

Perunan uudet lannoitteet ja lannoitusmenetelmät

Anna Sipilä, Mirja Kemppainen, Anu Markus, Elina Virtanen



Perunan uudet lannoitteet ja lannoitusmenetelmät

PotatoNow-hankkeen kirjallisuusselvitys

Anna Sipilä, Mirja Kempainen, Anu Markus, Elina Virtanen

ISBN: 978-952-487-486-1 (Painettu)
ISBN: 978-952-487-487-8 (Verkojulkaisu)
ISSN 1798-6419
URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-487-8>
<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti115.pdf>
Copyright: MTT
Kirjoittajat: Anna Sipilä, Mirja Kemppainen, Anu Markus, Elina Virtanen
Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen
Julkaisuvuosi: 2013
Kannen kuva: Tapio Uotila/MTT Oulu

Perunan uudet lannoitteet ja lannoitusmenetelmät

Anna Sipilä, Mirja Kemppainen, Anu Markus, Elina Virtanen

MTT Oulu, Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, PL 413, 90014 Oulun yliopisto
anna.sipila@mtt.fi, mirja.kemppainen@mtt.fi, anu.markus@mtt.fi, elina.virtanen@mtt.fi

Tiivistelmä

Viime vuosina Suomen lannoitemarkkinoille on tullut uudenlaisia tuotteita ja lannoitusmenetelmiä, kuten nestemäiset lannoitteet ja mikrobeja sisältävät kasvin kasvua edistävät valmisteet. Tätä ennen perunan lannoitus Suomessa on pitkään perustunut istutuksen yhteydessä sijoitettaviin rakeisiin kompleksilannoitteisiin, joiden on arvioitu sisältävän riittävästi ravinteita koko lyhyen kasvukauden tarpeisiin.

Uusilla tuotteilla tavoitellaan korkeampaa satotasoa, ravinteidenkäytön tehostumista ja ympäristövaikutusten vähenemistä. Kun Euroopassa markkinoilla yleistyy liukoiset kompleksilannoitteet, Pohjois-Amerikassa tutkitaan hidasliukoisten lannoitteiden käyttöä. Kummassakin on tavoitteena, että peruna saisi juuri tarvitsemansa määrän ravinteita juuri oikeaan aikaan. Hidasliukoisen lannoitteen tulee olla kasvin kasvukauden aikaisia tarpeita varten suunniteltu. Suurimmat edut niiden käytössä on saatu ravinnehävikien vähenemisenä, mutta kehitystyön tuloksena myös satotasoissa on päästy viime vuosina tavanomaisia lannoitteita parempiin tuloksiin.

Perunan kalsiumlannoituksella ei yleensä ole vaikutusta sadon määrään, mutta sen merkitys mukulan laatuun, taudinkestävyyteen ja siemenperunan itämiseen on suuri. Tutkimusten mukaan mukula ei saa kalsiumia perunan pääjuurten kautta vaan mukulan ja maavarsien hiusjuurien kautta. Tämän vuoksi on tärkeää että mukulapesän alueella on riittävästi kalsiumia. Parhaat tulokset perunan kalsiumlannoituksessa on saatu, kun liukoisia kalsiumlannoitteita on levitetty kasvustoon useita kertoja kasvukauden aikana.

Maanparannusaineilla on usein lannoituksellisiakin vaikutuksia. Humushappotuotteilla on saatu merkittäviä lisäyksiä perunan satoon ja ravinteiden käytön tehokkuuteen. Tulokset ovat kuitenkin vaihdelleet eri kokeissa, ja riippuvat suuresti kasvuolosuhteista. Paperi- ja selluteollisuuden sivuvirtoja on alettu käyttää maanparannusaineina, ja niillä on myös lannoitusvaikutuksia.

Erilaisten mikrobien käyttö perunan kasvun edistäjinä ja myös kasvinsuojelullisissa käyttötarkoituksissa on ollut monien tutkimusten kohteena. Maaperästä onkin löytynyt lukuisia lupaavia mikrobikantoja, joita on myös kaupallistettu. Tutkimusjulkaisujen tietojen ja markkinoilla olevien tuotteiden yhdistäminen on kuitenkin vaikeaa, jos tuotteen valmistaja tai myyjä ei paljasta tuotteen tarkkaa sisältöä eikä itse hyödynnä tutkimuksia markkinoinnissa.

Uudet lannoitteet ja lannoitusmenetelmät voivat tuoda merkittäviä sadonlisäyksiä perunalle. Parantuneella ravinteiden hyväksikäytöllä on myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Uusista tuotteista tarvitaan kuitenkin kokemuksia ja tuloksia Suomen olosuhteista, ennen kuin voidaan sanoa, mikä merkitys niillä on perunan kasville ja ympäristölle. On myös otettava huomioon uusien tuotteiden ja menetelmien taloudelliset vaikutukset tuotannossa..

Avainsanat:

Lannoite, lannoitusmenetelmä, peruna

New fertilizers and fertilization techniques for potato

Anna Sipilä, Mirja Kemppainen, Anu Markus, Elina Virtanen

MTT Oulu, Biotechnology and Food Research, P.O. Box 413, 90014 University of Oulu,
anna.sipila@mtt.fi, mirja.kemppainen@mtt.fi, anu.markus@mtt.fi, elina.virtanen@mtt.fi

Abstract

A new range of products and fertilizer application methods, such as liquid fertilizers and microbe-containing plant growth enhancer products, are emerging in the Finnish fertilizer market. Until recently, potato fertilization in Finland has been based on granular complex fertilizers, which are used in sufficient concentrations to meet plants' need of nutrients during the short growing season.

The new products are expected to increase potato yield and nutrient use efficiency, and to reduce the impact on the environment. In Europe, the use of liquid complex fertilizers has increased in potato fertilization. At same time, in North America the use of slow releasing granular fertilizers are studied. Both products aim to provide potato plants the right amount of nutrients at the right time of the growing season. The use of slow releasing fertilizers should be carefully planned according to the needs of plants and the growing season. The main advantage of the use of slow releasing fertilizers is a reduction in nutrient loss. However, due to the development of the products, the levels of potato yield have also increased in recent years.

Although calcium application does not generally affect the yield, calcium is an important nutrient for the tuber quality, disease resistance and seed germination. Studies have shown that tuber does not take calcium via main roots, but via root hairs of stolons and through tuber skin. It is therefore important to provide enough calcium in the tuber and stolon area during bulking period. Soluble calcium fertilizers applied to the crop several times during the growing season give the best results.

Many soil conditioners also affect the plant nutrition. With the humic products significant increases in potato yield and nutrient use efficiency have been achieved. However, the results vary in different experiments and strongly depend on growth conditions. The waste materials of pulp and paper industry are a new type of soil conditioners that have also a fertilizing effect.

Various types of microbial growth promoters have been a subject of many studies. A number of promising microbial strains has been identified, and several of them have been commercialized. Sometimes it is difficult to link the scientific data to the products available in the market, because the information on exact content of the product is not disclosed.

New fertilizers and fertilization techniques may contribute to significant increases in potato yield. Improved nutrient use efficiency has also a positive impact on the environment. However, more experience and results are needed from our conditions, before it is possible to establish the importance of the new products on potato growth and the environment in our Finnish conditions. The cost-effectiveness of the new products and their use should also be evaluated.

Keywords:

Fertilizer, fertilizer technique, potato

Sisällysluettelo

1 Johdanto	6
2 Lannoitteet.....	8
2.1 Hidasliukoiset typpilannoitteet.....	8
2.2 Kasvukaudella annettava kalsiumlannoitus	9
3 Maanparannusaineet.....	11
3.1 Humushapot	11
3.2 Paperiteollisuuden sivujakeet.....	11
4 Mikrobit.....	13
4.1 Kasvin kasvua edistävät maan mikrobit biolannoitteena	13
4.2 Kasvin kasvua edistävien mikrobien vaikutustapoja	13
4.3 Mikrobit perunan lannoituksessa	14
4.4 Mikrobivalmisteiden käyttö	16
5 Yhteenveto	17
Kirjallisuus	18

1 Johdanto

Viime vuosina Suomen lannoitemarkkinoille on tullut uudenlaisia tuotteita ja lannoitusmenetelmiä, kuten nestemäiset lannoitteet ja mikrobeja sisältävät kasvin kasvua edistävät valmisteet. Yhteistä näille on se, että niistä on saatavilla vähän puolueetonta, tutkimukseen perustuvaa tietoa, ja usein tuotteiden tarkempi sisältökin kuuluu liikesalaisuuden piiriin.

Perunan lannoitus Suomessa on pitkään perustunut istutuksen yhteydessä sijoitettaviin rakeisiin kompleksilannoitteisiin, joiden on arvioitu sisältävän riittävästi ravinteita koko lyhyen kasvukauden tarpeisiin. Tarvittaessa, etenkin silloin kun kompleksilannoitteen sisältö ei sovi riittävän hyvin yhteen pellon ravinnetilan kanssa, lisäravinteita annetaan yksi- tai kaksiravinteisella tuotteella, joka useimmiten levitetään peltoon hajalevityksenä ennen istutusta.

Mualla Euroopassa perunan lannoitus on aikaisemmin perustunut yksi- ja kaksiravinteisiin lannoitteisiin sekä ns. blendeihin eli mekaanisiin lannoiteseoksiin, joita käytetään hajalevityksenä ennen istutusta tai kasvustoon levitystä kesän aikana. Erityisesti typpilannoitteen jakaminen useaan erään kasvukauden aikana on vakiotoimenpide, mutta myös typpilannoituksen kokonaismäärät ovat ratkaisevasti suurempaa tasoa 200–300 kg/ha, ja kasvukausi on pidempi kuin Suomessa.

Uusi trendi eurooppalaisessa perunanviljelyssä on nestemäisten kompleksilannoitteiden käyttö. Niiden myötä on alettu markkinoida myös erityisiä kasvinravitsemusohjelmia, joissa kullekin peltolohkolle räätälöidään omat lannoitteet ja lannoitusohjelmat maan ominaisuuksien, ravinnetilan, lajikkeen ja käyttötarvikkeen mukaan. Tarkennetulla kasvinravitsemusohjelmalla tavoitteena on antaa kasville oikeita ravinteita oikeaan aikaan, jolloin päästäisiin sekä parhaaseen mahdolliseen kasvuun että entistä vähäisempään ravinteiden huuhtoutumiseen tai pidättymiseen maahan.

Pohjois-Amerikassa kiinnostusta herättää aivan toisenlainen tapa parantaa lannoituksen hyötysuhdetta ja erityisesti vähentää lannoituksen ympäristövaikutuksia. Istutuksen tai multauksen yhteydessä annettavilla hitaasti liukenevilla lannoitteilla pyritään siihen, että ravinteita on käytettävissä sopivassa määrin koko kasvukauden ajan. Samalla myös työmäärä ja peltojen konekuormitus vähenee, kun lannoituskertoja on vähemmän.

Kemiallisten lannoitteiden lisäksi viime vuosina markkinoille on tullut mikrobeja sisältäviä valmisteita, joiden on tarkoitus tehostaa ravinteiden hyväksikäyttöä ja parantaa kasvin kasvua eri tavoin. Monilla mikrobeilla on havaittu olevan myös kasvinsuojelullisia vaikutuksia, jolloin niiden kasvua parantava vaikutus on välillinen.

Uusista lannoitustuotteista ja -menetelmistä on julkaistu hyvin vaihtelevasti tuloksia tieteellisissä julkaisuissa. Mikrobeista ja hitaasti liukenevista lannoitteista on kohtuullisen paljon julkaisuja, kun taas nestemäisistä kompleksilannoitteista ei juuri lainkaan. Lisäksi julkaisuissa harvemmin kerrotaan sekä käytetyn tuotteen tarkka sisältö että sen kauppanimi, jos tuote ylipäättään on vielä markkinoilla.

Ulkomailla tehtyjen lannoitustutkimusten tuloksien arvioinnissa ja hyödyntämisessä Suomen oloissa tulee olla varovainen. Useissa tutkimuksissa on kontrollikäsittelynä typen osalta jaettu urea- tai nitraattipohjainen lannoituskäsittely ja fosforin kohdalla monoammoniumfosfaatti (MAP), kun taas Suomessa sopivin vertailukohde olisi normaalin viljelykäytännön mukainen kerralla annettu rakeinen kompleksilannoite.

Lisäksi kasvukauden olosuhteet ja maan ominaisuudet saattavat erota suurestikin. Eteläisempään Eurooppaan tai Pohjois-Amerikan perunantuotantoalueisiin verrattuna Suomessa erityisesti lyhyt kasvukausi ja pitkä päivänpituus nopeuttavat perunan kasvurytmiä ja lyhentävät sitä aikaa, jolloin kasvi eniten tarvitsee ravinteita. Suuri osa kasvukaudesta on varsin viileää ja sadanta on suurempi kuin haihdunta. Monien lannoitustuotteiden vaikutusten on havaittu riippuvan maan humuspitoisuudesta ja mikrobiologisesta aktiivisuudesta. Erilaisten olosuhteiden vuoksi muualla saatuja tuloksia ei voida suoraan siirtää suomalaiseseen perunantuotantoon.

Typpilannoituksen kasvukaudenaikaiseen jakamiseen liittyviä tutkimuksia ei tässä tarkemmin käsitellä. Se ei ole varsinaisesti uusi asia, ja vaikutukset perunan kasvuun riippuvat suuresti olosuhteista. Lisäksi tutkimustuloksiin vaikuttaa merkittävästi vertailtavat lannoitustuotteet ja -määrät. Suomessa on vuosien varrella testattu typen jakamista perunalla, mutta sillä ei yleensä ole saatu toivottua vaikutusta.

Tähän kirjallisuuskatsauksessa on tarkasteltu maailmalla viime vuosina tehtyjä lannoitustutkimuksia siltä osin kuin tietoja on ollut saatavissa. Kirjallisuuskatsaus toteutettiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen PotatoNow -hankkeessa, jonka rahoittajina ovat Pohjois-Pohjanmaan, Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan ELY-keskukset, Helsingin yliopisto, Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Pro Agria ja Oulun talousseura.



2.1 Hidasliukoiset typpilannoitteet

Perunanviljelyssä käytetään maailmalla paljon nopeasti liukenevia tai nestemäisiä lannoitteita, joita levitetään kasvustoon monta kertaa kasvukaudessa. Erityisesti typpilannoituksessa käytetään ureaa, ammoniumnitraattia tai kalsiumnitraattia.

Jaetulla lannoituksella pyritään antamaan perunalle typeä pitkän kasvukauden aikana silloin kun sitä tarvitaan. Karkeilta maalajeilta pienempinäkin annoksina annettu typpi kuitenkin huuhtoutuu herkästi, ja jaettu lannoitus aiheuttaa myös paljon työtä ja kustannuksia. Jaetun liukaisen lannoituksen korvaajaksi onkin kehitetty normaalia hitaammin liukenevia raelannoitteita (kutsutaan myös kontrolloidusti liukeneviksi lannoitteiksi) käytettäväksi myös perunantuotannossa. Guertalin (2009) artikkelissa on katsaus hidasliukoisten nitraattilannoitteiden eri tyypeihin ja kehitysohjelmaan sekä tutkimustuloksiin eri kasvilajeilla. Hidasliukoisilla lannoitteilla pyritään tehostamaan kasvin ravinteidenkäyttöä ja vähentämään lannoituksen ympäristövaikutuksia, kun lannoitteen ravinteet vapautuvat kasvin käyttöön vähitellen kasvukauden aikana, sitä mukaa kun viljelykasvi niitä tarvitsee.

Lannoitteen hidasliukoisuus voi perustua joko kemialliseen reaktioon tai lannoiterakeen päällysteeseen. Useimpien tuotteiden liukenemiseen vaikuttaa myös ulkoiset olosuhteet kuten maan mikrobiaktiivisuus, lämpötila ja kosteus. Ureaformaldehydiä (kutsutaan myös metyleeniureaksi) sisältäviä lannoitteita on ollut markkinoilla jo pitkään, samoin kuin rikillä päällystettyä ureaa. Niistä on tehty paljon tutkimusta varsinkin vihannestuotannossa. Useimmissa tutkimuksissa on verrattu keväällä ennen istutusta annettua hidasliukoista typpilannoitusta kasvukauden aikaisiin jaettuihin lannoituksiin tavallisilla lehtilannoitteilla. Tavallisimmin hidasliukoisella lannoitteella on saavutettu suunnilleen sama satotaso kuin jaetulla lannoituksellakin. Hidasliukaisen typpilannoitteen etuina vihannesviljelyssä pidetäänkin nykyään lähinnä pienentyneitä ympäristöriskejä ja säästöjä tuotantokustannuksissa. (Guertal 2009)

Hidasliukoiset lannoitteet perunalla

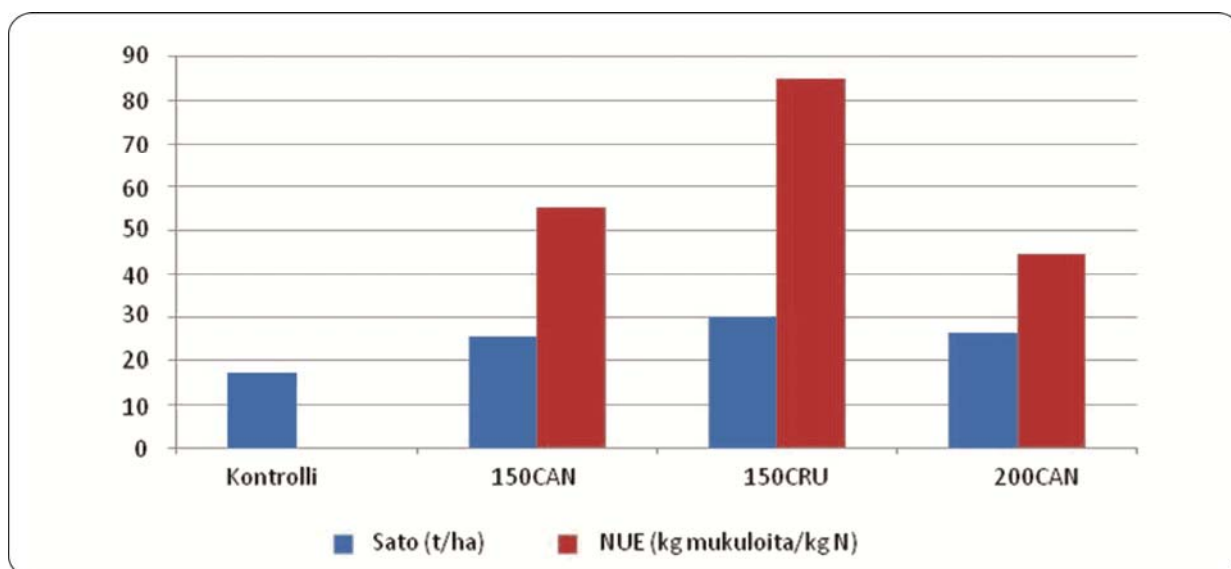
Rikkipäällysteistä ureaa testattiin perunalla Wisconsinissa Yhdysvalloissa jo 1970-luvulla, jolloin sillä saavutettiin lähes kaikissa kokeissa samansuuruinen satotulos kuin tavallisella urealannoituksella. Yhtenä hyvin sateisena vuonna hidasliukoinen lannoite tuotti merkittävästi suuremman sadon kuin kerta-annoksena annettu tavallinen urea, mutta satotaso ei silloinkaan eronnut kolmeen osaan jaetusta urealannoituksesta (Liegel and Walsh, 1976).

Minnesotassa 90-luvun lopulla tehdyissä kokeissa verrattiin istutuksen yhteydessä annettua polyolefiinipäällystettyä urea valmistetta (PCU), jonka liukenemisaika oli 70 päivää, tavalliseen kolmessa erässä annettuun urealannoitukseen. Russet Burbank -lajike tuotti PCU-lannoituksella jaettua urealannoitusta paremman sadon yhtenä vuonna kolmesta, kun käytettiin normaalia sadetusmääriä. Lisäksi yhtenä vuonna testattiin normaalia suurempaa sadetusmäärää, jolloin PCU:lla saatiin isompi sato kun typpitasona oli 280 kg/ha mutta eroa ei ollut pienemmällä 140 kg/ha typpimäärällä. Typen käytön tehokkuus oli parempi PCU-lannoitteella, mutta myös kasvukauden jälkeen maahan jäävän typen määrä oli suurempi. Kyseisen PCU-lannoitteen arveltiin olevan liian hitaasti liukeneva kyseisiin kasvuolosuhteisiin. (Zvomuya ym. 2003)

Floridassa on tutkittu useampaan otteeseen erilaisia päällysteeseen perustuvia hidasliukoisia lannoitteita. Packa ym. (2006) julkaisemissa tuloksissa osa tutkitusta lannoitteista tuotti paremman perunasadon kuin ammoniumnitraatilla lannoitettu verranne. Myös typen käytön tehokkuus oli korkeampi. Hutchinson ym. (2003) testasivat päällystettyjä urea valmistetta sekä päällystettyjä moniravinteisiä tuotteita ja vertasivat niitä liukoiseen ammoniumnitraatti- ja urealannoitukseen. Tällöin osa hidasliukoisista lannoitteista tuotti yhtä suuren sadon kuin liukoinen lannoitus, mutta sadonlisää uusilla tuotteilla ei saatu.

Myös Kanadassa Quebecissä saatiin kontrolloidusti liukenevalla urea-almisteella (ESN, Agrium Advanced Technologies, Kanada) 150 kg/ha typpitasolla suurempi mukulasato kuin kalsiumammoniumnitraattilannoitteella 150 kg/ha tai 200 kg/ha typpitasoilla. Perunan typenkäytön tehokkuus oli selvästi suurin kontrolloidusti liukenevalla lannoitteella (kuva 1). Mukulan tärkkelyspitoisuuteen lannoitteella ei ollut vaikutusta. (Ziadi ym. 2011)

Eri tuotteilla tehtyjä tutkimuksia on vaikea verrata, koska tuotteiden liukenemisnopeus vaikuttaa suuresti niiden käyttökelpoisuuteen viljelykasvilla. Tutkimuksia tarkastellessa näyttää siltä, että tuotteiden kehityksessä hitaasti liukenevat lannoitteet ovat alkaneet pärjätä paremmin suhteessa liukoisiin lannoitteisiin. Haasteena onkin löytää juuri paikallisiin kasvuolosuhteisiin ja perunan kasvurytmiin sopiva tuote. Suomalaisen perunanviljelyn kannalta tämä tarkoittaa, että meidän olosuhteisiimme sopivaa tuotetta voi olla vaikea löytää kansainvälisiltä markkinoilta.



Kuva 1. Kontrolloidusti liukenevalla urealannoitteella (CRU) saavutettiin suurempi sato ja huomattavasti suurempi typen käytön tehokkuus (NUE) kuin samalla tai suuremmalla määrällä kalsiumammoniumnitraattilannoitetta (CAN). Kontrollikäsitteily ei saanut lainkaan typpilannoitusta, joten sille ei voitu laskea myöskään typen käytön tehokkuutta. (Ziadi ym. 2011)

2.2 Kasvukaudella annettava kalsiumlannoitus

Kalsium toimii kasvisolussa osana membraanien ja soluseinien rakennetta ja varmistaa niiden toimintaa. Myös solun ulkopuolisessa nesteessä Ca^{2+} -ioneja tarvitaan membraanien valikoivan läpäisykyvyn ylläpitämiseksi. Lisäksi kalsiumilla on vaikutusta siihen, miten kasvi reagoi erilaisiin ympäristön aiheuttamiin stressitiloihin (Palta 1996).

Mukulassa kalsiumin puutos aiheuttaa tai pahentaa fysiologisia häiriöitä kuten ruskolaikkuja, ontoutta ja mustelmia. Lisäksi kalsium vaikuttaa varastotautien esiintymiseen mukuloissa sekä itämiseen. Perunan pääjuurten maasta ottama kalsium ei kulkeudu mukuloihin. Sen sijaan mukulan kalsiuminotto perustuu mukulan ja maavarsien hienoihin hiusjuuriin, jotka kuljettavat vettä ja ravinteita mukulan käyttöön. (Palta 2010)

Kalsiumlannoituksen vaikutus mukulan laatuun riippuu paljon kasvukauden olosuhteista. Ozygen ym. (2006) havaitsivat mukulan kalsiumpitoisuuden vaihtelevan vuosittain merkittävästi. Myös lajikkeiden välillä on suuria eroja kalsiumlannoituksen vasteessa (Karlsson ym. 2006).

Kalsiumlannoituksella voidaan vaikuttaa mukulan kalsiumpitoisuuteen, vaikka maan kalsiumpitoisuus olisi melko korkea. Liukoisia lannoitteita kasvukaudella käytettäessä lannoituksella saavutettu kalsiumpi-

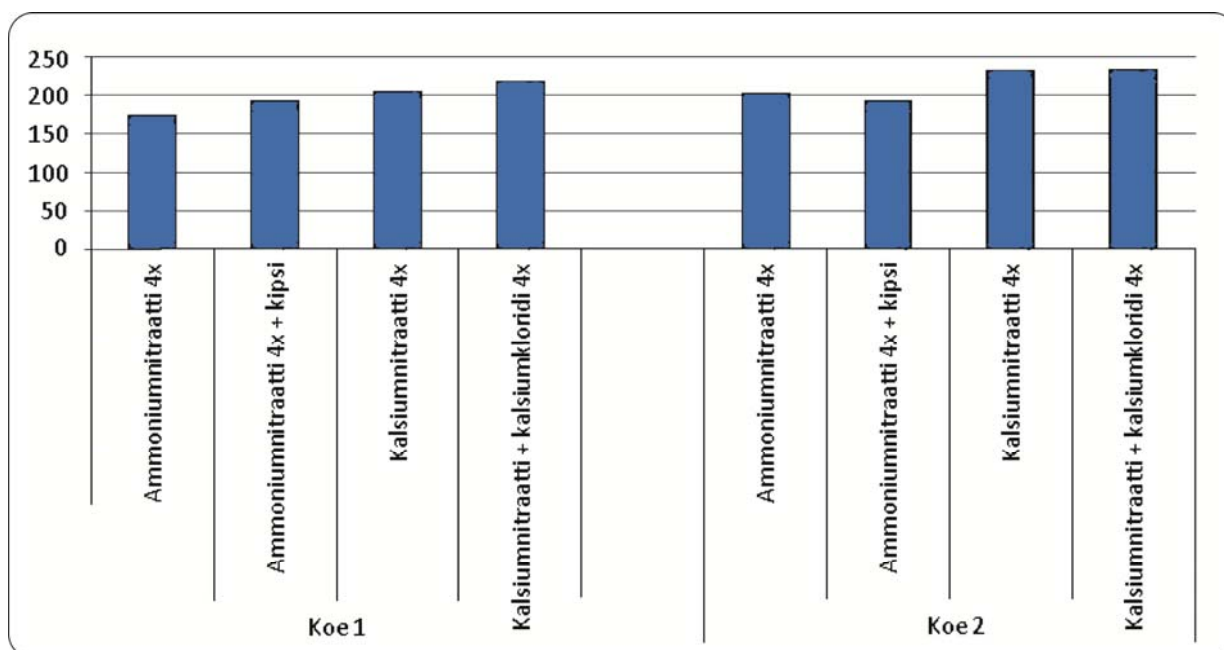
toisuuden nousu näyttäisi riippuvan lähinnä kasvukauden olosuhteista ja lajikkeesta, eikä niinkään maan kalsiumpitoisuudesta ennen lannoitusta (Gunter & Palta 2008).

Kalsiumlannoitukseen on monia mahdollisuuksia. Pitkävaikutteisista tuotteista kalkkia käytetään perunalla vähän sen pH-vaikutuksen vuoksi. Keväällä ennen istutusta peltoon sekoitetulla kipsillä (kalsiumsulfaatti) on saavutettu hyviä tuloksia sekä maan että mukulan kalsiumpitoisuuksien nostossa, mutta karkealla hietamaalla sen vaikutus on käytännössä vain yksivuotinen ja riippuu merkittävästi kasvukauden olosuhteista. Käyttömäärien on kuitenkin oltava suuria, noin 2–4 tonnia kipsiä eli 460–920 kg kalsiumia hehtaarille (Sipilä & Virtanen 2010). Kun kipsiä lisättiin taimettumisvaiheessa 224 kg/ha (49 kg/ha kalsiumia), vaikutukset jäivät vähäisiksi tai niitä ei ollut lainkaan (Ozgen ym. 2006).

Tutkimusten mukaan suurin hyöty kalsiumista saadaan, kun se levitetään mukulamuodostusvaiheessa tai sen jälkeen (Palta 2010). Pohjoisamerikkalaisissa tutkimuksissa on saatu hyviä tuloksia, kun kalsiumia on levitetty helpoliukoisessa muodossa jaettuna useampaan käsittelyyn multausta seuraavien 6-8 viikon aikana (Ozgen ym. 2006, Kleinhenz ym. 1999).

Ozgen ym. (2006) kokeissa tutkittiin liukoisten jaettujen kalsium- ja typpilannoituskäsittelyiden vaikutusta perunan mukulan kalsiumpitoisuuteen ja sisäisiin vioituksiin. Liukoisina kalsiumlannoitteina käytettiin kalsiumnitraattia, kalsiumkloridia ja kaupallista liukoista typpeä ja kalsiumia sisältävää tuotetta. Lannoitus jaettiin neljässä osassa, kahden viikon välein alkaen multauksesta. Kasvukaudella annettun kalsiumin kokonaismäärä oli 168 kg/ha. Liukoiset kalsiumlannoitteet nostivat mukulan kalsiumpitoisuutta merkittävästi ja vähensivät mukulan sisäisiä vioituksia. Suurin vaikutus saatiin, kun puolet kalsiumista annettiin kalsiumnitraattina ja puolet kalsiumkloridina. Kokeissa oli mukana myös ennen multausta annettu kipsikäsittely. Kipsillä oli vain yhdessä kokeessa mukulan kalsiumpitoisuutta nostava vaikutus, mutta sen käyttömäärä oli pieni, vain 49 kg Ca/ha. (Kuva 2)

Hieman vanhemmissa Kleinhenz ym. (1999) tutkimuksissa kipsi, kalsiumnitraatti sekä typpeä ja kalsiumkloridia sisältävä lannoitevalmiste vaikuttivat kaikki yhtä tehokkaasti perunan kalsiumpitoisuuteen. Kalsiumlannoituksen taso oli kaikissa käsittelyissä sama 168 kg/ha, ja se levitettiin joko kerralla multauksessa tai kolmessa osassa neljän viikon välein alkaen multauksesta. Jaetulla käsittelyllä saavutettiin kertaannosta suurempi mukulan kalsiumpitoisuuden nousu toisena koevuotena. Sen paremmin Ozgen ym. (2006) kuin Kleinhenz ym. (1999) kokeissa kalsiumlannoituksella ei ollut mitään vaikutuksia perunasadon määrään.



Kuva 2. Kalsiumnitraatti sekä kalsiumnitraatin ja kalsiumkloridin yhteiskäsittely lisäsivät mukulan kalsiumpitoisuutta (mg/g kuiva-ainetta) merkittävästi, kun niitä annettiin multauksen yhteydessä sekä 2, 4 ja 6 viikkoa sen jälkeen. Kummassakin käsittelyssä kalsiumin kokonaismäärä oli 168 kg/ha. Kipsin vaikutus mukulan kalsiumpitoisuuteen oli vähäinen, mutta sen käyttömääräkin oli pieni (49 kg/ha Ca). (Ozgen ym. 2006).

3.1 Humushapot

Humushapot eivät ole uutta perunan lannoituksessa, mutta tuotteet ovat kehittyneet ja niitä tutkitaan. Kyseessä ei ole yksittäinen vaikuttava aine vaan ryhmä orgaanisia molekyylejä, jotka rakentuvat hyvin pitkistä hiiliketjuista ja lukuisista aktiiviradikaaleista kuten fenoleista ja muista aromaattisista yhdisteistä. Humushappotuotteita on tutkittu jo pitkään, ja tulokset ovat olleet vaihtelevat. Selvästi eri tuotteiden vaikutukset eri viljelyolosuhteissa ovat erilaiset. Joissakin olosuhteissa humushappo voi parantaa merkittävästi lannoitteen ravinteiden hyötykäyttöä, ja se on hyvä energianlähde hyödyllisille maan mikro-organismeille. Tutkimustulokset humushappojen hyödyistä ovat kuitenkin hyvin vaihtelevia johtuen maan kasvuolosuhteista kuten maalajista, viljelysysteemistä ja viljelykierrosta. (Seyedbagheri 2010)

Eri vuosina Yhdysvaltain pohjoisosissa tehdyissä kokeissa jatkuva humushappotuotteiden käyttö lisäsi perunan satoa 11–22 % ja paransi sadon laatua (Seyedbagheri 2010). Osassa kokeista ei kuitenkaan saatu minkäänlaista satovastetta humushappotuotteista. Hän myös mainitsee artikkelissaan humushappotuotteiden kehittyneen paremmiksi vuosien myötä. Selim ym. (2009) kokeissa humushappotuote lisäsi merkittävästi perunan satoa ja tärkkelyspitoisuutta, sekä vähensi ravinteiden huuhtoutumista karkealla hiekka- maalla Egyptissä.

Verlinden ym. (2009) testasivat kahta eri kaupallista humushappotuotetta, nestemäistä ja kiinteää (Humifirst liquid ja Humifirst incorporated, Tradecorp International) neljällä viljelykasvilla Belgiassa. Eri kasvilajien vasteet humushapoille olivat vaihtelevat. Perunan satotaso nousi kummallakin tuotteella merkittävästi, nestemäisellä 13 % ja kiinteällä 17 %. Humushapoilla oli myös selvä ravinteiden ottoa parantava vaikutus.

3.2 Paperiteollisuuden sivujakeet

Teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen on viime vuosina lisääntynyt, kun pyritään vähentämään varsinaiseksi jätteeksi päätyviä materiaalivirtoja. Paperi- ja selluteollisuuden käsittelemät ainesmäärät ovat suuria, ja niiden sivutuotteita kuitusavea ja kuitulietettä käytetään jo nyt jonkin verran maanparannusaineena Suomessakin, ja tutkimus niiden käytöstä perunanviljelyssä on juuri alkanut.

Viljelymaiden maanparannusaineena voidaan käyttää mm. selluteollisuudessa syntyvää kuitulietettä ja paperiteollisuuden kuitusavea. Sellaisenaan tai kompostoituna ne voivat parantaa maan fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia ominaisuuksia sekä parantaa maan tuottavuutta (Fahmy ym. 2010).

N'Dayegamiye ym. (2013) testasi kokeissa kahta erilaista paperiteollisuudesta saatua kuitusavea, joiden C/N-pitoisuussuhteet olivat alle ja yli 15, ja vertasi niitä karjanlantaan ja kemialliseen lannoitteeseen. Kumpikin kuitusavi toimi perunan lannoituksessa suunnilleen yhtä hyvin kuin karjanlanta, kun niiden käyttömäärä oli sama 40 tn/ha (tuorepaino). Typen käytön tehokkuus oli kuitenkin kaikkein paras kuitusavella, jonka C/N-suhde oli alle 15.

Fahmy ym. (2010) testasivat sellutehtaan kuituliete – hevosenlanta – perunajäte – olki -kompostia kolmella eri viljelykasvilla. Komposti paransi maan ominaisuuksia kuten vedenpidätyskapasiteettia sekä hiili- ja typpipitoisuuksia. Sillä ei ollut kuitenkaan juuri mitään vaikutusta perunan sadontuottokykyyn, kun kompostin lisäksi annettiin myös kemiallista NPK lannoitetta 180 kg typpeä hehtaarille.



Kuva 3. Kuitusavea (kuva: Anna Sipilä/MTT Oulu)

4 Mikrobit

Viime vuosina on alettu markkinoida erilaisia mikrobivalmisteita perunan lannoitukseen ja ravinteiden saannin tehostamiseksi. Niiden avulla toivotaan päästävän nykyiseen tai jopa suurempaan satotasoon pienemmillä kemiallisten lannoitteiden käyttömäärillä. Seuraavassa käydään läpi ensin yleisesti mikrobien ominaisuuksia kasvien kasvun edistäjinä perustuen Vessey'n (2003) artikkeliin, ja sen jälkeen perehdytään perunalla tehtyihin tutkimuksiin.

4.1 Kasvin kasvua edistävät maan mikrobit biolannoitteena

Kasvien juuristovyöhykkeellä maassa elää useita bakteerilajeja, jotka voivat stimuloida kasvin kasvua erilaisilla mekanismeilla. Näistä bakteerilajeista käytetään usein lyhennettä PGPR (plant growth promoting rhizobacteria).

Bakteerit voivat edistää kasvua esimerkiksi sitomalla typpeä, parantamalla juurivyöhykkeen ravinteiden saatavuutta, lisäämällä juurten kasvua, edesauttamalla muita hyödyllisiä kasvi-mikrobi-suhteita, tai näiden yhdistelmillä. Monet maassa elävät bakteerit voivat myös suojella kasvia patogeeneilta, jolloin ne ovat paremminkin biopestisidejä kuin biolannoitteita. Samalla bakteerilajilla voi kuitenkin olla molempia ominaisuuksia.

Bakteerien lisäksi myös juuristovyöhykkeessä elävillä sienillä kuten mykorritsalla ja *Penicillium bilaii* sienellä tiedetään olevan isäntäkasvin kasvua edistäviä vaikutuksia.

Mikrobien hyödyntäminen viljelykasvien ravinteidensaannissa ei ole uusi asia. Kaupallisia ritsobibakteerivalmisteita käytettiin palkokasvien viljelyssä jo 1890-luvulla. Muilla viljelykasveilla hyödynnettävät mikrobivalmisteet ovat alkaneet yleistyä vasta viime aikoina. Mikrobivalmisteiden ongelmana pidetään sitä, että niiden vaikutus vaihtelee kasvien ja kasvupaikkojen välillä.

4.2 Kasvin kasvua edistävien mikrobien vaikutustapoja

Kasvua edistävien mikrobien ja isäntäkasvin välisen yhteyden aktiivisuus riippuu siitä, kuinka mikrobi asuttaa kasvia. Ritsosfäärisessä yhteydessä mikrobi elää juuren lähituntumassa tai pinnalla, kun endofyyttiset mikrobit asuvat isäntäkasvin sisällä solujen välisissä tiloissa.

Endofyyttisistä kasvua edistävästä mikrobeista parhaiten tunnetaan palkokasvien kanssa elävät ritsobit. Myös monet ritsosfääriin bakteerit pystyvät sitomaan typpeä, mutta vain harvoissa tapauksissa sidotun typen määrät ovat riittävän isoja vaikuttamaan merkittävästi kasvin kasvuun.

Maan bakteerit voivat lisätä kasville käyttökelpoisten ravinteiden saatavuutta juurivyöhykkeessä. Parhaiten tunnetaan fosfaattien ja raudan liukoisuuden parantaminen

Fosfaattien liukoisuutta parantavat bakteerit ovat yleisiä kasvien juurivyöhykkeessä. Ne erittävät orgaanisia happoja ja fosfataaseja, jotka helpottavat pidättyneen fosforin muuttumista kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Tunnettujen ravinteiden saatavuutta edistävien bakteerien joukossa fosfaattien liukoisuutta parantavat bakteerit ovat kaikkein yleisimpiä, ja niitä tunnetaan lukuisia eri viljelykasveilta. Samoilla bakteereilla voi olla kuitenkin myös muita kasvien kasvua edistäviä vaikutuksia.

Jotkut bakteerit vaikuttavat kasvien juurten kasvuun ja morfologiaan. Juurten pinta-alaa lisäävillä bakteereilla voi olla suuri vaikutus kasvin ravinteidenotto potentiaaliin. Monien kasvuaedistävien bakteerien on todettu vaikuttavan juurten kasvuun, sekä painoon että pituuteen. Erityisesti juurikarvojen nopealla lisääntymisellä voi olla suuri merkitys juuren pinta-alaan.

Bakteerien juurten kasvua edistävän vaikutuksen uskotaan liittyvän niiden tuottamiin fytohormoneihin, kuten indoli-3-etikkahappo (IAA), sytokiniinit ja gibberelliinit. Bakteerit saattavat myös vaikuttaa suoraan juurten hengitykseen, mikä lisää juurten kasvua.

Joidenkin juurivyöhykkeiden bakteerien on todettu edistävän kasvin kasvua välillisesti, parantamalla kasvin ja jonkun toisen mikro-organismin välistä yhteyttä. Esimerkiksi mykorrhizasienen kasvin kasvua edistävä vaikutus voi olla parempi, mikäli yhteistyössä on mukana myös kasvua edistävä bakteerilaji.

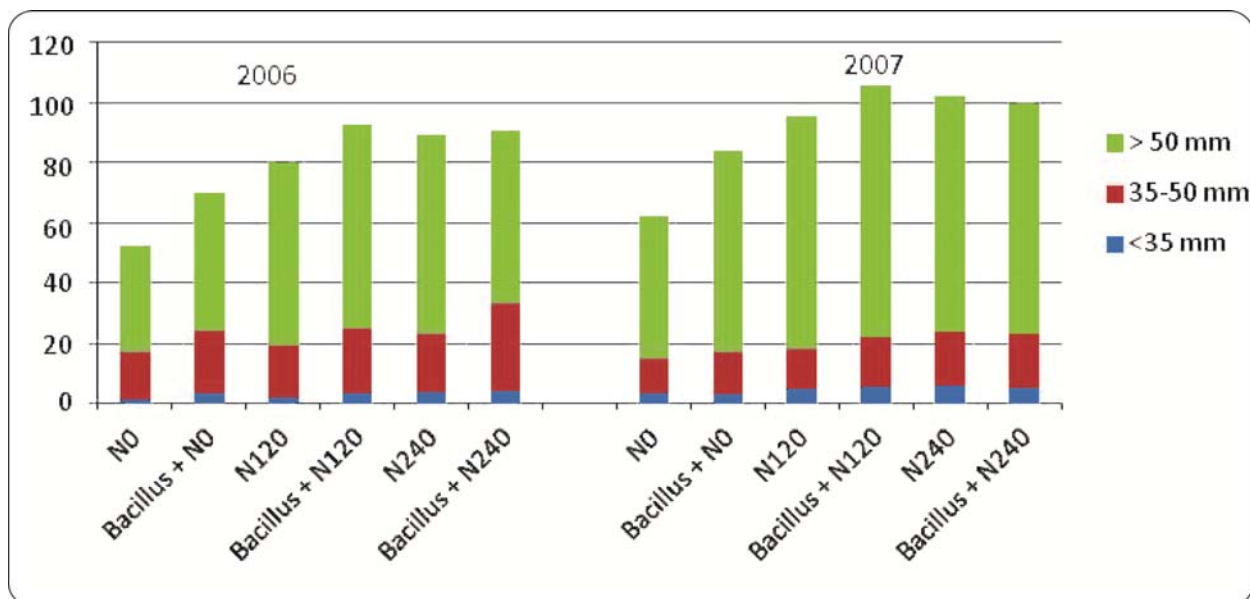
4.3 Mikrobit perunan lannoituksessa

Perunan ja mikrobien yhteisvaikutusta on tutkittu paljon tautien torjunnassa (esim. van Loon 2007, Hiltunen ym. 2009), mutta mikrobien lannoitusvaikutuksista on vähemmän tieteellisiä julkaisuja.

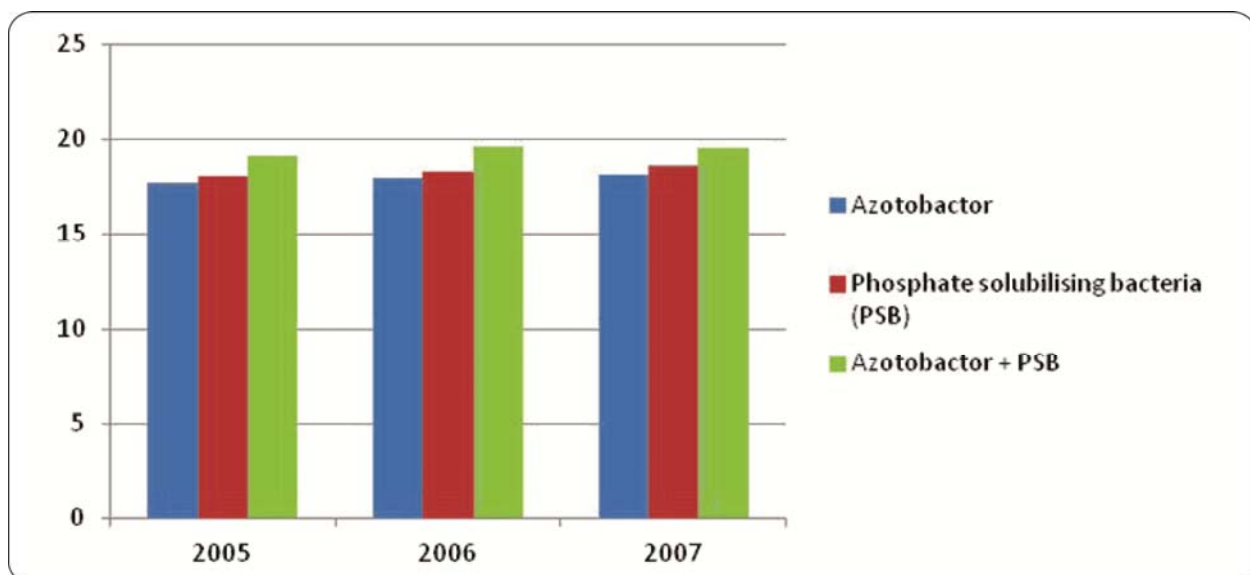
Pseudomonas-bakteerilajeja tutkittiin jo 1970-luvulla, jolloin Burr ym. (1978) eristivät mukuloiden pinnalta yli 100 eri bakteerikantaa ja valitsivat niistä kaksi jatkotutkimuksiin. *Pseudomonas fluorescens* ja *P. putida* kolonisoivat perunan juuret tehokkaasti ja olivat vallitsevia bakteerikantoja juurivyöhykkeellä vielä kaksi kuukautta istutuksen jälkeen. Kumpikin bakteerikanta lisäsi perunan kasvua ja satoa, mutta tuloksissa oli koekohtaisia eroja. Perunasato parani 14–33 % viidessä kokeessa yhdeksästä. Bakteereilla ei havaittu satovaikutuksia turvemaalla tai jos olosuhteet olivat suhteellisen kuivat. *Pseudomonas*-bakteerikäsittelyn havaittiin olevan yhteensopiva useimpien silloin käytössä olleiden fungisidipeittausainesten kanssa, mankotsebia lukuun ottamatta.

Ekin ym. (2009) tutkivat typeä sitovan *Bacillus* sp. OSU-142 -bakteerin vaikutuksia perunalla kolmella eri typpilannoitustasolla (0, 120, and 240 kg/ha) Turkissa. Tutkimus toteutettiin kahtena vuonna kalkkipitoisella (pH noin 7,6), hienojakoisella ja multavalla maalla Melody-lajikkeella. *Bacillus* sp. OSU-142 -bakteerin vaikutus perunan kasvuun vaihteli hieman vuosittain. Kasvuston ominaisuuksiin bakteerikäsittely vaikutti vain toisena vuonna, mutta kumpanakin vuonna se lisäsi satoa verrattuna samaan typpilannoitustasoon ilman bakteerikäsittelyä. Prosentuaalisesti suurin vaikutus oli sadon kokoluokassa 35–50 mm. Typpimäärä 140 kg/ha yhdessä bakteerikäsittelyn kanssa tuotti kumpanakin vuonna suunnilleen saman sadon kuin 240 kg/ha typeä ilman bakteerikäsittelyä (kuva 4). Suuremmalla typpimäärällä bakteerikäsittelyllä ei juuri ollut vaikutusta perunasatoon. Tutkimuksen johtopäätöksenä todetaan, että *Bacillus* sp. OSU-142 -bakteerilla on suuri potentiaali perunan sadon parantamiseen ja kemiallisen lannoituksen tarpeen vähenemiseen. (Ekin ym. 2009)

Kumar ym. (2012) tutkivat erilaisten lannoitusvaihtoehtojen (orgaaninen, kemiallinen) ja biolannoitteiden vaikutusta perunalla. Biolannoitusvaihtoehtoina oli *Azotobacter*-bakteeri ja nimeämätön fosforia vapauttava bakteerilaji sekä näiden yhteiskäsittely. Biolannoituskäsittelyistä parhaan satovasteen tuotti bakteerilajien yhteiskäsittely (kuva 5), ja koko kokeen paras sato, paras ravinteiden otto ja paras taloudellinen tulos saatiin käsittely-yhdistelmällä jossa oli mukana niin epäorgaanisia kuin orgaanisiakin lannoitteita sekä kumpaakin bakteerilajia.



Kuva 4. *Bacillus* sp. OSU-142 -bakteerin ja typpilannoituksen vaikutus perunan satoon (t/ha) kokoluokittain kahtena vuonna Turkissa tehdyissä kokeissa (Ekin ym. 2009).



Kuva 5. *Azotobacter*-bakteerilla, fosforia vapauttava bakteerilajilla (PSB) ja niiden sekoituksella saadut perunasadot (t/ha) kolmena vuonna tehdyissä kokeissa (Kumar ym. 2012).

Myös Malboobi ym. (2009) havaitsivat merkittäviä hyötyjä kahden eri bakteerilajin yhdistämisestä. He tutkivat kolmea fosfaattia vapauttavaa bakteeria, *Pantoea agglomerans* (kanta P5) ja *Microbacterium laevaniformans* (kanta P7), jotka tuottavat happoa ja hydrolysoivat fosfaattia, sekä *Pseudomonas putida* (kanta P13), joka tuottaa fosfataasi-entsyymiä. Kaikki kolme bakteerikantaa paransivat merkittävästi perunan kasvua sekä kasvihuoneessa että pelto-olosuhteissa tehdyissä kokeissa, mutta parhaat tulokset saatiin kun joko *P. agglomerans* tai *M. laevaniformans* yhdistettiin *P. putida* -bakteerin kanssa, jolloin sadonlisä oli jopa 20–25 %. He totesivatkin, että kahden eri bakteerilajin yhdistelmällä voidaan hyödyntää samanaikaisesti maan erilaisia fosforinlähteitä.

Biolannoitteeksi sopivia mikrobeja etsittäessä tulee usein ongelmaksi se, että lupaavat mikrobit eivät pärjää kilpailussa muiden maamikrobien kanssa. Esimerkiksi Oswald ym. (2010) eristivät perunan juuristovyöhykkeeltä 150 bakteerikantaa, joista laboratorio- ja kasvihuonetestauksien jälkeen valittiin lupaavimmat *Bacillus* spp., *Azotobacter* spp. ja *Actinomyces* -kannat peltotestauksiin. Kasvihuonetestauksessa

bakteerit jopa enemmän kuin kaksinkertaistivat mukulasadon, mutta pellolla niiden vaikutukset olivat selvästi pienemmät ja vaihtelevammat.

Kaupallisten mikrobivalmisteiden markkinat ovat kasvaneet huomattavasti viime vuosina. Tärkeimpien markkinoilla olevin bakteereiden joukkoon kuuluvat *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis*, and *Pseudomonas fluorescens*. Monet markkinoilla olevista tuotteista sopivat käytettäväksi monen isäntäkasvilajin kanssa, aina riisistä tomaattiin. (Berg 2009) Ehkä tämä on syynä siihen, että juuri perunalla tehdyistä kasvua edistävien bakteereiden tutkimuksista ei ole niin paljoa tieteellisiä julkaisuja.

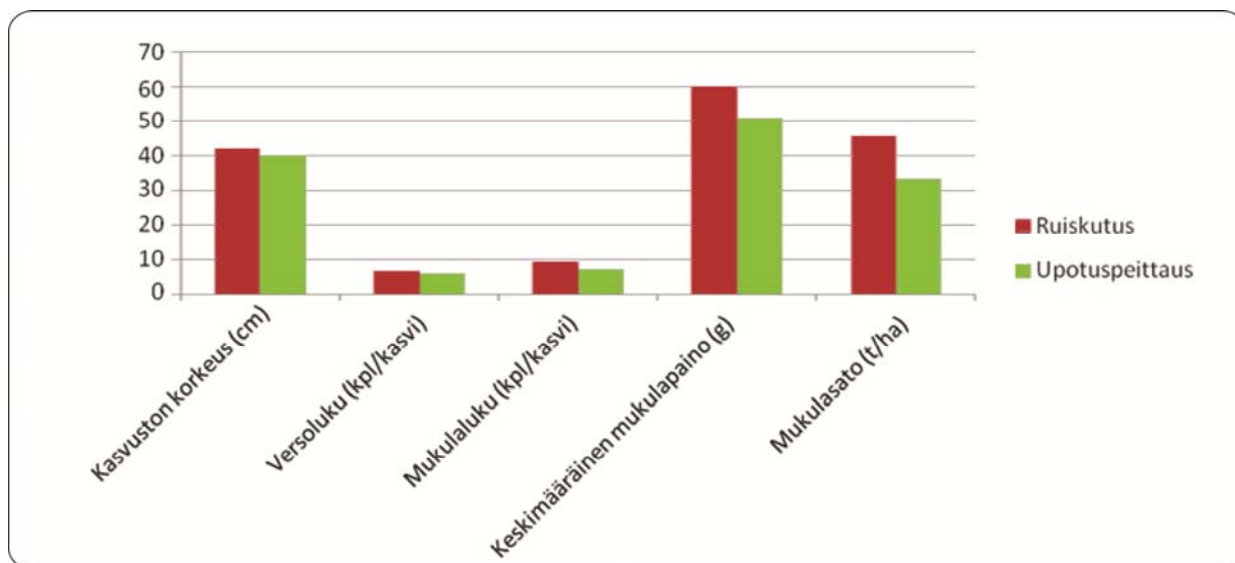
Kaupallisista tuotteista *Bacillus subtilis* FZB24 (ABiTEP GmbH, Saksa) on yleisesti käytössä perunanviljelyssä Euroopassa. Sen on todettu edistävän kasvin kasvua sekä suoraan että välillisesti ehkäisemällä kasvitauteja. (Kilian ym. 2000)

Kaupallisten aineiden testauksia kuvaavissa tieteellisissä julkaisuissa ei useinkaan kerrota tarkemmin mitä aineet sisältävät. Davod ym. (2011) testasivat kaupallista tuotetta perunan minimukuloilla. Nitroxin(R)-biolannoitteen kerrotaan sisältävän ainakin tyypeä stabiloivia bakteereja *Azotobacter* ja *Azospirillum* -suvuista sekä fosfaattia vapauttavaa *Pseudomonas*-suvun bakteerilajia. Yhdessä yksittäisessä peltoko-keessa Nitroxin-tuotteella pystyttiin korvaamaan kemiallinen typpilannoitus jopa kokonaan.

4.4 Mikrobivalmisteiden käyttö

Mikrobivalmisteita voidaan käyttää perunalla eri tavoin, yleisimmin kuitenkin joko peittaukseen tai sijoittamalla ne perunan lähelle istutuksessa. Tieteellisissä artikkeleissa annetaan hyvin vähän huomiota sille, kuinka bakteerivalmisteita käytännön viljelyssä voitaisiin käyttää. Koeolosuhteissa yleisin käsittelytapa näyttäisi olevan siemenperunan upottaminen bakteeria sisältävään liuokseen, jolloin käsittelyaika voi olla jopa 30 minuuttia (Burr ym. 1979, Ekin ym. 2009, Kumar ym. 2012).

Naderi Darbaghshahi ym. (2012) vertasivat jauhemaisen, fosfaattia vapauttavan bakteerivalmisteen käyttöä kahdella eri tavalla. Upotuspeittauksikäsitellyssä jauhemainen bakteerivalmiste liuotettiin 5 % sakka-roosiliuokseen. Perunat upotettiin tähän liuossekoitukseen 30 minuutiksi, jonka jälkeen ne kuivattiin. Ruiskutuskäsitellyssä bakteeri-sokeriliemi ruiskutettiin ja sekoitettiin maahan ennen istutusta. Upotuskäsitellyssä bakteerit olivat siemenperunan lähituntumassa ja vapauttivat siinä fosforia perunan käytettäväksi, mikä nopeutti perunan alkukehitystä. Maahan ruiskutettuna bakteerivalmiste kuitenkin paransi perunan kehitystä myöhemmin kasvukaudella ja tuotti suuremman sadon. Selvästikin bakteerivalmisteen sijoittaminen eri paikkaan vaikutti siihen, missä vaiheessa bakteereista on kasvin kasvulle eniten hyötyä. Sadon- lisä perustui suurempaan mukulapainoon, kun mukulaluvussa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (kuva 6).



Kuva 6. Bakteerivalmisteen käyttö maahan ruiskutettuna tuotti suuremmat mukulat ja sitä kautta suuremman sadon kuin valmisteen käyttö siemenperunan upotuspeittauksessa (Naderi Darbaghshahi ym. 2012).

5 Yhteenveto

Perunan lannoitukseen on viime vuosina tullut uusia tuotteita. Tutkimukseen perustuvaa, puolueetonta tietoa on saatavissa vaihtelevasti, ja julkaistun tiedon yhdistäminen kaupallisiin tuotteisiin on vaikeaa.

Uusia lannoitteita ja lannoitusmenetelmiä kehitetään kahdesta eri näkökulmasta, jotka eivät useinkaan ole toisiaan poissulkevia. Perunan kasvun ja viljelijän taloudellisen tuloksen parantamisen lisäksi haitallisten ympäristövaikutusten vähentäminen ovat tärkeä osa lannoitteiden kehittämistä. Hidasliukoisten lannoitteiden käyttöä perustellaankin ravinnehuuhtoutumien vähentämisellä verrattuna liukoisten tyypilannoitteiden käyttöön monta kertaa kasvukaudessa. Kehitystyön tuloksena myös satotasoissa on päästy viime vuosina tavallisia lannoitteita parempiin tuloksiin. Tuotteiden pitää kuitenkin olla tarkkaan suunniteltuja kasvin kasvukaudenaikaisiin tarpeisiin, joten pidempään kasvukauteen ja lämpimään ilmastoon kehitetyt tuotteet eivät välttämättä toimi Suomen lyhyen kasvukauden ja pitkän päivän tuotanto-olosuhteissa.

Kasvifysiologiaan liittyvä molekyyli-tason tieto on lisännyt kiinnostusta perunan kalsiumlannoitukseen. Vaikka kalsiumlannoituksella ei yleensä ole vaikutusta perunan satomäärään, sen merkitys mukulan laatuun, taudinkestävyyteen ja siemenperunan itämiseen on suuri. Tutkimusten mukaan mukula ei saa kalsiumia perunan pääjuurten kautta vaan mukulan kuoren ja maavarsien hiusjuurien kautta. Tämän vuoksi on tärkeää että mukulapesän alueella on riittävästi kalsiumia saatavissa. Parhaat tulokset perunan kalsiumlannoituksessa on saatu, kun liukoisia kalsiumlannoitteita on levitetty kasvustoon useita kertoja kasvukauden aikana.

Maanparannusaineilla on usein lannoituksellisiakin vaikutuksia. Humushappotuotteilla on saatu merkittäviä lisäyksiä perunan satoon ja ravinteiden käytön tehokkuuteen. Tulokset ovat kuitenkin vaihtelevia ja vaikutukset riippuvat suuresti kasvuolosuhteista. Paperi- ja selluteollisuuden sivuvirtoja käytetään maanparannusaineina, ja niillä on myös lannoitusvaikutuksia.

Erilaisten mikrobien käyttö perunan kasvun edistäjinä ja myös kasvinsuojelullisissa käyttötarkoituksissa on ollut monien tutkimusten kohteena. Maaperästä onkin löytynyt lukuisia lupaavia mikrobikantoja, joita on myös kaupallistettu. Tutkimusjulkaisujen tietojen ja markkinoilla olevien tuotteiden yhdistäminen on kuitenkin vaikeaa, jos tuotteen valmistaja tai myyjä ei paljasta tuotteen tarkkaa sisältöä eikä itse hyödynnä tutkimuksia markkinoinnissa.

Uudet lannoitteet ja lannoitusmenetelmät voivat tuoda merkittäviä sadonlisäyksiä perunalle. Parantuneella ravinteiden hyväksikäytöllä on myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Uusista tuotteista tarvitaan kuitenkin kokemuksia ja tuloksia Suomen olosuhteissa, ennen kuin voidaan sanoa, mikä merkitys niillä on perunan kasvuun ja ympäristölle tuotanto-oloissamme. Huomioon on otettava myös uusien tuotteiden ja menetelmien kokonaistaloudelliset vaikutukset tuotantoon.

Berg, G. 2009. Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology* 84: 11–18.

Burr, T. J., Schroth, M. N. & Suslow, T. 1978. Increased Potato Yields by Treatment of Seedpieces with Specific Strains of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*. *Phytopathology* 68 (9): 1377–1383.

Davod, T., Reza, Z., Ali, V.A. & Mehrdad, C. 2011. Effects of Nanosilver and Nitroxin Biofertilizer on Yield and Yield Components of Potato Minutubers. *International Journal of Agriculture & Biology* 13: 986–990.

Ekin, Z., Oğuz, F., Erman, M. & Öğün, E. 2009. The effect of *Bacillus* sp. OSU-142 inoculation at various levels of nitrogen fertilization on growth, tuber distribution and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Biotechnology* Vol. 8 (18): 4418–4424.

Fahmy, S.H., Sharifi, M., Hann, S.W. R. & Chow, T.L. 2010. Crop Productivity and Nutrient Bioavailability in a Potato-Based Three-Year Rotation as Affected by Composted Pulp Fiber Residue Application and Supplemental Irrigation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41 (6): 744–756.

Guertal, E.A. 2009. Slow-release Nitrogen Fertilizers in Vegetable Production: A Review. *HortTechnology* 19: 16–19.

Gunter, C.C. & Palta, J.P. 2008. Exchangeable Soil Calcium May Not Reliably Predict In-season Calcium Requirements for Enhancing Potato Tuber Calcium Concentration. *American Journal of Potato Research* 85: 324–331.

Hiltunen, L. H., Ojanpera, T., Kortemaa, H., Richter, E., Lehtonen, M.J. & Valkonen, J.P.T. 2009. Interactions and biocontrol of pathogenic *Streptomyces* strains co-occurring in potato scab lesions. *Journal of Applied Microbiology* 106 (1): 199–212.

Hutchinson, C., Simonne, E., Solano, P., Meldrum, J. & Livingston-Way, P. 2003. Testing of controlled release fertilizer programs for seep irrigated Irish potato production. *Journal of Plant Nutrition* 26: 1709–1723.

Karlsson, B. H., Palta, J. P. & Crump, P. M. 2006. Enhancing tuber calcium concentration may reduce incidence of blackspot bruise injury in potatoes. *HortScience* 41 (5) 1213–1221.

Kilian, M., Steiner, U., Krebs, B., Junge, H., Schmiedeknecht, G., and Hain, R. 2000. FZB24 *Bacillus subtilis*® mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 1/00, 1: 72–93.

Kleinhenz, M.D., Palta, J.P., Gunter, C.C. & Kelling, K.A. 1999. Impact of Source and Timing of Calcium and Nitrogen Applications on ‘Atlantic’ Potato Tuber Calcium Concentrations and Internal Quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124 (5): 498–506.

- Kumar, M., Baishaya, L.K., Ghosh, D.C., Gupta, V.K., Dubey, S.K., Das, A & Patel, D.P. 2012. Productivity and Soil Health of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Field as Influenced by Organic Manures, Inorganic Fertilizers and Biofertilizers under High Altitudes of Eastern Himalayas. *Journal of Agricultural Science* 4 (5): 223–234.
- Liegel, E.A. & Walsh, L.M. 1976. Evaluation of Sulfur-Coated Urea (Scu) Applied to Irrigated Potatoes and Corn. *Agronomy Journal* 68: 457–463.
- Malboobi, M. A., Behbahani, M., Madani, H., Owlia, P., Deljou, A., Yakhchali, B., Moradi, M. & Hassanabadi, H. 2009. Performance evaluation of potent phosphate solubilizing bacteria in potato rhizosphere. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 25: 1479–1484.
- Naderi Darbaghshahi M.R., Ahmadi Nia H., Bahari B. 2012. Assessment of applications of biological fertilizer for potato cultivation. *International Journal of AgriScience* 2 (2): 102–107.
- N'Dayegamiye, A., Nyiraneza, J., Giroux, M., Grenier, M. & Drapeau A. 2013. Manure and Paper Mill Sludge Application Effects on Potato Yield, Nitrogen Efficiency and Disease Incidence. *Agronomy* 3 (1): 43–58.
- Oswald, A., Calvo Velez, P., Zuniga Davila, D. & Arcos Pineda, J. 2010. Evaluating soil rhizobacteria for their ability to enhance plant growth and tuber yield in potato. *Annals of Applied Biology* 157: 259–271.
- Ozgen, S., Karlsson, B.H., Palta, J.P. 2006. Response of Potatoes (cv. Russet Burbank) to Supplemental Calcium Applications under Field Conditions: Tuber Calcium, Yield and Incidence of Internal Brown Spot. *American Journal of Potato Research* 83: 195–204.
- Packa, J.E., Hutchinson, C.M. & Simonne, E.H. 2006. Evaluation of Controlled-Release Fertilizers for Northeast Florida Chip Potato Production. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1301–1313.
- Palta, J.P. 1996. Role of Calcium in Plant Responses to Stresses: Linking Basic Research to the Solution of Practical Problems (review). *HortScience* 31 (1): 51–57.
- Palta, J.P. 2010. Improving Potato Tuber Quality and Production by Targeted Calcium Nutrition: the Discovery of Tuber Roots Leading to a New Concept in Potato Nutrition. *Potato Research* 53: 267–275.
- Selim, E. M., Mosa, A.A. & El-Ghamry, A.M. 2009 Evaluation of humic substances fertigation through surface and subsurface drip irrigation systems on potato grown under Egyptian sandy soil conditions. *Agricultural Water Management* 96: 1218–1222.
- Seyedbagheri, M. 2010. Influence of Humic Products on Soil Health and Potato Production. *Potato Research* 53: 341–349.
- Sipilä, A. & Virtanen E. 2010. Perunan kipsikokeet 2008 ja 2009. Teoksessa: Hyrkäs, M. & Isakainen, P. (toim) MTT Tutkimusraportti: Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2010. s. 43–46.
- van Loon, L.C. 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology* 119: 243–254.

Verlinden, G., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, G., Bries, J. & Haesaert, G. 2009. Application of Humic Substances Results in Consistent Increases in Crop Yield and Nutrient Uptake. *Journal of Plant Nutrition* 32 (9): 1407–1426.

Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255: 571–586.

Ziadi, N., Grant, C.A., Samson, N., Nyiraneza, J., Bélanger, G., and Parent, L.-É. 2011. Efficiency of controlled-release urea for a potato production system in Quebec. *Agronomy Journal*, 103 (1): 60–66.

Zvomuya, F., Rosen, C.J., Russelle, M.P. and Gupta S.C. 2003. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin coated urea to potato. *Journal of Environmental Quality* 32: 480–489.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI 115

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.
Puh. (03) 4188 2327, sähköposti julkaisut@mtt.fi

