiologiset, biokemialliset ja molekyylibiologiset muutokset lisäävät kasvien kestävyttä niin abioottisia kuin bioottisia stressitekijöitä kohtaan.

Abioottisia stressitekijöitä ovat talven aikana kylmyys, liika kosteus eli tulvat, jääpolte sekä rouste. Jääpoltteen seurauksena talvehtivat kasvit peittyvät sulamisvesien jäädyttyä yhtenäisen jääpeitteen alle. Sekä tulva että jääpolte aiheuttavat talvehtiville kasveille hapettomat olot eli nk. anaerobisen stressin. Hapettomien olojen lisäksi jääpoltteen alla viljelykasvit kärsivät myös kylmyydestä, sillä jääkerros johtaa hyvin lämpöä eikä toimi eristävänä kerroksena vaan kasvit altistuvat suoraan ulkoilman pakkaslämpötiloille. Rousteella tarkoitetaan vaurioita, jotka aiheutuvat talvehtivien kasvien juurille jääkiteiden ja roudan seurauksena. Bioottisia stressitekijöitä ovat kasvitaudit kuten talvituhosienet.



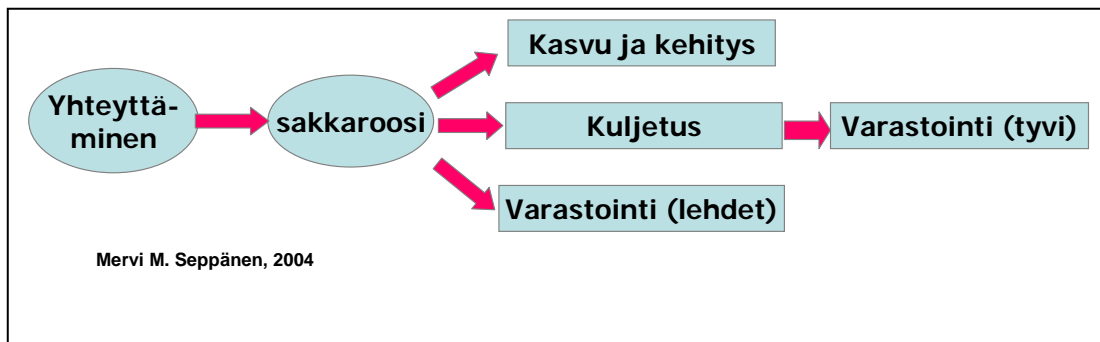
Kuva 1. Nurmikasvien talvenkestävyyteen vaikuttavat stressitekijät.

Karaistumisen aikana tapahtuvalla energiatalouden sopeuttamisella tarkoitetaan esimerkiksi yhteyttämiskyvyn sopeutumista alhaiseen lämpötilaan. Kun yhteyttäminen toimii häiriöttä alhaisessa lämpötilassa, vähenee riski yhteyttämiskoneiston vaurioitumiselle eli fotoinhibitiolle. Hyvin talvenkestävät viljelykasvit pysyvät tehokkaasti sopeuttamaan koko energiatalouden muuttuneisiin olosuhteisiin, tämä tarkoittaa niin energian vastaanoton kuin kulutuksen sopeuttamista, kasvun pysähtymistä ja yhteyttämisessä muodostetun energian uudelleenohjausta kasvusta varastointiin (Kuva 2).

Karaistumisen aikana tapahtuu lukuisia muutoksia kasvin fysiologiassa ja biokemiassa. Kymmenien vuosien tutkimustulosten perusteella voidaan

vetää johtopäätöksiä siitä, mitkä muutokset ovat merkittävimpiä nimenomaan talvehtivien nurmikasvien menestymiselle.

Kuten jo aiemmin todettiin, on kasvin energia-aineenvaihdunnan sopeuttaminen tärkeä tapahtuma karaistumisen aikana. Yhteyttämisessä tuotettu energia kohdennetaan kasvun ja lehtiin tapahtuvan välivarastoinnin sijaan talvehtiviin kasvinosiin, kuten timoteilla tyvisipuliin (Kuva 2). Mitä pidempi talvi, sitä merkittävämmäksi energiavarastot muodostuvat, sillä nurmikasvit kuluttavat energiaa koko talvikauden ajan. Talvehtimislämpötilan runsas vaihtelu, jaksottaiset suojasääät sekä tulvat lisäävät talvikauden energiakulutusta ja lisäävät varastoituneen energian merkitystä.



Kuva 2. Yhteyttämisestä seurauksena muodostuneen sakkaroosin kohdentamisvaihtoehdot.

Karaistumisen aikana myös kasvisolujen sokeripitoisuus nousee. Sokereiden lisäksi soluun kertyy erilaisia pieniä molekyylejä, osmolyyttejä, jotka väkevöittävät solunestettä ja alentavat samalla solun jäätympistettä (Kuva 3). Karaistumisen aikana solusta poistuu myös vettä, joka vähentää solunestettä ja jäätyvän veden määrää. Lämpötilan laskiessa alle solunesteen jäätympisteen, jäätä alkaa muodostua solujen ulkopuolelle nk. soluvälitilaan. Jäätyvän veden määrän väheneminen sekä osmolyyttien runsas määrä karaistuneessa solussa vähentää veden poistumista kasvavaan jääkiteeseen. Tällöin jääkiteen koko ei aiheuta mekaanisia vaurioita talvehtivalle kasvisolulle (Kuva 3).

Karaistuminen aikaansaa myös huomattavia muutoksia solukalvojen koostumuksessa. Solukalvojen tyydyttymättömien rasvahappojen määrä lisääntyy tyydyttyneiden rasvahappojen kustannuksella, mikä lisää solukalvojen notkeutta alhaisessa lämpötilassa. Karaistumattomien ja karaistuneiden solukalvojen notkeutta voidaan verrata jääkaapissa säilytetyn

margariinin (tyydyttymättömiä rasvahappoja) ja voin (tyydyttyneitä rasvahappoja) notkeuden eroihin.

Karaistumisen aikana tapahtuvien kalvomuutosten seurauksena karaistuneet kasvisolut pystyvät palautumaan alhaisemmista jäätymlämpötiloista kuin karaistumattomat (Kuva 3).

Karaistumisen aikana tuotetaan myös uusia entsyymejä, jotka toimivat paremmin alhaisissa lämpötiloissa. Tämä varmentaa häiriöttömän aineenvaihdunnan karaistumisen ja talvehtimisen aikana. Entsyymien lisäksi tuotetaan joukko uusia proteiineja, joista osan arvellaan vaikuttavan suoraan talvehtivan kasvin kestävyyyden lisääntymiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi jääkiteiden muotoa säätelevät proteiinit (anti-freeze proteiinit), joita on tunnistettu etenkin hyvin kylmänkestäviltä viljakasveilta.

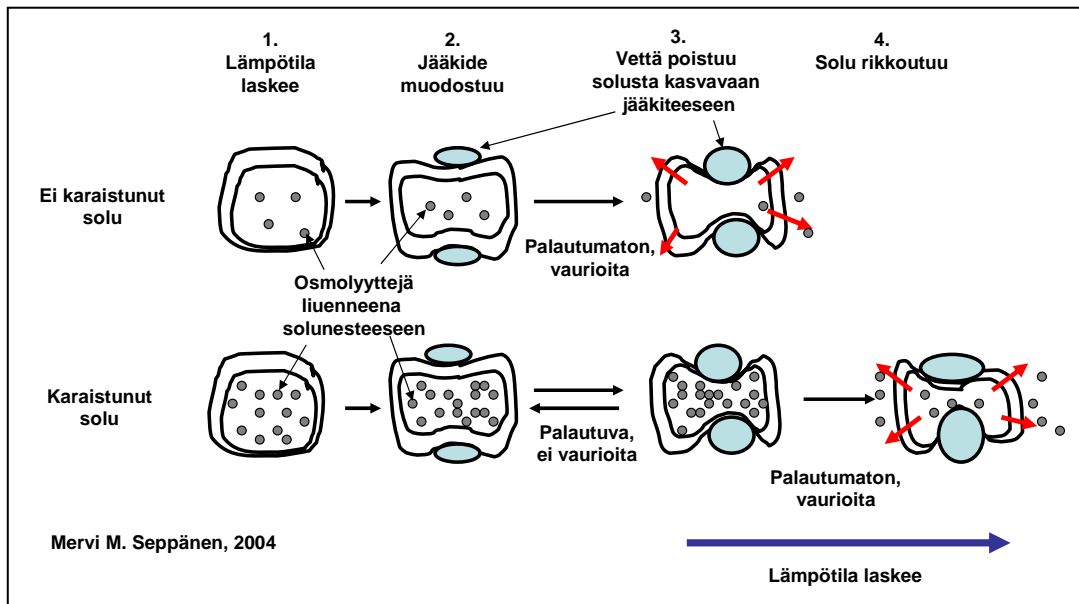
Karaistuminen lisää nurmikasvien kestävyyttä useita talven stressitekijöitä kohtaan. On esimerkiksi havaittu, että jäätyminenkestävyydellä ja talvituhoisien kestävyydellä voi olla proteiinitasolla merkittäviä

yhdistäviä tekijöitä. Samoin kylmän- ja tulvankestävyys paranevat karaistumisen aikana yhtäaikaaisesti. On tosin huomioitava, että em. stressitekijöiden kestävyysmekanismit ovat ainoastaan osittain samanlaisia eikä esimerkiksi tulvankestävyyden parantuminen johda välttämättä kuin vähäiseen kylmänkestävyyden lisääntymiseen. Päinvastaisiakin esimerkkejä on, sillä kylmän- ja jäätyminenkestävyydelle tärkeä sokereiden määrä solussa ei välttämättä ole hyväksi taudinkestävyydelle.

Karaistuminen vaikuttaa siis nurmikasvien koko aineenvaihduntaan ja sitä kautta lukuisien geenien toimintaan. Talvenkestävyyden määräävätkin lukuisat

geenit eikä voida nimetä yhtä tai kahta geeniä, joiden toimintaa tehostamalla talvehtimisen onnistuminen voitaisiin varmentaa. Talvenkestävyyden lisääminen onkin jalostajalle haasteellinen tehtävä. Syysviljoilla hyvin kylmänkestävät lajikkeet jalostettiin Kanadassa jo 1900-luvun alkupuolella eikä kylmänkestävyyttä ole tämän jälkeen merkittävästi pystytty lisäämään. Mitä mahdollisuuksia uudet tutkimusmenetelmät ja -tekniikat tuovat tullessaan, sitä jääme mielenkiinnolla odottamaan.

*Asiasanat: karaistuminen, kylmänkestävyys, talvenkestävyys, stressi*



Kuva 3. Jään muodostuminen ei-karaistuneen ja karaistuneen kasvisolun ulkopuolelle lämpötilan laskiessa. Karaistunut solu pystyy palautumaan alemmasta pakkaslämpötilasta osittain solunesteeseen liunneiden osmolyyttien ja sitä kautta kohonneen jäätympisteen avulla, toisaalta solukalvoissa tapahtuneiden muutosten seurauksena.