

## BIOLOGINEN TYPENSIDONTA

MMM Anna Sipilä

### Bakteerit sitovat ilmakehän typpeä

Monet bakteerit voivat sitoa ilmakehän typpeä (N<sub>2</sub>) ja muuttaa sen kasveille käyttökelpoiseen muotoon ammoniumtypeksi (NH<sub>3</sub>). Tätä kutsutaan biologiseksi typensidonnaksi, ja sillä on suuri merkitys erityisesti palkokasvien ravinnetaloudessa.

Suurin osa typpeä sitovista bakteereista elää vapaana maassa. Näihin kuuluu yli 30 bakteeri- ja syanobakteerisukua. Maailmanlaajuisesti ne ovat tärkeitä, mutta Suomen viileässä ilmastossa niiden merkitys on suhteellisen vähäinen.

Osa typpeä sitovista bakteereista muodostaa symbiooseja korkeampien kasvien kanssa. Tällaisessa symbiootissa bakteerit luovuttavat isäntäkasville sitomaansa typpeä ammoniakki-muodossa ja saavat vastapalveluksena tarvitsemiin muita ravinteita ja hiilihydraatteja. Symbiootiset typensitobakteerit elävät kasvien juurinystryröissä. Lisäksi on olemassa puolisympioottisia typensitotajia, jotka elävät joidenkin kasvien juuriston ympärillä.

Yleisin symbioosityyppi esiintyy palkokasvien (*Fabaceae*) ja esimerkiksi *Rhizobium*- ja *Sinorhizobium*-bakteerisukujen (ritsobien) välillä. Typensitobakteerit ovat hyvin erikoistuneita ja muodostavat nystyröitä vain tiettyjen kasvilajien kanssa. Apiloiden kanssa juurinystryröitä muodostaa *Rhizobium leguminosarum* biovar. *trifolii* ja herneen ja virnojen kanssa *Rhizobium leguminosarum* biovar. *viciae*. Sinimailaseen erikoistunut bakteeri on *Sinorhizobium meliloti*. Toinen tavallinen symbioosityyppi esiintyy joidenkin puulajien kuten leppien ja *Frankia*-maabakteerien välillä.

### Typensidonta vaatii anaerobiset olosuhteet

Typensidontan on tapahduttava hapettomissa olosuhteissa, koska happi tuhoaa typensidonnassa tarvittavan nitrogeenaasiensyymiin. Siten typpeä sitovat bakteerit joko toimivat luonnollisesti hapet-

tomissa olosuhteissa kuten veden alla tai luovat itselleen sisäisen hapettoman ympäristön.

Symbioottiset typpeä sitovat bakteerit elävät nystyröissä, jotka ovat erikoistuneita isäntäkasvin osia. Palkokasveilla bakteerit elävät juuriin muodostuneissa nystyröissä. Kasvit säännöstelevät nystyröiden kaasunläpäisevyyttä niin, että happipitoisuus pysyy tasolla, jolla solujen hengitys toimii mutta nitrogeenaasi ei tuhoudu. Nystyrät sisältävät happea sitovaa hemiproteiinia, leghemoglobiinia, joka antaa toimiville nystyröille vaaleanpunaisen värin. Sen tehtävänä on auttaa siirtämään hengityksessä tarvittavaa happea nystyrän bakteerisoluille.

### Symbioosin muodostuminen

Palkokasvien ja typensitobakteerien välinen symbioosi ei ole välttämätön. Molemmat voivat elää ilman mitään kosketusta toisiinsa. Vapaana maassa eläessään *Rhizobium*-suvun bakteerit eivät kuitenkaan sido typpeä. Maan typpipitoisuuden ollessa vähäinen symbiontit etsivät toisensa yksityiskohtaisen viestinvaihdannan avulla.

Ensimmäisessä vaiheessa juuret erittävät kemiallisia houkutteita kuten flavonoideja ja betaiineja, jotka aktivoivat bakteerit toimimaan. Bakteerit liikkuvat maassa kohti isäntäkasvin juuria ja lähettävät myös omia signaalimolekyylejään, jolloin juuri vastaavasti aktivoituu. Bakteerit tarttuvat juurikarvojen soluseiniin, jolloin juurikarva kihartuu ja bakteerit sulkeutuvat sen sisälle. Tämän jälkeen bakteerit tunkeutuvat juurikarvan soluseinän läpi ja kasvavat juurten pintakerroksen solukoihin. Lisääntyessään ne muuntuvat suurikokoisiksi ja monihaaraisiksi, typensidontaan kykeneviksi bakteeroideiksi.

Nystyräbakteerit vaihtavat ravinteita kasvin kanssa juurinystryrään kehittyvän johtojännerakenteen kautta. Lisäksi nystyrässä on suojaava solukerros, joka estää hapen pääsyn juurinystryrän sisäosaan. Nystyrässä voi olla myös kasvusolukko, joka ohjaa nystyrän muodon sylinterimäiseksi. Tällaisia nys-

tyröitä on esimerkiksi herneellä. Muuten nystyrät ovat pyöreitä.

### Typensidonta

Biologinen typensidonta tuottaa molekyylyitypestä ammoniakkia. Kokonaisreaktio on seuraava:



Tätä reaktiota katalysoi nitrogenaasientsyymi. Se muodostuu kahdesta proteiinista, Fe-proteiinista ja MoFe-proteiinista, joista kummallakaan ei ole yksinään katalyyttistä aktiivisuutta.

Typen pelkistysreaktiossa ferredoksiini luovuttaa elektronin Fe-proteiinille, joka hydrolysoi ATP:n ja pelkistää MoFe-proteiinin. MoFe-proteiini voi sen jälkeen pelkistää useita substraatteja, mutta luonnollisissa oloissa se reagoi vain typen ja vedyn kanssa.

Nitrogenaasi pelkistää myös vetyioneja vetykaasuksi. Juurinystyräbakteerien nitrogenaasille annettua energiasta 30–60 % voidaan hukata vedyn pelkistykseen, mikä pienentää typen sidonnan tehokkuutta. Jotkut nystyräbakteerit kuitenkin sisältävät hydrogenaasientsyymejä, jotka voivat hajottaa H<sub>2</sub>-molekyylejä ja parantavat siten typensidonnan tehokkuutta.

Typpeä sitovat bakteerit luovuttavat kasveille ammoniakkia, joka täytyy muuntaa orgaaniseen muotoon ennen kuljetusta kasvin muihin osiin. Osa palkokasveista, esimerkiksi herne, apila ja härkäpapu, kuljettavat typen amideina, etupäässä aminohappoina kuten asparagiinina tai glutamiini-

na. Trooppisen alueen palkokasvit kuten soija- ja tarhapapu kuljettavat typen ureideina.

### Ympäristötekijöiden vaikutus typensidontaan

Maan ravinnepitoisuus vaikuttaa symbioottisen typensidonnan tehokkuuteen. Fosforilla näyttää olevan suora vaikutus bakteeroideihin. Erityisen tärkeää se on symbioosin muodostumisvaiheessa. Kasvit hyödyntävät typensidontaa vain jos ne eivät saa tarpeeksi typpeä maasta, joten maan korkea typpipitoisuus vähentää ja alhainen edistää typensidontaa. Nitraatilla on myös suora typensidontaa rajoittava vaikutus. Maan liika kosteus tai veden puute vähentävät typensidontaa. Myös maan happamuus estää typensitobakteerien kasvua ja symbioosin muodostumista. Alumiini on myrkyllistä erityisesti Rhizobium-lajeille. Suomen oloissa myös kylmyys heikentää typensidontaa.

Symbioottisen typensidonnan edellytyksenä on, että maassa on sopivia nystyräbakteereita. Useimmilla pelloilla on riittävästi apiloille ja virnoille sopivia Rhizobium-bakteereita. Sen sijaan herneelle tai pavulle sopivia bakteereita on vähemmän. Typensidonnan onnistuminen voidaan kuitenkin varmistaa näilläkin kasvilajeilla ympäällä kylvösiemen sopivalla bakteerivalmisteella. Ymppäyksestä voi olla hyötyä apilallekin, jos sitä viljellään ensi kerran jollakin pelloilla.

### Lisätietoa:

Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. 3. painos. Sunderland. Sinauer Associates. 690 s.

*Asiasanat: typensidonta, symbioosi, palkokasvit, typensitobakteerit, juurinystyrät*