



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 79/2020

Kasvinravinteet avomaanvihannesten tuotannossa

Tuloksia Resurssitehokas vihannestuotanto -hankkeesta
v. 2016–2018

Terhi Suojala-Ahlfors, Ilari Lumme, Tapio Salo, Risto Uusitalo,
Pirjo Kivijärvi, Marja Kallela, Heikki Inkeroinen ja Marja Tuononen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 79/2020

Kasvinravinteet avomaanvihannesten tuotannossa

Tuloksia Resurssitehokas vihannestuotanto -hankkeesta v. 2016–2018

Terhi Suojala-Ahlfors, Ilari Lumme, Tapio Salo, Risto Uusitalo, Pirjo Kivijärvi,
Marja Kallela, Heikki Inkeroinen ja Marja Tuononen



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Viittausohje:

Suojala-Ahlfors, T., Lumme, I., Salo, T., Uusitalo, R., Kivijärvi, P., Kallela, M., Inkeroinen, H. & Tuononen, M. 2020. Kasvinravinteet avomaanvihannesten tuotannossa : Tuloksia Resurssitehokas vihannestuotanto -hankkeesta v. 2016–2018. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 79/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 89 s.

Terhi Suojala-Ahlfors, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-7543-870X>



ISBN 978-952-380-075-5 (Painettu)

ISBN 978-952-380-076-2 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-076-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Terhi Suojala-Ahlfors, Ilari Lumme, Tapio Salo, Risto Uusitalo, Pirjo Kivijärvi, Marja Kallela, Heikki Inkeroinen ja Marja Tuononen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisuvuosi: 2020

Kannen kuva: Pirjo Kivijärvi

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Terhi Suojala-Ahlfors¹, Ilari Lumme¹, Tapio Salo¹, Risto Uusitalo¹, Pirjo Kivijärvi¹, Marja Kallela², Heikki Inkeroinen³ ja Marja Tuononen⁴

¹Luonnonvarakeskus

²ProAgria Etelä-Suomi

³ProAgria Pohjois-Savo

⁴ProAgria Länsi-Suomi

Ravinteiden riittävä saatavuus on välttämätöntä vihannesten hyvän kasvun ja sadon laadun kannalta. Tähän raporttiin on koottu perustietoa pää-, sivu- ja hivenravinteiden merkityksestä vihannesviljelyssä. Lisäksi esitellään erilaisia lannoitusmenetelmiä, jotka ovat tulleet käyttöön rakeisten lannoitteiden haja- tai sijoituslannoituksen ohella. Myös maanparannusaineiden ja biostimulanttien käyttöä käsitellään vihannesviljelyn näkökulmasta.

Raportin toisessa osassa esitellään Resurssitehokas vihannestuotanto (Revi) -hankkeessa vuosina 2016–2018 tehtyjen kenttä- ja tilakokeiden tuloksia. Hanketta rahoittivat Euroopan maaseuturahasto, Maiju ja Yrjö Rikalan Puutarhasäätiö, Avagro Oy, Eurofins Viljavuuspalvelu Oy ja Verdera Oy. Hankkeen ravinnetaloutta koskevassa työpaketissa keskityttiin fosfori- ja kalsiumlannoituksen vaikutuksiin vihannesten sadon määrään ja laatuun. Lisäksi selvitettiin kasvianalyysin ja muiden menetelmien soveltuvuutta kasvien ravinnetilan seurantaan kasvukaudella.

Fosforilannoituskokeissa jäävuorisalaatti reagoi fosforilannoitukseen selvemmin kuin muut koekasvit (sipuli, keräkaali ja porkkana). Neljästä salaattikokeesta kahdessa fosforilannoitus lisäsi satoa tilastollisesti merkittävästi verrattuna fosforilannoittamattomaan käsittelyyn, kun kokeet toteutettiin välttävän fosforiluvun peltomaassa. Yllättäen salaatin P-lannoituksen vasteet olivat pienempiä kevään istutuksessa, jolloin maan lämpötila oli alhaisempi kuin kesän istutuksessa. Muilla kasveilla ei havaittu merkittäviä satovaikutuksia fosforilannoituksella. Tässä ja aiemmissa hankkeissa saatujen tulosten perusteella maltillinen fosforilannoitus (10–20 kg/ha) riittää hyvän sadon tuottamiseen myös välttävän ja tyydyttävän fosforiluokan mailla.

Kalsiumlannoituskokeissa, joissa koekasveina olivat jäävuorisalaatti ja keräkaali, saatiin vaihtelevia tuloksia. Joissain kokeissa nestemäinen tai lehtien kautta annettu kalsiumlannoite lisäsi satoa hieman, mutta vaikutus kasvuston kalsiumpitoisuuteen ei ollut kovin selvä. Kaliumlannoituksen lisääminen salaattilla lisäsi kasvuston kaliumpitoisuutta muttei haitannut muiden ravinteiden ottoa.

Hankkeessa kerättiin tietoa vihannesviljelyssä olevien lohkojen ravinnetilasta sekä eri vihanneslajien ravinteiden otosta. Aineisto osoittaa suurta lohkojen välistä vaihtelua peltojen pH-tilassa ja ravinnepitoisuuksissa. Vaikka keskimäärin peltojen pH ja ravinnetila olivat viljavuusanalyysien mukaan tyydyttävää tai hyvää tasoa, joukkoon mahtui suuri joukko lohkoja, joissa happamuus, ravinnepitoisuudet tai -suhteet olivat heikolla tasolla. Uudet analyysit, kuten kationinvaihtokapasiteetin, hehkutuskevennyksen ja typen potentiaalisen mineralisaation määritykset, antavat lisää tietoa ravinnehuollon suunnitteluun.

Kasvianalyysitulokset osoittavat, että pääosin kasvianalyysien tulkinnessa (Megalab™) käytetyt raja-arvot vaikuttavat olevan oikealla tasolla suhteessa Suomessa mitattuihin ravinnepitoisuuksiin. Joitakin poikkeamia kuitenkin esiintyi, ja tulkinnan raja-arvoja olisi hyvä vielä tarkentaa Suomen oloihin.

Asiasanat: biostimulantit, fosfori, hivenravinteet, kalsium, kasvinravinteet, lannoitusmenetelmät, vihannekset

Abstract

Terhi Suojala-Ahlfors¹, Ilari Lumme¹, Tapio Salo¹, Risto Uusitalo¹, Pirjo Kivijärvi¹, Marja Kallela², Heikki Inkeroinen³ ja Marja Tuononen⁴

¹Natural Resources Institute Finland (Luke)

²ProAgria Etelä-Suomi

³ProAgria Pohjois-Savo

⁴ProAgria Länsi-Suomi

A sufficient availability of nutrients is essential for the good growth and quality of field vegetables. This report contains basic information about the significance of macro- and micronutrients in vegetable production. Different fertilisation methods are also presented, and the use of soil amendments and biostimulants is considered in relation to vegetable production.

The second part of the report includes the results of field and farm experiments performed in the Resource-efficient vegetable production project in 2016–2018. The project was funded by the European Agricultural Fund for Rural Development, Maiju and Yrjö Rikala's Horticultural Foundation, Avagro Ltd, Eurofins Viljavuuspalvelu Ltd and Verdera Ltd. The work package on plant nutrition focused on the effects of phosphorus and calcium fertilisation on vegetable yield and quality. Furthermore, the usability of plant and soil analyses in monitoring plant nutrient status during the growing season was investigated.

In phosphorus (P) fertilization experiments, iceberg lettuce showed a larger response to P fertilisation than the other vegetables in the study (onion, white cabbage and carrot). In two experiments out of four, P fertilisation increased the yield statistically significantly compared to a control treatment without P in a field with a low soil P content. Surprisingly, iceberg lettuce yields of spring plantings were less affected by P applications than those of summer plantings with higher soil temperatures. No significant yield effects of P fertilization were found in other vegetable species. Based on these and previous studies, P fertilization of 10–20 kg per hectare, corresponding to P removed with yield, is also sufficient to produce a good yield in soils with a moderate P content (soil P test classes "fair" and "satisfactory", classes 3 and 4 in the Finnish 7-step scale).

Calcium (Ca) fertilisation experiments, in which iceberg lettuce and white cabbage were used as test plants, produced varying results. In some experiments, liquid or foliar Ca fertiliser increased the yield, but their effect on the plant's Ca content varied. Increasing potassium (K) fertilization raised the K content of plants but did not interfere with the uptake of other nutrients.

Data on nutrient concentrations and the uptake of different vegetables were collected during the growing season and at harvest. The results indicated that there was large variation in pH and nutrient status in field soil used in vegetable production. Although the average pH and nutrient concentrations were satisfactory or good, many fields showed unfavourable pH values, nutrient concentrations or ratios. New analyses, e.g. measuring cation exchange capacity, organic matter content or the potential mineralisation of nitrogen, provide further information for planning the nutrient supply.

The results of the plant analyses (Megalab™) indicate that the threshold values for sufficient concentration were mainly at an appropriate level in relation to the nutrient concentrations measured in this study. Some deviations were found. The threshold values might therefore still be adjusted to Finnish conditions.

Key words: biostimulants, calcium, fertilisation, macronutrients, micronutrients, phosphorus, vegetables

Sisällys

1. Pää- ja sivuravinteiden merkitys kasville ja saatavuus maasta	8
1.1. Typpi (N).....	8
1.2. Fosfori	10
1.3. Kalium (K).....	13
1.4. Kalsium (Ca)	15
1.5. Magnesium (Mg).....	16
1.6. Rikki (S).....	16
2. Hivenravinteiden merkitys kasville ja saatavuus maasta.....	18
2.1. Mangaani (Mn)	18
2.2. Boori (B)	20
2.3. Rauta (Fe).....	22
2.4. Kloori (Cl).....	23
2.5. Kupari (Cu)	24
2.6. Sinkki (Zn).....	26
2.7. Molybdeeni (Mo)	27
3. Lannoitusmenetelmät	29
3.1. Rakeiset lannoitteet.....	29
3.2. Nestemäiset lannoitteet maan kautta	29
3.3. Lehtilannoitus	30
3.4. Maanparannusaineet.....	33
4. Biostimulantit	35
4.1. Mitä biostimulantit ovat?	35
4.2. Biostimulanttien ryhmittely.....	35
4.3. Vaikutus ja käyttökohteet.....	37
5. Kokeet.....	38
5.1. Fosforilannoituskokeet	39
5.1.1. Sipuli ja keräkaali.....	39
5.1.2. Salaatti	43
5.1.3. Porkkana	50
5.1.4. Johtopäätökset fosforilannoituskokeista	51
5.2. Kalsiumlannoituskokeet.....	53
5.2.1. Keräkaali.....	53
5.2.2. Jäävuorisalaatti	55
5.2.3. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	63
5.3. Vihannesviljelmien ravinnetilan seuranta	65

5.3.1. Seurantapaikat	65
5.3.2. Menetelmät	65
5.3.3. Tulokset	67
5.3.4. Johtopäätökset analyysien hyödynnettävyydestä	80
6. Yhteenveto ja suositukset	82
Viitteet	84
Liitteet	87

1. Pää- ja sivuravinteiden merkitys kasville ja saatavuus maasta

Ravinteiden riittävä saatavuus on tärkeää avomaanvihannesten tuotannossa tasaisen kasvun ja hyvän laadun varmistamiseksi. Maan ravinnevarastot ovat kasvien ravinnehuollon perusta, jota täydennetään vuotuislannoituksella. Eri vihanneslajien ravinnetarpeesta on saatavilla tietoa niin kirjallisuudesta kuin kotimaisesta tutkimuksesta, joka on kuitenkin perinteisesti painottunut pääravinteista etenkin typen oton ja typpilannoitustarpeen selvittämiseen. Muista pääravinteista on tutkittu vihannesten fosforilannoitusta. Eri yhteyksissä on määritetty vihanneskasvustojen ravinteiden ottoa.

Useiden Suomessa viljeltyjen avomaanvihannesten kasvu-aika ja -tapa ovat vastaavia kuin Keski-Euroopassa, joten esimerkiksi Hollanissa ja Saksassa määritetyt kasvien ravinnetarpeet pitävät paikkansa Suomessa, jos satotasot ovat samansuuruiset. Vihannesten viljelyssä käytetyt maalajit ovat myös melko samanlaisia Keski- ja Pohjois-Euroopassa. Suomalaisissa viljelymaissa orgaanisen aineksen ja sateksen pitoisuudet ovat usein hieman korkeammat kuin Keski-Euroopassa.

1.1. Typpi (N)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvissa

Kasvi tarvitsee typpeä ennen kaikkea valkuaisaineiden muodostamiseen. Typpeä tarvitaan runsaasti myös kasvin toiminnoille elintärkeissä nukleiinihapoissa ja lehtivihreässä. Nuorissa kasvinosissa typen pitoisuus voi olla 40–50 g/kg kuiva-aineessa. Kasvukauden edetessä typpipitoisuus pienenee lähelle tasoa 20 g/kg kuiva-aineesta. Vihreinä korjattavissa vihanneksissa, kuten salaateissa, typpipitoisuus voi sadonkorjuuvaiheessakin olla vielä 30–40 g/kg kuiva-aineesta.

Typpi liikkuu kasvissa helposti, joten typen puute näkyy ensiksi vanhemmissa kasvinosissa. Vihreät lehdet saavat kellanvihreitä sävyjä, ja kasvu alkaa heikentyä. Kasvilajien välillä on eroja, miten ne palauttavat typen puutteen aiheuttamasta stressistä. Mikäli kasvulla on selkeä lämpötilasummasta riippuva kehitysrytmi, kasvukauden alun hetkellinen typenpuute näkyy yleensä heikentyneenä satotasona. Mikäli kasvu on pääosin vegetatiivista (kasvullista) eikä lämpötilasumman kertyminen johda uusin kehitysvaiheisiin, kasvu voi jatkua pidempään ja typen tarjonnan paraneminen palauttaa sadon tavoittelulle tasolle.

Mikäli typpeä on tarjolla kasvin tarvetta enemmän, typpeä varastoituu nitraattina. Kasvit voivat myöhemmin hyödyntää varastoitunutta nitraattia, mutta mikäli typpeä on tarjolla sadonkorjuuseen asti runsaasti, nitraattia jää myös korjattavaan satoon. Nitraatin riskit ravinnossa ovat olleet keskustelussa vuosikymmenien ajan, ja nitraatin päivittäiselle saannille on annettu raja-arvot. Varsinkin alle 1-vuotiaiden lasten nitraatinsaantia vähennetään esimerkiksi lastenruokiin käytettävien vihannesten nitraattirajoituksilla. Tämänhetkinen käsitys on, että vihannesten hyödylliset vaikutukset ovat selvästi merkittävämmät kuin korkeiden nitraattipitoisuuksien mahdolliset haitat.

Kasvin typen tarpeeseen nähden liian suuri tarjonta johtaa rehevään kasvuun ja pehmeisiin solurakenteisiin, jolloin tautien ja tuholaisien aiheuttamat ongelmat voivat lisääntyä. Yleensä korkea typen tarjonta hidastaa myös kasvuston kehitystä, ja vegetatiivinen vaihe voi kestää sadon määrän ja laadun kannalta liian pitkään.

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Yleensä kasvit ottavat pääosan tarvitsemastaan tyypestä maasta epäorgaanisessa muodossa, ammonium-(NH₄⁺) tai nitraatti-(NO₃⁻) ioneina. Viime aikoina on tutkittu myös pienikokoisten

typpiyhdisteiden roolia juurten kautta tapahtuvassa typen otossa. Luonnonmukaisessa tuotannossa on mahdollista, että maapartikkeleihin sitoutuneet aminohapot vapautuvat kasvien typenoton mukaan, ja huolimatta alhaisesta epäorgaanisen typen pitoisuudesta kasvi saa tarvitsemansa määrän typpeä (Jämtgård ym. 2010).

Ammoniumtyppeä vapautuu maahan orgaanisen aineksen hajoamisesta, ja ammonium pidättyy melko hyvin maan kationinvaihtopinnoille. Ammonium muuttuu hapellisessa maassa yleensä nopeasti nitraatiksi, joka pidättyy maahan heikosti ja huuhtoutuu helposti. Epäorgaaniset lannoitteet sisältävät yleensä nitraattia tai ammoniumnitraattia. Tarjolla on myös ammoniumsulfaattia ja -fosfaattia. Yleensä kasvien kasvu on parasta, kun maassa on tarjolla molempia epäorgaanisen typen muotoja. Pelkkä ammoniumtypen tarjonta on kasveille usein haitallista, mutta ammoniumin nopea muttuminen nitraatiksi maassa korjaa yleensä tilanteen. Orgaaniset lannoitteet ja maanparannusaineet sisältävät yleensä orgaanista ja ammoniumtyppeä. Nitraattityppeä esiintyy kompostoiduissa tuotteissa. Orgaanisen typen vapautuminen riippuu tuotteen ominaisuuksista, kuten hiili–typpi-suhteesta ja maan mikrobiaktiivisuudesta. Lämpimät, kosteat ja ilmavat olosuhteet nopeuttavat orgaanisen typen vapautumista.

Palkokasvit kuten herne sitovat typpeä maaperässä olevasta typpikaasusta, joten niiden typensaanti ei ole riippuvainen maassa saatavilla olevasta epäorgaanisesta tyypestä. Palkokasvien juuristossa toimivat typensitojabakteerit tarvitsevat vähintään tyydyttävän ja mielellään hyvän pH-arvon ja ilmavan maan.

Lehtilannoituksena annetun typen on kulkeuduttava lehden pintakerroksen läpi. Lehden pintakerroksessa on negatiivisesti varattuja käytäviä, joita pitkin kationit voivat siirtyä helpommin lehden sisälle kuin anionit. Urea on usein käytetty typpilannoite lehtilannoituksessa. Lehtilannoituksessa voidaan kerralla antaa typpeä yleensä enintään 10–20 kg/ha, joten useimmilla kasveilla lehtilannoituksen avulla voidaan kattaa vain pieni osa typen tarpeesta.

Suosituksat lannoituksesta

Typpilannoitussuosituksat ovat pysyneet Suomessa samalla tasolla, mitä esitettiin 1980-luvun viljelyoppaissa mm. Tieto Tuottamaan -sarjan oppaissa tai Viljavuuspalvelun ohjeissa. Sadon ja kokonaisbiomassan perusteella typpilannoitussuosituksat vaihtelevat eri kasvilajeilla 50 ja 240 kg/ha välillä. Yleisiä lannoitussuosituksia ei ole vihannesviljelyssä annettu vuosikausiin, mutta eri lajeille löytyy lannoitusohjeita mm. farmit.net-palvelusta ja IPM-oppaista (<http://ipm-oppaat.luke.fi>). Ympäristökorvauksen ja nitraattiasetuksen rajoitukset enimmäismääristä asettavat ylärajan etenkin paljon typpeä kuluttavien, kuten kaalikasvien, lannoitukseen.

Turve- ja multamailla typpilannoitustarve on kivennäismaita pienempi, koska useiden vihannesten pitkä kasvukausi antaa mahdollisuuden hyödyntää maan orgaanisen typen vapautumista. Typpilannoituksen jakamista on myös suositeltu, kun typpitaso ylittää 100 kg/ha, ja ympäristökorvausten sääntöjen mukaan liukoisen typen ylittäessä 150 kg/ha on se levitettävä kahdella kerralla. 1990-luvulla ja sen jälkeen tehdyissä kenttäkokeissa on havaittu porkkanan hyödyntävän tehokkaasti maan typpivaroja, ja porkkanan typpilannoitussuosituksia on jonkin verran pienennetty.

Lisälannoitusten ajoittamisen tueksi on tutkittu maan liukoisen typen analyysijä, joiden käyttö on toisinaan helpottanut päätöksentekoa mutta toisinaan saavutettu hyöty ei ole korvannut näytteenoton ja analytiikan vaatimaa työtä. Erilaisten kasvuston typpitilaa mittaavien sensorien käyttöä on tutkittu maailmalla pitkään, mutta niiden käyttö ei ole toistaiseksi yleistynyt avomaanvihannesten viljelyssä tulosten tulkintaan liittyvien haasteiden vuoksi. Vihannesten osalta tulosten tulkintaan tarvittavaa aineistoa on käytettävissä vähemmän kuin viljakasveilla.

1.2. Fosfori

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvissa

Fosfori on välttämätön makroravinne, jota kasvit tarvitsevat erityisesti juurten ja verson kasvupisteissä, soluseinien rakenneosana ja siementen tuotannossa. Lisäksi fosforiyhdisteet ovat keskeisessä roolissa fotosynteesiin liittyvässä sokeryhdisteiden rakennuksessa, sekä osana DNA:ta. Fosfori on välttämätön rakennusaine myös solukalvoissa ja tärkeä komponentti erilaisissa energiaa vaativissa toiminnissa solujen sisällä.

Kasvit ottavat fosforia maasta sekä passiivisesti nestevirtauksen mukana että aktiivisesti juurten soluseinämien ns. fosforiporttien kautta. Näistä aktiivinen fosforin otto on merkittävämpi. Maanesteen fosforipitoisuus on ylipäätään alhainen maahiukkasten pintojen hanakan fosforinpidätystaipumuksen vuoksi. Pienimmillään se on kiihkeimmän kasvun aikana, samalla kun kasvien fosforin tarve on suuri. Kasvien fosforin otto luo juurten ympärille alueen, jossa fosforin pitoisuus on alhaisempi kuin kauempana juurista olevassa maassa. Koska fosfori liikkuu maassa hyvin hitaasti, juuriston kasvun esteiden, kuten maan tiivistymisen, välttäminen helpottaa maassa olevan fosforin hyödyntämistä.

Niukkaan fosforin tarjontaan kasvit vastaavat erilaisilla keinoilla. Tärkein vaste on juurimassan lisääntyminen ja juurten haarautuminen, mikä laajentaa kasvien hyödyntämää maatilavuutta. Juuriston laajuus on ensiarvoisen tärkeä ominaisuus, koska laaja juuristo hyödyntää tehokkaasti myös muita ravinteita ja turvaa kasvien vesihuoltoa. Maan fosforipitoisuuden laskiessa juuret myös erittävät maahan orgaanisia happoja, jotka liuottavat mineraaleja ja vapauttavat niihin sitoutunutta fosforia. Kasvien erittämät kelatoivat orgaaniset yhdisteet pidättävät maanesteeseen liennuttua fosforia, kunnes yhdiste hajoaa mikrobien toimesta ja fosforiosa voidaan siirtää juuren seinämän läpi kasviin. Fosforin kelatoituminen muuttaa myös maanesteen ja maahiukkasten pintojen fosfaattipitoisuuksien tasapainoa ja vapauttaa maahan sitoutunutta fosforia tasapainon palauttamiseksi.

Maan orgaanisesta aineksestä kasvit voivat pilkkoa fosforia entsyymien avulla ja muuttaa sitä muotoon, joka voidaan kuljettaa juurten soluseinien läpi. Erityisesti monivuotisilla kasveilla juuristoon tunkeutuvat mykorritsasienet auttavat niukassa fosforitarjonnassa eläviä kasveja tuomalla kasvien käyttöön oman pinta-alansa ja vaihtamalla maasta ottamaansa fosforia kasvien tuottamiin sokeryhdisteisiin. Kasvi hyötyy mykorritsasymbioosista lähinnä vain niukan fosforin tarjonnan oloissa. Juuristovyöhykkeen mikrobien toiminnalla on niin ikään vaikutusta erilaisten fosforiyhdisteiden muuttamisessa kasveille käyttökelpoiseen muotoon, joskin mikrobit myös ajoittain kilpailevat ravinteista kasvien kanssa (Richardson & Simpson 2011).

Ylenmääräisen fosforitarjonnan oloissa kasvit sulkevat aktiivisten fosforiporttien toiminnan ja tallettavat soluihin kertyvää fosforia varastoyhdisteiksi, tai jopa erittävät sitä solujen ulkopuolelle. Normaalin peltomaan taipumus pidättää fosforia vähentää riskiä kasvuympäristön fosforipitoisuuden kohoamisesta haitalliselle tasolle, mikä on suunnannut tutkimusta ennemminkin fosforin puutteen kuin sen liikatarjonnan vaikutuksiin. Tiedetään kuitenkin, että solun fosforipitoisuuden kasvaessa voimakkaasti fosfori voi muodostaa yhdisteitä hivenmetallien (erityisesti sinkin ja raudan) kanssa ja siten häiritä kasvisolun normaaleja toimintoja. Jos kasvi sulkee täysin juurten fosforiportit, seurauksena voi olla juurten kasvun ja haarautumisen vähentyminen. Tämä tapahtuu siksi, että fosforin siirtomekanismi juurista versoon ei ole riippuvainen fosforiporttien toiminnasta ja kasvin juuriston kasvupiste voi kärsiä fosforin puutteesta samalla kun lehtien fosforipitoisuus nousee korkeaksi (Shukla ym. 2017). Tämä runsaan fosforin tarjonnan juurten kasvua ja haarautumista häiritsevä vaikutus on todennettu lituruoholla (*Arabidopsis*). Lisäksi havaintoja fosforin toksisuudesta on tehty hyvin niukan fosforitarjonnan oloihin sopeutuneilla *Banksia*-, *Protea*- ja *Hakea*-sukujen kasveilla, joilla fosforin oton säätely on niin tehotonta, että lehtien fosforipitoisuus nousee lannoitettaessa nopeasti myrkylliselle tasolle.

Vaikka edelliset esimerkit koskevat muita kuin viljelykasveja, viitteitä fosforin liikasaannin ja kasvun välillä löytyy viljelykasveillakin. Soijapavun jalostukseen liittyvissä liuoskasvatuksissa Foote ja Howell (1964) havaitsivat, että jotkut geenilinjat olivat herkempiä fosforin toksisille vaikutuksille kuin toiset juuriston toiminnan erojen vuoksi. Herkemmät lajikkeet eivät kyenneet vähentämään fosforin ottoa sen pitoisuuden kohotessa. Myöhemmin de Mooy ja Pesek (1969) jatkoivat kokeita maaympäristössä ja vahvistivat nämä tulokset. Vaikka heidän koekasviensa alkukehitys oli korkean fosforilannoituksen seurauksena nopeampaa, oli se kasvin yritys laimentaa lehtien korkeaa fosforipitoisuutta. Toisina strategioina selvittää fosforin ylitarjonnasta oli suuren fosforipitoisuuden sisältävien lehtien pudottaminen ja juuriston laajentaminen vähän fosforia sisältävään pohjamaahan (de Mooy & Pesek 1969). Kokeessa nopea alkukasvu ei lopulta ennustanut tulevaa satoa. Pahimmin kasvu kärsi maassa, jossa oli korkean fosforipitoisuuden ohella jonkun muun pääravinteiden niukkuutta.

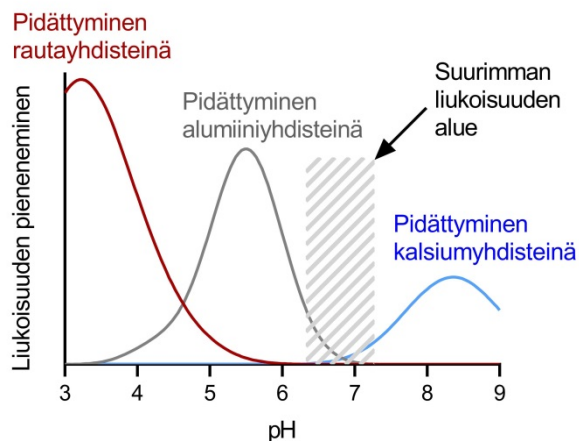
Vehnällä on saatu aikaan fosforimyrkytysoireita kasvatettaessa sitä kvartsihiekkassa, jossa maanesteen liuennon fosforin pitoisuus kasvaa suureksi hiekan olemattoman fosforinpidätyksen seurauksena (Bhatti & Loneragan 1970). Liuosviljelykokeissa on fosforin ylitarjonnan ja samanaikaisen sinkin puutteen havaittu johtavan vehnän lehtien fosforipitoisuuden kasvuun toksiselle tasolle ja satotason huomattavaan alenemiseen (Webb & Loneragan 1988). Sinkin puutteen ja fosforin ylitarjonnan yhdistelmän on havaittu liuoskasvatuksessa alentavan myös maissin ja perunan satoja (Christensen & Jackson 1981). Fosforinpuutteessa kasvaneilla ohran taimilla siirto korkean fosforipitoisuuden kasvatusliuokseen aiheutti fosforin kertymistä lehtien kärkeen toksisiin pitoisuuksiin asti (Green ym. 1973).

Fosforin pitoisuus kasveissa vaihtelee kasvilajin, kasvupaikan ja lannoituksen mukaan, mutta suhteellisen ahtaissa rajoissa verrattuna esimerkiksi typen pitoisuuteen. Normaalisti kasvien fosforipitoisuus on 2–5 g/kg kuiva-aineesta, joissakin siemenissä tätä enemmänkin. Toksisuutta esiintyy, kun pitoisuus nousee prosenttien luokkaan kuiva-aineesta. Normaaleissa pelto-oloissa toksisen korkeita pitoisuuksia lienee hyvin harvoin odotettavissa. Kasvien fosforipitoisuus myös vaihtelee kasvukauden kuluessa, eikä lehtien alhainen fosforipitoisuus alkukesällä vielä merkitse sadon menetystä. Kasvun kiihkeimmässä vaiheessa kaikkien ravinteiden pitoisuudet laimentuvat solumassan nopean kasvun seurauksena.

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Suomalaisissa maissa on luontaisesti suhteellisen suuri fosforipitoisuus, mutta pääosa fosforista on niukkaliukoista apatiittikiven sisältämää fosforia. Se rapautuu hitaasti, eikä rapautumisesta vapautuvan, kasvien helposti hyödynnettävän fosforin määrä riitä viljelykasvien tarpeeseen.

Fosforin liukoisuutta ja käyttökelpoisuutta kasvien kannalta säätelee maan mineraalikoostumus, ominaispinta-ala ja pH. Fosfori reagoi hanakasti metalliyhdisteiden kanssa ja jossain oloissa voi muodostaa saostumia myös kalsiumyhdisteiden kanssa. Normaalisissa suomalaisissa peltomaassa reaktiokumppaneina ovat pääosin alumiinin ja raudan hydroksidit. Näiden metalliyhdisteiden taipumus pidättää fosforia on suurimmillaan happamassa maassa, raudalla pH:ssa 3–4 ja alumiinilla pH:ssa 5–6 (Kuva 1). Maan pH:n noustessa emäksiselle alueelle alkaa fosforia saostua kalsiumfosfaatteina. Fosforin liukoisuus maassa on suurimmillaan pH-alueella 6,5–7. Maat, joissa on runsaasti metallioksideja, pidättävät fosforia tehokkaasti ja toisaalta hienorakeiset maat omaavat suuren pidätyskapasiteetin mineraalien murtopinnoilla. Fosforin pidätyskapasiteetti on siten savimaissa pääsääntöisesti suurempi kuin karkeammassa mineraalimaassa, ja pienin pidätyskapasiteetti löytyy eloperäisistä maista.



Kuva 1. Periaatekuva fosforin pidättymisestä eri yhdisteisiin eri maan pH-arvoissa. Varjostetulla alueella fosforin liukoisuus maassa on suurimmillaan. Y-akseli kuvaa fosforin pidättymisen voimakkuutta.

Maahan lisäystä vesiliukoisesta fosforista valtaosa pidättyy lievästi happamassa maassa alumiinin ja raudan yhdisteisiin. Tällöin fosforin pitoisuus maanesteessä laskee nopeasti, muutaman päivän tai viikon kuluttua lisäyksestä (Sillanpää, 1961). Maan fosforia pidättävä reaktio on kasvien fosforin hetkelistä saantia rajoittava tekijä, mutta sen seurauksena fosfori myös säilyy hyvin juuristovyöhykkeessä. Pidättynyt fosfori on edelleen kasvien käytössä, joskin osa siitä muuttuu hitaammin hyödynnettävään muotoon, jos maanesteen fosforipitoisuutta kohotetaan uudelleen. Maassa helppoliukoinen fosfori ja hitaammin käyttökelpoiset fosforivarat muodostavat tasapainoja, joiden suunta riippuu siitä, ovatko fosforitaseet yli- vai alijäämäisiä. Jatkuvasti ylijäämäiset taseet ajavat aiemmin pidättynyttä fosforia niukkaliukoisempaan, hitaammin hyödynnettävään muotoon. Alijäämäiset taseet puolestaan siirtävät tasapainoja siten, että fosforia siirtyy hitaammin hyödynnettävästä varannosta helppoliukoisempaan muotoon. Määrällisesti helppoliukoista fosforia on hyvin vähän, kun taas hitaasti hyödynnettävä varanto on suuri ja vastaa yleensä viljelykasvien kymmenien vuosien summattua fosforin ottoa.

Koska fosfori on makroravinne, jota viljeltävä kasvusto tarvitsee usein vähintään 10 kg hehtaarilla, sen lisäys on järkevää tehdä maahan tai kasvualustaan, josta ravinteiden otto tapahtuu luonnollisesti nestevirtauksen mukana. Fosforin lehtilannoituksesta on tehty kokeita eri aikoina ja eri kasveilla (ks. Bindraban ym. 2020). Lehtilannoituksella on saatu sadonlisää erityisesti sellaisilla mailla, joissa fosfori saostuu nopeasti lisäyksen jälkeen, esimerkiksi emäksisillä kalkkipitoisilla mailla (esim. Al Harbi ym. 2013). Kun happamammassa maassa alumiinin ja raudan oksidien pinnoille pidättynyttä fosforia vapautuu maanesteeseen sen fosforipitoisuuden laskiessa kasvien fosforinoton seurauksena, emäksisissä kalkkimaissa fosfaattisaostumat eivät liukene samalla tavoin maanesteen fosforipitoisuuden alentuessa. Lehtilannoitusta voidaan tällaisessa tilanteessa käyttää korjaamaan kasvien fosforitilaa. Lehtilannoituksen vaikutus on parhaassa tapauksessa nopea ja fosforin hyväksikäyttöaste huomattavasti korkeampi kuin maan kautta annetulla fosforilla (Bindraban ym. 2020).

Lehtilannoituksen käyttökelpoisuutta pääasiallisena fosforilannoitustapana vähentää se, että fosforia ei lehtilannoitteena saada kasvin pinnalle suurempia määriä ennen kuin lehtipinta-ala on täysin kehittynyt. Lisäksi lehtien kunnan on oltava hyvä, jotta lannoite siirtyisi lehtien pinnalta kasvin solukkaan. Jos kasvi jo alkukehityksessään jää ilman fosforia, lehtipinta-ala jää pieneksi ja kasvusto voi olla kuntoiltaan huono. Runsaat fosforiyhdisteiden lisäykset lehdille saattavat vahingoittaa niitä edelleen ja siten heikentää myöhempää kasvua. Lehdissä ei myöskään ole mitään aktiivisia ravinteiden siirtomekanismeja lehden pinnalta solujen sisään, minkä vuoksi lehtilannoitusta vain harvoissa oloissa suositellaan pääravinteiden lannoitustapana.

Suositukset lannoituksesta

Suosituksia fosforilannoituksen määristä eri kasveille on tarkennettu reilusti alaspäin parin viime vuosikymmenen aikana. Peltomaiden fosforivarannot kasvoivat 1950-luvulta lähtien tuntuvan ylilannoituksen seurauksena ja peltoihin kertynyt ylijäämä oli 2000-luvulle tultaessa jo keskimäärin luokkaa 1 000 kg/ha (Saarela, 2002). Maahan on siten kertynyt kasvien hyödynnettävissä olevaa fosforia, mikä on pienentänyt vuosittaisten fosforilisäysten hyötyjä sadontuotannossa. Samaan aikaan fosforin kertymisestä seuranneen peltoilta vesistöihin tapahtuvan fosforivuodon pysäyttämisen vaikeus on tullut selväksi ja on alettu hakea tasapainoa satohyötyjen ja ympäristövaikutusten välille. Niin kauan kuin maassa on niin paljon kasvien hyödynnettävissä olevaa fosforia, että sen vuosittainen lisäys ei tuota satovastetta, lannoitusta voidaan vähentää ilman sadon menetyksiä. Laajaan kenttäkoetulosten yhteenvedon mukaan savimailla maan viljavuusuuton P-luku 6 mg/l on riittävä peltokasvien sadon määrän ja laadun turvaamiseksi. Karkeammilla kivennäismailla vastaavat pitoisuudet ovat 10 mg/l ja eloperäisillä mailla 15 mg/l (Valkama ym. 2011, 2015).

Viljoilla ja nurmilla on tehty runsaasti fosforilannoituskokeita, ja kokeet ulottuvat ajallisesti suomalaisen maataloustutkimuksen alkupäivistä yli sadan vuoden takaa nykyhetkeen. Koetulosten yhteenvetojen (Valkama ym. 2011, 2015) ja peltomaiden ravinnetilan seurannan (Lemola ym. 2018) mukaan noin puolella Suomen peltoalasta maan fosforipitoisuus on niin korkea, että vuosittaisista fosforilisäyksistä ei ole odotettavissa sadonlisäystä. Käytännössä viljavuusluokkaa "välttävä" korkeammat maat kuuluvat joukkoon, jossa viljojen ja nurmien satovasteet ovat epätodennäköisiä.

Vihannesten fosforilannoituskokeita on sitä vastoin tehty hyvin vähän. Lannoitussuositukset ovat vihannesviljelyssä perustuneet ajatukseen, että vihannekset tarvitsevat runsaan fosforilannoituksen maatalan tai heikoksi kehittyvän juuriston vuoksi. Tälle oletukselle ei ole saatu vahvistusta viime vuosina tehdyistä fosforilannoituskokeista. On erittäin todennäköistä, että myös vihanneksia voidaan menestyksellisesti kasvattaa nykyisiä suosituksia ja rajoituksia pienemmillä fosforilisäyksillä. Tarkempien lannoitussuosituksien pohjaksi on tämän ja muiden hankkeiden kuluessa saatu ensimmäisiä koetuloksia, mutta eri kasvien suuren määrän vuoksi kokeita tarvittaisiin huomattavasti lisää. Tällä hetkellä kuitenkin näyttää siltä, että alhaisimpia (huono, huononlainen) fosforiluokkia lukuun ottamatta vihannekset hyötyvät korkeintaan sen suuruudesta fosforilisästä, mitä sadon mukana korjataan pois. Mitään viitteitä siitä, että korkeammassa fosforiluokissa tarvittaisiin lisättyä fosforia, ei ole kokeissa tullut tähän mennessä esiin.

1.3. Kalium (K)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Kaliumia tarvitaan kasveissa monissa erilaisissa toiminnoissa. Kaliumia tarvitaan entsyymien aktivoimisissa, proteiinisynteesissä, osmoottisen potentiaalin säätelyssä muiden kationien kanssa ja aineiden siirrossa kasvin sisällä. Kalium on tärkeässä osassa sekä kasvin veden että hiilidioksidin otossa osallistuessaan lehtien ilmarakojen avautumiseen ja sulkeutumiseen. Lisäksi kalium osallistuu solujen energiantuotantojärjestelmien toimintaan.

Kasvit ottavat kaliumia sekä passiivisesti nestevirtauksen mukana että aktiivisesti solujen kaliumporttien kautta. Kasveissa on tyypillisesti kaliumia 20–60 g/kg kuiva-ainetta (Mengel & Kirkby 2006), ja pitoisuus laskee kasvun edetessä kohti tasoa 20 g/kg kuiva-ainetta (Scaife ym. 1983). Koska vihannesten kokonaissadon massat voivat olla suuria, ylittäen jopa 10 t/ha, kaliumin tarve kasvustoon voi olla suurimmillaan sadonkorjuuvaiheessa 200–400 kg/ha. Kalium liikkuu hyvin kasvilla, ja puutosoireet näkyvät ensiksi vanhemmissa lehdissä.

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Kasvin juuret ottavat kaliumin maanesteestä, ja se liikkuu maanesteessä ensi sijassa diffuusion kautta. Maanesteen varanto täydentyy maapartikkelien vaihtopinnoilta, ja vaihtuvan kaliumin määrä kuvaakin yleensä hyvin kaliumin tarjontaa maasta. Suomessa vaihtuvan kaliumin määritykseen käytetään viljavuusanalyysin ammoniumasetaatti-uttoa. Maan luontaiset kaliumvarat ovat pienimmät karkeissa kivennäismaissa ja turvemaissa. Kalium huuhtoutuu helposti etenkin karkeilla mailla.

Tiheä juuristo ja juurikarvojen suuri määrä parantavat kasvin kykyä ottaa maasta kaliumia. Kasvinjätteen ja maanparannusaineiden sisältämä kalium esiintyy liukoisena ionimuodossa, joten se on maassa lähes välittömästi kasvien käytettävissä.

Kalium absorboituu nopeasti lehtien kautta, mutta lehtilannoituksissa kaliumia voidaan antaa vain pieniä määriä viotusriskien takia.

Suositukset lannoituksesta

Keskimääräinen kaliumlannoitus suomalaisilla pelloilla on vähentynyt väkilannoitteiden myynnin laskun seurauksena 1990-luvun alun noin 60 kg/ha:sta jopa alle 20 kg/ha tasolle 2010-luvulla (Keskinen ym. 2016). Savimailla kaliumreservit ovat yleensä suuret, koska kalium pidättyy hyvin savimineraalien välitilaan. Karkeilla ja eloperäisillä mailla kalium sen sijaan huuhtoutuu herkästi, ja näillä mailla on syytä kiinnittää huomiota viljavuustutkimuksen kaliumluvun suuruuteen ja kehitykseen. Kaliumin puutoksen havaitseminen voi olla vaikeaa, koska kasvit eivät näytä erityisiä merkkejä nimenomaan kaliumin puutokselle. Myöhemmässä vaiheessa vanhat lehdet muuttuvat kloroottisiksi, kun kalium siirtyy niistä kasvaviin lehtiin.

Kaliumin tarve viljakasveilla on noin 100 kg/ha, mutta suurin osa otetusta kaliumista jää olkiin ja siten yleensä palautuu peltoon. Nurmien kaliumin otto on 100–200 kg/ha ja kun sato korjataan yleensä kokonaisuudessaan pellolta, on tämä määrä korvattava kaliumlannoituksella. Nurmikokeissa typen jälkeän suurimmat sadonlisät on saatu kaliumlannoituksella (Virkajärvi, julkaisematon aineisto), ja kaliumin riittävyys lienee ainakin nurmilla monesti satoa rajoittava tekijä.

Suomessa on aiemmin mitattu vihannesten kaliumin ottoa mm. 1990-luvun lopun lannoituskokeissa. Tuolloin mitattiin etenkin porkkanalla ja kaalilla hyvin korkeita kaliumin ottomääriä (300–500 kg/ha) maanpäällisissä kasvinosissa (Salo ym. 2001). Revi-hankkeen aineistoissa kaliumin otto maanpäälliseen kasvustoon oli keräkaalilla keskimäärin lähes 500 kg/ha (Taulukko 1). Porkkanan ja salaatin kaliumin otot olivat myös huomattavan suuret eli keskimäärin 390 ja 260 kg/ha (Taulukko 1).

Vihannesten kaliumlannoituksen suositukset vaihtelevat huonon kaliumluokan maiden yli 200:sta kg/ha korkeiden kaliumluokkien 30–80:een kg/ha. Kaliumilla havaitaan harvoin liikaottoa, koska kasvit säätelevät sen määrää aktiivisten kaliumporttien avulla. Hyvin suuri kaliumpitoisuus kasvualustassa voi kuitenkin häiritä muiden kationien ottoa kationikilpailun vuoksi ja johtaa magnesiumin tai kalsiumin alhaiseen pitoisuuteen kasvilla.

Taulukko 1. Maanpäällisten kasvustojen makroravinteiden kokonaisoton keskiarvot ja keskihajonnat Revi-hankkeessa kerätyssä aineistossa. Kasvilajin jälkeen on ilmoitettu koepeltojen määrä ja näytteiden määrä (X/Y). Keskihajonta sisältää 67 % havainnoista eli keräkaalin kokonaistypenoton kohdalla 67 % havainnoista on välillä 173 – 301 kg/ha.

Kasvilaji	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg/ha					
Keräkaali (9/175)	237	42	481	249	29	129
<i>keskihajonta</i>	64	12	139	97	9	38
mukulaselleri (2/12)	119	27	209	89	16	50
<i>keskihajonta</i>	43	8	74	24	4	16
porkkana (12/70)	118	21	370	54	16	17
<i>keskihajonta</i>	38	11	114	23	8	7
salaatti (6/197)	80	10	257	21	7	8
<i>keskihajonta</i>	21	3	68	7	2	2
sipuli (4/96)	87	18	169	36	11	26
<i>keskihajonta</i>	20	7	52	12	3	11
varhaiskaali (2/12)	82	16	123	62	7	41
<i>keskihajonta</i>	26	3	26	12	1	9

1.4. Kalsium (Ca)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Kalsium on tärkeä soluseinien rakenneosana, joka sitoo seinämien orgaanisia osasia toisiinsa ja mahdollistaa muidenkin orgaanisten molekyylien keskinäistä vuorovaikutusta. Solukalvoissa kalsium esiintyy rakenneosana ja on välttämätön ioniporttien toiminnassa. Kalsium osallistuu myös joidenkin entsyymien ja hormonien toimintaan.

Vaikka kalsiumia on paljon solunseinissä ja solukalvoissa, vapaan kalsiumin pitoisuus solujen sisällä on pieni. Kasvien kalsiumpitoisuudet vaihtelevat välillä 5–30 g/kg kuiva-ainetta. Ainoastaan juurten kärjet ottavat kalsiumia, joten kalsiumin otto kasviin on pieni verrattuna sen yleensä korkeaan pitoisuuteen maanesteessä. Kalsiumin otto on pääosin passiivista haihtumisvirtauksen mukana ja veden haihtumisnopeus vaikuttaa kasvin eri osien kalsiumin pitoisuuteen ja aiheuttaa toisinaan puutoksia. Kalsium liikkuu kasvin nilaosassa hitaasti, ja puutosoireet tulevat näkyviin uusissa kasvinosissa.

Kalsiumin puutokset näkyvät yleensä nuorten lehtien epämuotoisuutena, vaalenemisena tai reunapoltteena. Vaikutukset esiintyvät nuorissa aktiivisesti jakautuvissa soluissa. Kalsiumin puute aiheuttaa lehtivihanneksilla usein reunapoltetta, juureksilla kasvupisteiden tummenemista ja kuolemista.

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Happamuuden hillitseminen kalkituksen avulla pitää yleensä maan kalsiumpitoisuuden riittävänä kasvien kasvulle. Muutamilla viljelykasveilla on tavoitteena pitää pH melko alhaisena, mutta toisaalta maan kalsiumpitoisuus hyvällä tasolla. Tällöin käytetään kalsiumin lähteenä esimerkiksi kipsiä. Koska kalsiumin otto tapahtuu vain nuorten juurten kärkien kautta, juuriston hyvä kunto on kalsiumin otolle tärkeä. Lehdille annettu kalsium imeytyy hyvin pintakerroksen läpi.

Suositukset lannoituksesta

Kalsium on viljelymaissa valtakationi, jota on yleensä 70–80 % maan vaihtuvista kationeista. Yleensä pH:n ollessa riittävällä tasolla maat sisältävät riittävästi kalsiumia viljakasvien tarpeiksi, kun sadon mukana sitä poistuu alle 20 kg/ha. Tämän hankkeen kenttäkokeissa sadonkorjuuvaiheessa vihanneskasvustojen kalsiumin otto oli keräkaalin kohdalla keskimäärin 250 kg/ha ja mukulasellerillä 89 kg/ha (Taulukko 1). Muiden vihannesten kalsiumin kokonaisotto oli alle 70 kg/ha (Taulukko 1).

Vihannesten lannoitussuosituksissa kalsiumtarvetta hoidetaan yleensä kalkituksen avulla. Tilanteissa, joissa pH on korkea ja maan kalsiumpitoisuus alhainen tai maan pH:ta ei haluta viljelykasvin takia nostaa, käytetään kalsiumnitraattia tai kipsiä (kalsiumsulfaatti). Tarjolla on myös kalsiumia, magnesiumia ja hivenravinteita sisältäviä rakeisia lannoitteita. Maan kalsiumpitoisuuden ollessa alhainen suositellaan esimerkiksi keräkaalille ja varastoporkkanalle kalsiumlannoitusta 160 kg/ha (www.farmit.net).

Lehtilannoksissa käytetään kalsiumia 1–2 kg/ha annoksina ja käsittely toistetaan muutamaan kertaan. Ensijaisena tavoitteena on yleensä torjua lehdenreunapoltetta tai parantaa varastoitavien tuotteiden laatua.

1.5. Magnesium (Mg)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Magnesium on viherhiukkasen osana kasvien yhteyttämiselle välttämätön alkuaine, ja 15–30 % kasvien magnesiumista toimii tässä tehtävässä (Merhaut 2006). Magnesiumia tarvitaan lisäksi entsyymien aktiivisuudessa, solukalvojen ja proteiinien toiminnan sekä nukleiinihappojen rakenteen säätelyssä. Magnesiumin puute vaikuttaa suoraan yhteyttämiseen, hiilidioksidin sidontaan ja kasvien hengitykseen, sekä solujen energiantuotantoon.

Kasvin lehtien magnesiumpitoisuuden pitäisi olla vähintään 2 mg/kg kuiva-ainetta (Scaife ym. 1983). Magnesiumin puutteen oireena voidaan havaita lehtisuonten välistä vaalenemista. Magnesium liikkuu kasvilla melko helposti.

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Kasvi ottaa magnesiumin kationimuodossa. Koska maanesteessä on yleensä runsaasti magnesiumia, sen otto maasta tapahtuu vedenoton mukana. Maan savespitoisuuden lisääntyessä kasveille käyttökelpoisen magnesiumin määrä kasvaa. Lehdille annettu magnesium siirtyy hyvin kasviin.

Suositukset lannoituksesta

Dolomiittikalkin käyttö kalkituksessa on yleensä ensijainen suositus magnesiumin saatavuuden turvaamiseksi. Magnesiumin vuosittainen otto on selvästi muita kationeja pienempi, ja tämän hankkeen aineistoissa magnesiumin kokonaisotto oli yleensä alle 30 kg/ha (Taulukko 1).

Lehtilannoituksen avulla voidaan reagoida havaittuihin puutosoireisiin. Käytettyjä lannoitteita ovat mm. magnesiumsulfaatti ja -kelaatit.

1.6. Rikki (S)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Rikki on tärkeiden valkuaisaineiden ainesosa. Rikki liikkuu kasvilla hitaasti, ja puute näkyy ensiksi uusissa lehdissä. Tyypillisiä oireita ovat kullankeltaiset lehdet tai epämuotoisuus, johon liittyy

lehtisuonten välinen kloroosi. Rikin kasvulle kriittinen minimipitoisuus lehdissä on 2 g/kg kuiva-ainetta (Scaife ym. 1983), mutta tässä hankkeessa mitatut rikkipitoisuudet olivat kaalin lehtinäytteissä 12, porkkanan 5 ja sipulin 4 g/kg kuiva-ainetta. Mitatut pitoisuudet vastaavat hyvin riittäväksi arvioituja rikkipitoisuuksia kaalin lehdille 15–19 g/kg (Huett ja Rose 1989), porkkanan naateille 3–6 g/kg (Gupta ja Chipman 1976) ja sipulin lehdille 3–5 g/kg (Jones ym. 1991).

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Rikin kierrossa maan orgaanisella aineksella on tärkeä merkitys. Rikin keskimääräinen pitoisuus pitkälle hajonneessa orgaanisessa aineksessa on 1 % hiilen pitoisuudesta. Orgaaniseen ainekseen sitoutunut rikki vapautuu kasveille käyttökelpoiseksi sulfaatiksi. Sulfaatti pidättyy fosforin tapaan maan oksidipinoille ja savimineraaleihin, mutta pidättyminen ei ole yhtä voimakas kuin fosforilla. Sulfaattia voikin huuhtoutua, joten karkeat kivennäismaat ovat herkimpiä rikin puutteelle. Sulfaatin otto on kasvin juurissa aktiivinen prosessi.

Lehtien ilmarakojen kautta kasvit voivat ottaa rikkidioksidia. Lehtilannoituksessa annettu sulfaatti-rikki läpäisee hyvin lehtien pintasolukon.

Suosituksset lannoituksesta

Vihannesten lannoituksessa suositellaan käytettäväksi sulfaattipitoisia lannoitteita. Tämä johtuu osaltaan myös NPK-lannoitteiden kaliumsuolasta, joka on yleensä peltolannoitteissa kaliumkloridi ja puutarhalannoitteissa kaliumsulfaatti. Rikin otto kasvustoon on yleensä 10–40 kg/ha, mutta keräkaalin rikin tarve on usein yli 100 kg/ha (Taulukko 1).

Viljavuusanalyysin rikkipitoisuus kertoo maan rikkiluokan, jonka mukaan rikkilannoitusta voidaan suunnitella. Vihanneskasveille ei ole annettu Suomessa (Farmit, Yara tms.) lannoitussuosituksia, joten suosituksia on tulkittava peltokasvien ja ulkomaisten suositusten pohjalta. Öljykasveille suositellaan huonossa rikkiluokassa 50 kg/ha lannoitusta (www.farmit.net). Englannin lannoitussuosituksissa rikkilannoitussuositus on 20–30 kg/ha, jos on aihetta epäillä maan rikkitarjonnan olevan pieni. Jos maan rikkipitoisuus on alhainen, karjanlannan ja maanparannusaineiden käyttö lisää orgaanista ainesta, josta rikkiä vapautuu mikrobitoiminnan kautta kasvien käyttöön. Epäorgaanisista lannoitteista rikkiä sisältävät runsaasti ammoniumsulfaatti ja kipsi. Lehtilannoitteilla rikin kerta-annos on noin 1,5 kg/ha, joka voidaan toistaa noin kahden viikon välein.

Maanparannuksessa voidaan käyttää suuria määriä kipsiä, jolloin on pohdittu rikin mahdollisia haitallisia vaikutuksia. Suuren rikkilannoituksen vaikutukset voivat tulla esiin muiden ravinteiden oton vaikeutumisena. Usean tonnin suuruisten kipsilisäysten on havaittu vähentävän viljojen seleenin ottoa kipsikäsittelyä seuraavana kasvukautena.

2. Hivenravinteiden merkitys kasville ja saatavuus maasta

Kasvit tarvitsevat maaperän hivenaineita alkukehitykseensä, kasvuunsa ja lisääntymiseensä huomattavasti pienempiä määriä kuin pääravinteita. Pääravinteiden (N, P, K) tarve viljelykasveissa vaihtelee välillä 10–300 kg/ha vuodessa ja sivuravinteiden (S, Ca ja Mg) välillä 1–50 kg/ha vuodessa. Hivenravinteita, joita ovat boori (B), kloori (Cl), kupari (Cu), mangaani (Mn), molybdeeni (Mo), rauta (Fe) ja sinkki (Zn), kasvit käyttävät 0,01–1 kg/ha vuodessa. Hivenaineilla on kuitenkin tärkeä merkitys kasvifysiologiassa kasvun, laadun, kukinnan ja sadon säätelijöinä. Tyypillisiä pitoisuuksia on esitetty taulukossa 2. Vihannesviljelyssä hivenainetalouteen on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota kasvien tuotosten kasvaessa ja laatuvaatimusten lisääntyessä.

Pääravinteisiin verrattuna hivenravinteiden käyttökelpoisuus kasveille viljelymaassa riippuu usein enemmän ympäristötekijöistä kuin maaperän kivennäis- ja orgaanisen aineen sisältämistä hivenaineiden kokonaispitoisuuksista. Maan orgaanisen aineen määrä ja laatu sekä kasvien juuristokerros eli ritsosfääri vaikuttavat hivenravinteiden saatavuuteen. Juuret erittävät maahan ravinteiden liukoisuutta lisääviä orgaanisia, kelatoivia yhdisteitä, jotka kiihdyttävät maan orgaanista ainetta kivennäisaineiksi pilkkovien maaperämikrobien toimintaa. Orgaanisen aineen määrä ja sen sisältämät yhdisteet puolestaan saattavat joko vähentää tai kohottaa hivenravinteiden käyttökelpoisuutta kasveille.

Taulukko 2. Viljelykasvien lehtien keskimääräisiä hivenainepitoisuuksia (kuiva-ainetta kohti) normaali-, puutos- ja myrkytystilanteissa. Lähteet: Bergmann 1983, Marschner 2012, Mortvedt et al. 1991, Niskanen & Ramdane 2003, Scaife & Turner 1983.

Hivenaine	Puutos	Normaali/sopiva	Myrkytys
	mg/kg kuiva-ainetta	mg/kg kuiva-ainetta	mg/kg kuiva-ainetta
Boori (B)	5–50	10–200	50–1000
Kloori (Cl)	<100	100–500	500–1000
Kupari (Cu)	1–5	5–30	20–100
Rauta (Fe)	50–150	100–500	>500
Mangaani (Mn)	10–25	20–300	200–1000
Molybdeeni (Mo)	0,03–0,15	0,1–2,0	>100
Sinkki (Zn)	10–20	27–150	100–400

2.1. Mangaani (Mn)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvissa

Mangaani toimii kasveissa entsyymien aktivaattorina, vaikuttaen hiilihydraattien, proteiinien ja kasvirasvojen muodostumiseen sekä aineenvaihduntaan. Tärkeimmät vaikutukset liittyvät kasvien yhteyttämiseen (veden hajottaminen) ja juuriston kehitykseen. Mangaanin puutos (lehtien Mn-pitoisuus alle 10–20 mg/kg) alentaa kasvien sadontuottoa vähentämällä yhteyttämistä ja juurten kasvua. Lisäksi puutos alentaa kasvien kuivuuden ja kylmyyden sietokykyä sekä vastustuskykyä juuristotaudeille. Taulukossa 3 on esitetty eri vihanneslajeissa mitattuja mangaanipitoisuuksia.

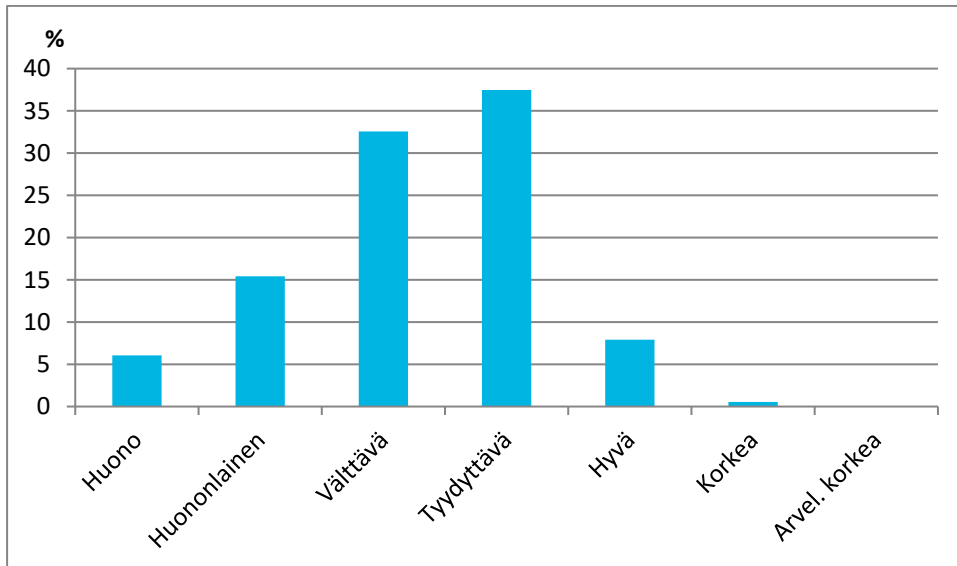
Taulukko 3. Vihannesten normaaleja mangaanipitoisuuksia eri kirjallisuuslähteiden mukaan. Pitoisuudet on mitattu sato-osassa, jos ei muuta mainita. Lähteet kuten taulukossa 2.

Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)	Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)
Artisokka	21	Peruna	6–15
Härkäpapu	29	Peruna (lehdet)	50–580
Tarhapapu	38–940	Pinaatti	34–60
Kaali	29–47	Porkkana (lehdet)	30–175
Keräkaali	30–150	Porkkana	11–190
Kiinankaali	10–35	Punajuuri	35–110
Kukkakaali	35–150	Punajuuri (lehdet)	50–550
Parsakaali	23–37	Salaatti	27–140
Ruusukaali	40–150	Salaatti (ulkolehdet)	30–150
Kurkku	12–69	Jäävuorisalaatti	30–160
Kurkku (lehdet)	42–200	Selleri	16–79
Lanttu	8–33	Sipuli	10–34
Lanttu (lehdet)	16–126	Purjosipuli	5–203
Persilja	24	Tomaatti (lehdet)	70–400

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Mangaani esiintyy maaperässä silikaateissa ja niukkaliukoisina mangaanioksideina rautaoksidiin ja maan humukseen sitoutuneena. Kasvien juuret ottavat aktiivisesti mangaanin maasta Mn^{2+} -ionina, jonka liukoisuus riippuu maaperän pH:sta, happipitoisuudesta ja orgaanisen aineen määrästä. pH-optimi on välillä 5,0–6,0, joten voimakas kalkitus vähentää mangaanin liukoisuutta, jopa kasvien puutos-tilaan asti. Kalkitus maaperässä mangaanin liukoisuus voi säilyä kohtuullisena kasvien juuristokerroksessa eli ritsosfäärissä, koska juuret erittävät orgaanisia, kelatoivia yhdisteitä maahan ja juuristoeritteet lisäävät ravinnekiertoa ylläpitävien maamikrobien aktiivisuutta. Lisäksi typpilannoituksen maaperää happamoittava vaikutus lisää mangaanin liukoisuutta.

Maaperän pintakerroksen korkea orgaanisen aineen määrä vähentää mangaanin saatavuutta kasveille. Myös maaperän korkea magnesiumipitoisuus voi heikentää mangaanin ottoa, sillä se vaikeuttaa mangaanin pääsyä kasvin sisään muuttamalla juurten kationiporttien rakennetta. Happamissa ja vähähappisissa oloissa mangaania saattaa liueta haitallisen suuria määriä, joista voi seurata myrkytystila (lehtien mangaanipitoisuus >200–1000 mg/kg). Toisaalta vuosittain tulvan vaikutuksen alaisilla mailla mangaania saattaa myös huuhtoutua maaperästä niin paljon, että siitä seuraa puutostiloja. Kuvassa 2 esitetään suomalaisten viljelysmaiden mangaanipitoisuuksien jakauma viljavuusluokittain koko maassa vuosina 2006–2010.



Kuva 2. Pintamaan mangaanin pH-korjattujen viljavuusluokkien jakaumat (%) koko maassa vuosina 2006–2010. Lähde: Eurofins Viljavuuspalvelu, viljavuustilastot (www.tuloslaari.fi).

Suosituksset lannoituksesta

Mangaani on boorin ja kuparin lisäksi hivenaine, jonka merkittäviä puutoksia on Suomessa havaittu käytännön viljelyssä. Viljelykasvit ottavat mangaania maasta noin 500–700 g/ha vuodessa. Mangaania kertyy kasveissa runsaimmin nuoriin soluihin ja kasvupisteisiin. Vihannesten viljelyssä maaperä pyritään ylläpitämään kuohkean hapekkaana ja välttämään happamuutta, joten puutostilanteissa kasveille käyttökelpoisen mangaanin pitoisuutta saattaa olla hankala kohottaa maan mangaanilannoituksella. Tehokkain keino on lehtilannoitus mangaanisulfaatilla, mangaanikloridilla, mangaaninitraatilla, mangaanikarbonaatilla tai mangaanikelaateilla, 1–5 kg/ha annoksena. Toisaalta maahan sijoituslannoituksen levitetyn pääravinnelannoituksen on havaittu edistävän kasvien mangaanin saantia, koska lannoite happamoittaa maata ja lisää näin mangaanin liukoisuutta. Sijoituslannoitus tehostaa ritsosfääri-vaikutusta ja saattaa puolittaa lannoitetarpeen hajalevitykseen verrattuna.

2.2. Boori (B)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Boorilla on keskeinen merkitys kasvien kasvun ja kukinnan säätelijänä. Boorin puutos vähentää kasvien kärki- ja sivusilmujen muodostumista sekä heikentää kärkisilmun dominanssia, ja vähentää juurten kasvua merkittävästi. Kasvien versoista kehittyy pensasmaisia ja juuristo lyhenee. Samoin kukinta, siitepölyn tuotanto sekä siitepölyn ja siementen laatu heikkenevät ja aiemmin kehittyneet kukkasilmut voivat tuhoutua. Taulukkoon 4 on koottu eri kirjallisuuslähteistä vihannesten tyyppisiä ja haitallisia pitoisuuksia.

Taulukko 4. Vihannesten booripitoisuuksia normaalissa ja kasvulle haitallisessa pitoisuudessa kirjallisuuslähteiden mukaan (mg/kg kuiva-ainetta). Pitoisuudet on mitattu sato-osassa, jos ei muuta mainita. Lähteet kuten taulukossa 2.

Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)	Haitallinen pitoisuus (mg/kg)
Papu	28–40	43–132
Kaali	19–25	
Keräkaali	25–80	440–1152
Kiinankaali	20–50	
Kukkakaali	11–97	
Parsakaali	10–71	
Ruusukaali	23–103	175–307
Kurkku (lehdet)	40–120	>300
Kurkku	25–40	
Lanttu (lehdet)	30–140	>250
Lanttu	25–56	
Peruna	5–50	>50–180
Peruna (lehdet)	30–50	
Porkkana	25–103	65–319
Porkkana (lehdet)	30–80	189–570
Punajuuri (lehdet)	35–80	
Punajuuri	10–30	
Salaatti	20–43	70–82
Jäävuorisalaatti	15–64	
Selleri	28–432	720
Sipuli	11	
Purjosipuli	5–34	
Tomaatti (lehdet)	30–96	>200

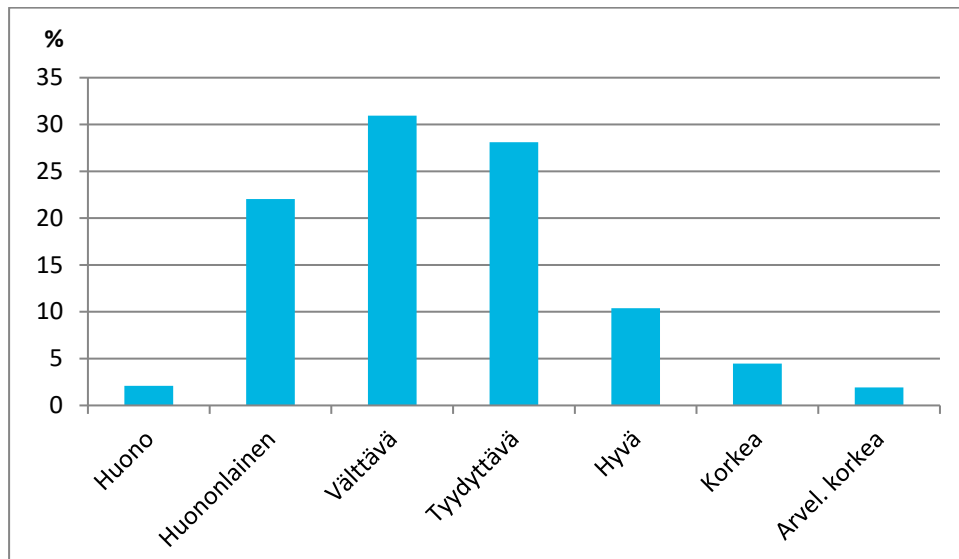
Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Maaperässä boori on sitoutuneena rauta- ja alumiinioksideihin ja maan orgaaniseen aineeseen. Kasvien juuret ottavat boorin maaperästä helppoliukoisena boraatti-ionina, $H_2BO_3^-$, jonka liukoisuus riippuu sekä maan pH:sta että vesipitoisuudesta. Hiekkapitoiset ja muut herkästi kuivuvat viljelysmaat ovat alttiita B-puutokselle (lehtien B-pitoisuus <5–100 mg/kg), samoin pitkäaikainen kuivuus vähentää boorin saantia kaikilla mailla. Toisaalta korkea sademäärä voi huuhtoa herkkäliukoista, anionista booria liikaa maan pintakerroksesta.

Boorin suhteen maaperän pH-optimi on 5,0–6,0, kalkki alentaa kasvien B-ottoa merkittävästi sekä pH:n että boori–kalsium-vastakkaisvaikutuksen kautta, mutta typpilannoituksen maaperää happamoittava vaikutus puolestaan lisää boorin liukoisuutta. Toisaalta maan alhainen pH ja korkea vesipitoisuus voivat aiheuttaa kasveissa boorimyrkytyksen (lehtien B-pitoisuus yli 100–500 mg/kg) erityisesti merestä

kohonneilla, booripitoisilla rannikkomailla. Boorin kohdalla puutostilan ja myrkytyksen välinen pitoisuuden ero kasvissa on pienempi kuin muilla hivenravinteilla.

Kuvassa 3 esitetään suomalaisten viljelysmaiden booripitoisuuksien jakaumaa viljavuusluokittain koko maassa vuosina 2006–2010.



Kuva 3. Pintamaan boorin pH-korjattujen viljavuusluokkien jakaumat (%) koko maassa vuosina 2006–2010. Lähde: Eurofins Viljavuuspalvelu, viljavuustilastot (www.tuloslaari.fi).

Suosituksien lannoituksesta

Boori on mangaanin ja kuparin ohella hivenaine, jonka merkittäviä puutoksia, mutta myös haitallisia vaikutuksia liikasaannista on Suomessa havaittu käytännön viljelyssä kasvihuoneessa. Boorin otto maaperästä vaihtelee kasvilajeittain paljon; herne käyttää booria noin 50 g/ha vuodessa ja juurikkaat noin 300 g/ha vuodessa. Boorin puutosta voidaan välttää ylläpitämällä sopivaa maaperän kosteutta ja välttämällä voimakasta kalkitusta.

Puutostilanteissa viljelymaata voidaan lannoittaa booraksilla 15–20 kg/ha. Maan kautta annostelussa sijoituslannoitus on havaittu tehokkaimmaksi menetelmäksi, mutta toisaalta siihen sisältyy myös liian korkean booripitoisuuden riski. Booria voidaan annostella myös lehtilannoituksena 10 kg/ha.

2.3. Rauta (Fe)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvissa

Raudalla on tärkeä merkitys kasvien fotosynteesissä eli yhteyttämisessä. Se säätelee viherhiukkasten kasvua ja kehitystä sekä niiden valkuaisainepitoisuutta (yhteyttämis kapasiteettia). Rautaa sisältävät yhdisteet ovat myös tärkeitä kasvisolujen energiaaineenvaihdunnassa ja juurten maasta ottaman nitraattityypen hyväksikäytössä. Raudan puutos vaikuttaa fotosynteesin kautta monitahoisesti sekä viljelykasvien maanpäällisten osien kehitykseen että pää- ja hienojuurten kasvuun ja uudistumiseen. Viuhannesten tyypillisiä rautapitoisuuksia on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Vihannesten rautapitoisuuksia (mg /kg kuiva-ainetta). Pitoisuudet on mitattu sato-osassa, jos ei muuta mainita. Lähteet kuten taulukossa 2.

Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)	Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)
Herne	100	Porkkana	42–500
Kaali	38–154	Porkkana (lehdet)	190–780
Keräkaali	41–222	Punajuuri	76–162
Kiinankaali	75–382	Punajuuri (lehdet)	183–485
Kukkakaali	55–79	Salaatti	60–525
Parsakaali	82–148	Salaatti (ulkolehdet)	80–130
Ruusukaali	53–145	Jäävuorisalaatti	71–220
Kurkku (lehdet)	42–454	Selleri	173–350
Kurkku	284–309	Selleri (lehdet)	447–685
Lanttu (lehdet)	218–374	Sipuli	10–46
Lanttu	68–118	Sipuli (lehdet)	67–1100
Persilja	191	Purjosipuli	54–308
Peruna	16–91	Tomaatti (lehdet)	49
Peruna (lehdet)	97–699		

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Suomen maaperä sisältää runsaasti rautaa, lähinnä silikaatteina, oksideina ja sulfideina, mutta kasvien raudan saannin suhteen ongelma on, että pääosa raudasta on niukkaliukoisessa hapettuneessa muodossa (FeIII) kalkituissa ja muokatuissa viljelymaissa. Rautaa esiintyy liukoisena happamissa (Fe³⁺) ja vähähappisissa maissa (Fe²⁺), mutta tällaisia olosuhteita ei viljelyssä tavoitella.

Tärkein kasvien raudan lähde ovat vesiliukoiset kompleksiyhdisteet, kelaatit, joita muodostuu rautai-
oneista ja maaperän orgaanisista yhdisteistä, erityisesti kasvien juurten ritsosfäärissä. Kelaattien muodostus on riippuvainen maaperän orgaanisen aineen määrästä ja pH:sta. Kalkitus ja korkea pH vähentävät rautakelaattien syntyä.

Suosituksia lannoituksesta

Raudan puutosta (lehtien Fe-pitoisuus alle 50–150 mg/kg) viljelykasveissa voidaan ehkäistä kohtuullistamalla maan kalkitusta ja ylläpitämällä riittävää orgaanisen aineen pitoisuutta maan pintakerroksessa. Vakavassa puutostilassa maaperään voidaan levittää rautakelaatteja tai antaa niitä lehtilannoitteena. Viljelymaiden tulvatilanteet (tai vesiviljely) aiheuttavat hapettomuutta, jonka seurauksena saattaa olla viljelykasvien rautamyrkytys (lehtien Fe-pitoisuus yli 500 mg/kg).

2.4. Kloori (Cl)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Kasvisoluissa kloori on useimmiten vapaana tai löyhästi sitoutuneena, mutta myös osana kasvisolujen orgaanisia yhdisteitä. Vapaana ionina kloorilla on merkittävä rooli kasvisolujen protonipumpuissa,

solujen osmoottisen paineen ja soluenergian (ATP) säätelyssä. Lisäksi kloridi-ionit ovat keskeisesti mukana tietyissä fotosynteesin reaktioissa ja lehtien huulisolujen toiminnan säätelyssä.

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Kloori on luonnossa yleinen, ja sitä esiintyy maaperässä helppoliukoisina suoloina ja vapaana kloridi-ionina vesiliuoksissa. Maan pH:n ollessa yli 5 kloori liikkuu hyvin ja kasvit ottavat sen passiivisesti juuriston kautta. pH:n aluetta kloori sitoutuu jonkin verran enemmän maassa.

Suosituksien lannoituksesta

Kloorin puutos (lehtien klooripitoisuus 1–6 g/kg) on harvinaisempi ilmiö, sen sijaan suolapitoisilla mailla kloori saattaa aiheuttaa viljelykasveissa myrkytystiloja (lehtien klooripitoisuus 10–30 g/kg).

2.5. Kupari (Cu)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Kuparia viljelykasvit tarvitsevat moniin kasvisolujen hapetus-pelkitysreaktioihin ja entsyymien toimintoihin, jotka vaikuttavat lehtivihreän muodostumiseen, yhteyttämiseen, kasvien hengitykseen sekä hiilihydraatti-, typpi- ja rasva-aineenvaihduntaan. Taulukossa 6 on esitetty eri kirjallisuuslähteistä kerättyjä vihannesten kuparipitoisuuksia.

Taulukko 6. Vihannesten kuparipitoisuuksia (mg/kg kuiva-ainetta). Pitoisuudet on mitattu sato-osassa, jos ei muuta mainita. Lähteet kuten taulukossa 2.

Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)	Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)
Herne	3,8	Peruna	2,6–11,3
Härkäpapu	5,5	Peruna (lehdet)	11–20
Soijapapu	10–30	Porkkana	2,5–12
Kaali	2,7–17	Porkkana (lehdet)	3–15
Keräkaali	2,0–12	Punajuuri	3–15
Kiinankaali	3,2–7	Retiisi	6,8
Kukkakaali	2,6–4	Salaatti	3,0–16
Kukkakaali (lehdet)	3–10	Salaatti (ulkolehdet)	3–11
Parsakaali	5,3–9	Jäävuorisalaatti	3–12
Ruusukaali (lehdet)	5–12	Selleri	4,5–9,5
Kurkku (lehdet)	5–15	Sipuli	2–9,8
Kurkku	6–23	Sipuli (lehdet)	2,4–8,2
Lanttu	4–5	Purjosipuli	3–9
Persilja	6,4	Tomaatti (lehdet)	8–15

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

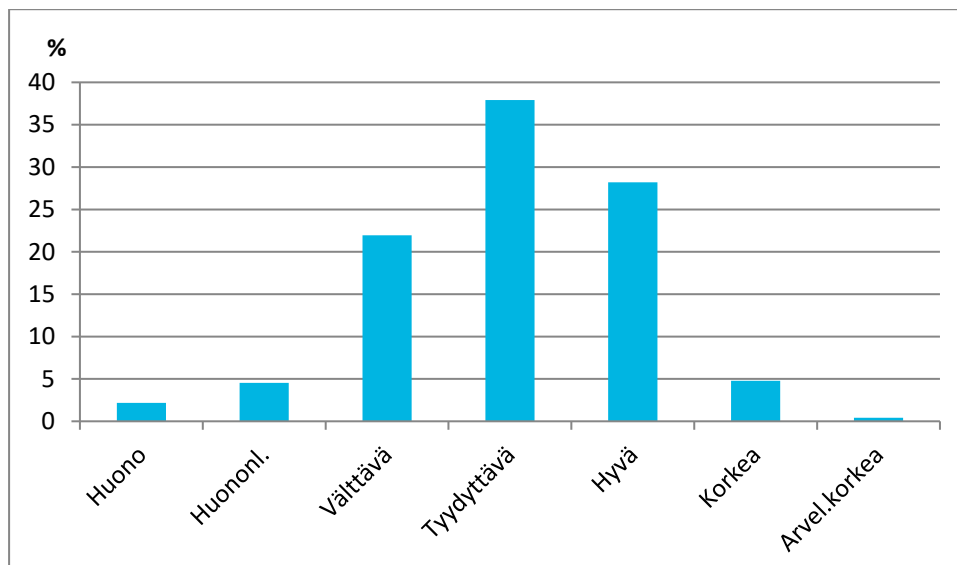
Kupari esiintyy maaperässä pääasiassa kupari- ja rautasulfidina. Niistä vapautuva Cu²⁺-ioni on kasveille käyttökelpoinen, mutta sen liukoisuus maassa on alhainen pH:n ollessa yli 5. Maaperän kalkitus vähentää kasvien kuparin saantia merkittävästi. Erityisesti humuspitoisissa maissa ja turvesoilla

kuparipitoisuudet voivat olla hyvin alhaisia. Pahimmat kuparin puutokset onkin havaittu kalkituilla turvemaiilla. Toisaalta kupari muodostaa raudan tapaan maaperän sisältämien ja kasvien ritsosfäärin erittämien orgaanisten happojen kanssa vesiliukoisia kelaatteja, joita kasvien juuret ottavat maasta. Lisäksi typpilannoituksen maaperää happamoittava vaikutus lisää kuparin liukoisuutta.

Kuparin puutoksen pitoisuusraja on lehdissä keskimäärin 1–5 mg/kg, mutta se vaihtelee paljon kasvilajeittain. Kupari sitoutuu kasveissa voimakkaasti orgaanisiin tyyppiyhdisteisiin sekä entsyymeihin ja liikkuu hitaasti eri kasvinosien välillä. Pääosa maasta otetusta kuparista säilyy juuristossa, vaikka lehdissä esiintyisi jopa puutostila. Viljelykasveissa kuparin puutos vähentää satoa alentamalla fotosynteesiä. Kuparin vaje muuttaa myös kasvien kasvutapaa ja muotoa aiheuttamalla soluseinien rakenteisiin kasvuhäiriöitä, jolloin kasvien varret, lehdet ja oksat vääntyilevät. Lisäksi puutos heikentää kasvien kukintaa, siitepölyn määrää ja laatua, vähentäen siementen tuottoa ja laatua. Myös ilmakehän typpikaasua sitovien kasvien juurinyströiden määrä vähenee kuparin puutoksessa. Toisaalta typensitojakasvien hyvä typen saanti lisää kuparin tarvetta.

Riski kuparimyrkytyksen esiintymiselle (lehtien kuparipitoisuus yli 30 mg/kg) on suurin viljelymaissa, joihin on kohdistunut teollisuuden kuparipäästöjä tai maahan on levitetty asutusjäteliettä, sian tai siipikarjan lantaa. Kuparin yliannokset kerääntyvät lähinnä juuriin, joiden kasvu ja elinvoimaisuus heikenevät.

Kuvassa 4 esitetään suomalaisten viljelysmaiden kuparipitoisuuksien jakauma viljavuusluokittain koko maassa vuosina 2006–2010.



Kuva 4. Pintamaan kuparin pH-korjattujen viljavuusluokkien jakaumat (%) koko maassa vuosina 2006–2010. Lähde: Eurofins Viljavuuspalvelu, viljavuustilastot (www.tuloslaari.fi).

Suosituksia lannoituksesta

Kupari on boorin ja mangaanin ohella hivenaine, jonka merkittäviä puutoksia ja myrkkyyvaikutuksia on Suomessa havaittu käytännön viljelyssä. Viljelykasvit ottavat kuparia maasta 20–100 g/ha vuodessa. Kuparin vähäisen maaliukoisuuden takia kuparin puutosta voidaan korjata lähinnä lehtilannoituksella ruiskuttamalla kuparikelaatteja. Myrkkyyvaikutuksia voidaan korjata kalkituksella.

2.6. Sinkki (Zn)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvissa

Sinkki on hivenaineista ainoa, joka esiintyy ja vaikuttaa kasvisolujen kaikissa keskeisissä entsyymiryhmissä, niiden aktivaattorina. Sinkkiä tarvitaan myös kasvuhormoni auksiinin valmistuksessa ja hiilihydraattien, kuten tärkkelyksen, sekä erilaisten typpi- ja kasvisrasvayhdisteiden aineenvaihdunnassa. Vihannesten sinkkipitoisuuksia on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Vihannesten sinkkipitoisuuksia (mg /kg kuiva-ainetta). Pitoisuudet on mitattu sato-osassa, jos ei muuta mainita. Lähteet kuten taulukossa 2.

Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)	Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)
Herne	45	Peruna (lehdet)	16–48
Härkäpapu	33	Porkkana	15–70
Kaali	22–48	Porkkana (lehdet)	20–80
Keräkaali	15–63	Punajuuri	22–46
Kiinankaali	10–37	Punajuuri (lehdet)	20–60
Kukkakaali	26–70	Retiisi	50
Parsakaali	21–54	Salaatti	21–80
Ruusukaali	20–60	Salaatti (ulkolehdet)	12–58
Kurkku (lehdet)	30–80	Jäävuorisalaatti	10–51
Kurkku	19–50	Selleri	30–82
Lanttu (lehdet)	10–35	Sipuli	11–47
Lanttu	10–20	Sipuli (lehdet)	18–62
Persilja	35	Purjosipuli	20–30
Peruna	8–20	Tomaatti (lehdet)	38–42

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

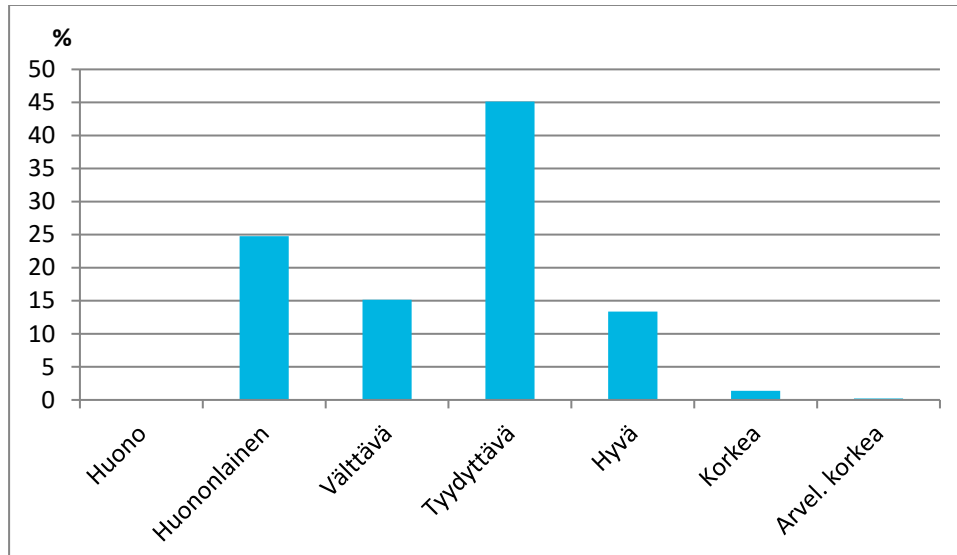
Sinkki esiintyy maaperässä pieninä määrinä lähinnä sulfaatteina ja silikaateissa. Viljelykasveille käyttökelpoisen Zn²⁺-ionin pitoisuus maassa riippuu pH-arvosta: happamissa oloissa se on suhteellisen korkea, ja hieman happamissa ja emäksisissä oloissa (pH>6) pitoisuus on selvästi alhaisempi. Raudan ja kuparin tapaan sinkki muodostaa orgaanisten yhdisteiden kanssa vesiliukoisia, kasveille käyttökelpoisia kelaatteja, erityisesti kasvien juurten ritsosfäärissä. Typpilannoituksen maaperää happamoittava vaikutus lisää myös sinkin liukoisuutta. Lisäksi sienijuuret eli mykorritsat edistävät viljelykasvien sinkin ottoa kalkituilla viljelysmailla.

Maan korkea fosforipitoisuus voi vähentää sinkin saantia, aiheuttaen jopa sinkin puutostiloja kasveissa. Zn–P-vastakkaisvaikutus korostuu luontaisesti fosforipitoisilla mailla ja fosforilannoituksessa, joka yleensä vähentää myös kasvien juurten kasvua ja mykorritsasymbioosin määrää juurissa.

Viljelyskasvien sinkin puutos (lehtien Zn-pitoisuus alle 15–20 mg/kg) on Suomessa melko harvinaista. Puutosta esiintyy herkimmin keveillä hiekkamailla ja turvemailla sekä raskailla savimailla, joiden fosforipitoisuus on korkea. Sinkin vajuus haittaa laaja-alaisesti kasvien proteiini- ja hiilihydraattien

aineenvaihduntaa, fotosynteesiä sekä erityisesti aukiinin muodostusta, mikä johtaa pituuskasvun hidastumiseen sekä lehtimassan supistumiseen. Juurten kasvu hidastuu vähemmän, ja saattaa jopa lisääntyäkin.

Kuvassa 5 esitetään suomalaisten viljelysmaiden sinkkipitoisuuksien jakauma viljavuusluokittain koko maassa vuosina 2006–2010.



Kuva 5. Pintamaan sinkin pH-korjattujen viljavuusluokkien jakaumat (%) koko maassa vuosina 2006–2010. Lähde: Eurofins Viljavuuspalvelu, Viljavuustilastot (www.tuloslaari.fi).

Suosituksset lannoituksesta

Sinkin puutosta voidaan torjua antamalla maahan sinkkiä 2–20 kg/ha tai lannoittamalla lehtiä sinkki-sulfaattiruiskutuksin. Sinkkivajeen vaivaamilla mailla myös fosforilannoituksen tason säätely on tärkeää.

Sinkkimyrkytystä kasveissa (lehtien Zn-pitoisuus 100–300 µg/g) voi esiintyä metalliteollisuuden päästöjen vaikutusalueilla, asutusjäteliikkeen lannoitekäytön yhteydessä ja hyvin happamilla mailla. Sitä voidaan torjua kalkituksella ja fosforilannoituksella.

2.7. Molybdeeni (Mo)

Vaikutusmekanismi ja pitoisuudet kasvilla

Molybdeeni on välttämätön hivenaine viljelykasvien typpiaineenvaihdunnassa. Se on osallisena maaperästä otetun nitraatin pelkistyksessä ja aminohappojen muodostamisessa. Molybdeeni on lisäksi ensiarvoisen tärkeä typensitojakasvien juurinyströiden entsyymien toiminnalle. Samoin typensitojabakteerit ja levät tarvitsevat molybdeeniä. Lisäksi molybdeeni edistää sementtuotantoa kasveissa. Molybdeenin kokonaistarve kasveissa on kuitenkin pienempi kuin muiden hivenravinteiden, mutta tarve vaihtelee tapauskohtaisesti kasvien tyypilanteen mukaisesti (typensitojilla juurinyströiden molybdeenin pitoisuus on korkeampi kuin lehtien). Taulukossa 8 on esitetty joidenkin vihanneslajien molybdeenipitoisuuksia kirjallisuuslähteissä.

Taulukko 8. Vihannesten molybdeenipitoisuuksia (mg /kg kuiva-ainetta). Pitoisuudet on mitattu sato-osassa, jos ei muuta mainita. Lähteet kuten taulukossa 2.

Kasvilaji	Normaali-sopiva pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)
Herne	>0,1
Kaali	0,42
Kukkakaali	0,56
Papu	0,4
Parsakaali	1,76–3,76
Pinaatti	0,15–1,61
Punajuuri	0,62–1,65
Ruusukaali	0,16–0,61
Salaatti	0,08–0,14
Tomaatti (lehdet)	0,68

Saatavuus maasta tai lehtien kautta

Molybdeeniä esiintyy maaperässä pieninä määrinä lähinnä sulfaatteina ja silikaateissa. Kasvit ottavat molybdeenin molybdaatti-ionina (MoO_4^{2-}), joka sitoutuu niukkaliukoiseksi rauta- ja alumiiniyhdisteiksi maaperän pH:n ollessa alhainen. Liukoisuus lisääntyy pH:n ollessa yli 5–6, ja anioninen molybdeeni saattaa toisaalta huuhtoutua märissä oloissa. Kalkitus lisää kasveille käyttökelpoisen molybdeenin määrää maaperässä.

Molybdeenin puutos (lehtien molybdeenipitoisuus 0,1–1,0 mg/kg) johtaa typen puutokseen sekä maaperän nitraattitypestä riippuvaisissa kasveissa että typensitojakasveissa, alentaen niiden kasvua ja sadon tuottoa. Molybdeenivajausta esiintyy lähinnä happamissa oloissa ja hiekkaisissa rauta- ja alumiinipitoisissa maaperissä.

Molybdeeni on kasveille haitallinen lehtipitoisuuksissa noin 1 000 mg/kg (taso vaihtelee kasvilajeittain). Liian korkeita molybdeenipitoisuuksia saattaa esiintyä kivihiili- ja puuntuhan jatkuvan käytön yhteydessä (suuri kerta-annos tuhkaa kohottaa sekä maan molybdeenimäärää että pH:ta) sekä teollisuuden päästölähteiden läheisyydessä.

Suosituksia lannoituksesta

Molybdeenin saanti voidaan turvata ylläpitämällä maan pH riittävän korkeana kalkituksen avulla, ja maltillisilla puuntuhan-annoksilla. Maaperää voidaan lannoittaa ja kasvien lehtiä ruiskuttaa natrium- tai ammonium-molybdaatilla. Viljelykasvien siemeniä voidaan myös käsitellä molybdeenipitoisilla kemikaaleilla.

3. Lannoitusmenetelmät

3.1. Rakeiset lannoitteet

Koostumus

Rakeisten lannoitteiden tarjonta on muuttunut viimeisten vuosikymmenten aikana. Kotimaisen lannoiteteollisuuden myynti ulkomaiselle omistajalle on supistanut Suomessa valmistettujen lannoitteiden määrää, muuttanut tuotevalikoimaa ja hiljalleen lisännyt rakeisten lannoitteiden maahan tuontia. Suomessa perinteisen NPK-yhdistelmärakeen rinnalle on tullut myös blendejä, joissa eri ravinteet ovat omissa rakeissaan

Vihannesviljelyyn soveltuvat hyvin NPK-lannoitteet, jotka sisältävät rikkiä ja hivenravinteita. Nämä on markkinoijilla yleensä erotettu omiksi tuoteryhmikseen, joita markkinoidaan erityisesti puutarhatuotantoon. Peltoviljelyyn suunnatut NPK-lannoitteet ovat yleensä hieman edullisempia, mutta ne sisältävät yleensä kaliumin vastaionina kloridia, jolle monet vihanneksista ovat herkkiä, eivätkä sisällä hivenravinteita.

NPK-lannoitteiden sijaan ja lisäksi on mahdollista käyttää yksi- tai kaksiravinteisiä lannoitteita sopivissa suhteissa, jotta lannoitus saadaan vastaamaan viljavuusanalyysiin perustuvia suosituksia. Lannoituskertoja tulee enemmän kuin NPK-lannoitteita käytettäessä, mutta lisätyön aiheuttama kustannus ei ole merkittävä tuotannon kokonaiskustannuksiin nähden. Erillisiä hivenravinnelannoitteita on myös markkinoilla, vaikka kaikki toimijat eivät niitä tarjoa vaan panostavat enemmän hivenravinteiden lehtilannoitukseen.

Levitysmenetelmät

Vihannesviljelyn perinteinen levitysmenetelmä on ollut hajalevitys pintaan keskipakois- tai pneumaattisella levittimellä, ja sen jälkeen tapahtuva multaus äkeellä tai jyrsimellä. Menetelmän etuna on riippumattomuus kylvössä tai istutuksessa käytettävistä koneista ja aikataulusta. Mikäli käytetään yksiravinteisiä tai useita lannoitteita, kaikkia lannoitteita ei kuitenkaan voi levittää kylvön tai istutuksen yhteydessä. Hajalevityksessä ja multauksessa ravinteet tulevat sivu- ja pystysuunnassa tasaisesti muokauskerrokseen.

Sijoituslannoituksen avulla ravinteet saadaan maahan tiettyyn kerrokseen ja konekannan yhteensopivuuden mukaan myös mahdollisesti tiettyyn kohtaan kasvivistä. Näin annetut ravinteet ovat heti kasvukauden alussa sopivassa paikassa kasvin kehittyvään juuristoon nähden. Sijoituslannoitus joko erikseen tai kylvön tai istutuksen yhteydessä on kuitenkin teknisesti haastavampi levitystapa.

Kasvukauden aikana rakeisia lannoitteita levitetään pinalannoituksena. Koska peltoa ei yleensä rivivälejä lukuun ottamatta voida enää muokata, ravinteiden siirtyminen juuristokerrokseen vaatii riittävää sadetta tai kastelua. Lannoiterakeiden on ensin liuettava maan pinnalla, ja sen jälkeen ravinteiden on veden mukana siirryttävä juuriston ulottuville.

3.2. Nestemäiset lannoitteet maan kautta

Koostumus

Tihkukastelun kautta on jo pitkään annettu nestemäisiä lannoitteita maahan, mikä mahdollistaa ravinteiden lisäämisen pieninä annoksina kasvien oletetun tarpeen mukaan. Käytetyt lannoitteet ovat yleensä rakeisista NPK-lannoitteista kehitettyjä liukoisia suoloja.

Kymmenen viime vuoden aikana Suomen markkinoille on tullut myös nestemäisiä lannoitteita, joiden koostumuksessa on muitakin kuin liukoisia ravinteita. Näiden lannoitteiden levitystapoina voidaan käyttää myös muuta kuin tihkukastelua. Nestemäisten lannoitteiden Suomessa tunnettuja valmistajia ovat Flex Fertiliser and N-xt. Kierrätyslannoitteita on myös alkanut tulla markkinoille nestemäisessä muodossa. Nestemäinen ammoniumsulfaatti on näistä tunnetuin esimerkki.

Levitysmenetelmät

Vihannesten taimikasvatuksessa nestemäisiä lannoitteita annetaan kastelulannoituksena. Kasvukauden alussa, ennen istutusta tai kylvöä sekä taimien ollessa pieniä, nestemäisiä lannoitteita voidaan levittää pieniä määriä kasvinsuojeluruiskulla ja suurempia määriä letkulevityksenä. Sopivia laitteistoja esimerkiksi nestemäisen tyyppien levittämiseksi yli 20 kg/ha määrinä ei ole Suomessa juuri ollut käytössä tai saatavilla. Mielenkiinto nestemäisten lannoitteiden käyttöön lisääntyy kuitenkin myös kierrätyslannoitteiden, kuten nestemäisen ammoniumsulfaatin, osalta. Tämä on johtanut viime vuosina testaus- ja kehitystyöhön, joka tarjoaa toimivia ratkaisuja myös suurempiin levitysmääriin kuin mitä kasvinsuojeluruiskulla voidaan levittää.

Tihkukastelu on etenkin marjan- ja hedelmäntuotannossa yleisesti käytetty menetelmä, joka soveltuu myös vihanneksille. Haasteena on kannattavuus, koska tihkuletkut on yksivuotisessa vihannestuotannossa asennettava ja kerättävä pellolta vuosittain. Kuivuusjaksojen todennäköisesti yleistyessä ilmastomuutoksen myötä kiinnostus tihkukasteluun on lisääntymässä myös vihannesviljelyssä. Tihkukastelun yleistyessä kastelulannoituksen hyödyntäminen helpottuu.

Tutkimustuloksia

Suomessa nestemäisiä lannoitteita on tutkittu ainakin Pyhäjärvi-instituutin Kasvisklusterin kehittämisen Lounais-Suomessa hankkeessa (Pihala 2011) ja tässä hankkeessa toteutetuissa tutkimuksissa (Kappaleet 5.1. ja 5.2). Pihalan (2011) työssä verrattiin Flex Fertilizer -lannoitusta, Yaran suosittamaa ja viljelijän omaa lannoitekäytäntöä. Pihalan (2011) yhteenvedona oli, että kaikilla menetelmillä saavutettiin hyvä sadon määrä ja laatu.

Kastelulannoitusta on Suomessa tutkittu etenkin avomaankurkun ja marjojen viljelyssä (Suojala ym. 2004).

3.3. Lehtilannoitus

Lehtilannoitteiden käyttö on viime aikoina lisääntynyt, kun markkinoille on tullut runsaasti uusia valmisteita ja toisaalta rakeisten lannoitteiden valikoima on kaventunut. Lehtilannoitteiden käytön etuna on, että niitä voidaan käyttää kohdennetusti pieniä annoksia tarpeen mukaan. Levitys voidaan tehdä mm. kasvinsuojeluaineiden ruiskutusten yhteydessä, jolloin työkuulumukset jäävät pieniksi, joskin lehtilannoitteet ovat kilohinnaltaan huomattavasti kalliimpia kuin muut lannoitteet.

Kasvien kyky ottaa vettä ja ravinteita lehtien kautta havaittiin jo 300 vuotta sitten, ja lehtilannoitusta alettiin hyödyntää viininviljelyssä 1800-luvun alkupuolella (Fernández ym. 2013). Tutkimustietoa ravinteiden kulkeutumisesta lehtien kautta kasviin on saatu lisää ja lannoituksen tehokkuuteen vaikuttavia fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia tekijöitä opittu tuntemaan, mutta parhaan vaikutuksen varmistamiseksi tarvitaan yhä lisää tietoa vaikutusmekanismeista. Lehtilannoitusta voi pitää ympäristön kannalta hyvänä menetelmänä, koska ravinteet levitetään suoraan kasviin oikeana ajankohtana. Lehtilannoituksen tehokkuuden todentaminen on kuitenkin usein epävarmaa.

Fernándezin ym. raporttiin (2013) on koottu tutkimustietoa lehtilannoituksen vaikutusmekanismeista, koostumuksesta ja tehokkuudesta. Lehdille ruiskutettavat ravinteet pääsevät lehden sisään lehden

pinnalla olevan kutikulakerroksen läpi tai kutikulassa olevien halkeamien kautta. Myös ilmarakojen ja korkkihuokosten kautta ravinteita kulkeutuu kasviin, mutta näiden reittien merkitys ravinteiden otossa on vielä osittain epäselvä. Kasvien pintarakenteet (kutikulakerroksen koostumus, vahapeitteisyys, karvaisuus jne.) vaikuttavat kasvinosien kykyyn pidättää vettä ja ravinteita pinnallaan. Kasvilajien ja -lajikkeiden sekä kasvinosien välillä on eroja, mikä heijastuu myös lehtilannoituksen tehokkuuteen. Lehtien iän lisääntyessä niiden kyky ottaa ravinteita yleensä heikkenee, mutta tutkimustulokset tästä eivät ole aivan yksiselitteisiä.

Lehtilannoitteiden ravinteiden tehokas hyödyntäminen kasvissa sisältää monta vaihetta: lannoitteen on kiinnityttävä lehteen, ravinteiden läpäistävä lehden pinta ja kuljettava solun rakenteisiin ja edelleen lehdistä muihin kasvinosiin. Kaikki nämä vaiheet vaikuttavat lannoituksen tehokkuuteen.

Koostumus

Ravinteet voivat olla lehtilannoitteissa erilaisissa kemiallisissa yhdisteissä. Typen muodoista lehtilannoituksessa käytetään usein ureaa, joka läpäisee lehden kutikulakerroksen paremmin kuin epäorgaaniset typpi-ionit. Sen riskinä on myrkyllisyys kasveille suurina pitoisuuksina. Myös ammonium-ioni läpäisee positiivisen sähkövarauksensa takia lehden helpommin kuin negatiivisesti varautunut nitraatti-ioni. Osassa tutkimuksista niin urea kuin nitraatti- tai ammonium-yhdisteet ovat antaneet yhtä hyvän typpilannoitusvaikutuksen lehtien kautta annosteltaessa.

Kaliumyhdisteistä käytetään lehtilannoitteissa eniten kaliumkloridia, jonka suolaindeksi-luku on kuitenkin korkea, mikä lisää lannoitteen kiteytymisen ja vioitusten riskiä lehdellä. Magnesiumia kasvien lehdet ottavat parhaiten kloridi- ja nitraattisuoloina.

Sinkin ottoon kemiallinen muoto vaikuttaa huomattavasti: aminohappokelaatit ovat olleet tehokkaampia kuin epäorgaaniset sinkkisuolat tai synteettiset kelaatit, mutta kasvilajien välillä on eroja. Useimmat booriyhdisteet ovat hyvin liukoisia ja yleensä vaikuttavat hyvin lehtien kautta.

Tehokkaasti vaikuttavien rautayhdisteiden etsiminen on ollut haasteellista. Usein rautakelaatit ovat olleet tehokkaampia kuin rautasuolat, jotka ovat kuitenkin hinnaltaan edullisempia. Kaikissa tutkimuksissa ei ole kuitenkaan havaittu eroja eri kemiallisten muotojen välillä, joten vaikutukset riippuvat kasvilajista ja myös lannoitteen väkevyydestä ja sen lisäaineista. Mangaaniyhdisteistä mangaanisulfaatti vaikuttaa tehokkaamalta kuin mangaanikelaatti (Mn-EDTA).

Varsinaisen vaikuttavan yhdisteen lisäksi lannoitevalmisteissa ja ruiskutteissa käytetään usein lisäaineita, joilla on erilaisia tehtäviä. Ne voivat alentaa veden pintajännitystä, säädellä liuoksen happamuutta, vaikuttaa kutikulakerroksen läpäisevyyteen tai parantaa lannoitteiden pidättymistä kasvin pinnalla. Lisäaineet on usein kehitetty toimimaan erityisesti torjunta-aineruiskutuksissa, joten niiden vaikutus lehtilannoituksessa ei ole aina paras mahdollinen.

Levitysmenetelmät

Lannoiteliuoksen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaikuttavat lehtilannoitteiden tehokkuuteen. Liuosväkevyyden noustessa ravinteiden otto ensin lisääntyy, mutta jossain vaiheessa väkevyyden nousuminen voi alkaa heikentää ravinteiden pääsyä kasviin. Optimaalinen liuosväkevyyden vaihtelee annettavan ravinteen, kasvilajin, kasvin iän ja ravinnetilan sekä olosuhteiden mukaan.

Ympäristöolot vaikuttavat lannoituksen onnistumiseen. Korkea ilmankosteus parantaa yleensä tehoa, koska se lisää lehden kutikulan vesipitoisuutta ja estää veden liian nopean haihtumisen kasvin pinnalta. Lämpötilan nousu lisää yhdisteiden liukoisuutta veteen ja alentaa pintajännitystä mutta samalla nopeuttaa veden haihduntaa. Pian ruiskutuksen jälkeen sattuva sade huuhtoo ravinteet lehdistä. Aurinvalo voi hajottaa joitain yhdisteitä, kuten tiettyjä rautakelaatteja.

Yleisesti ottaen olosuhteet, joissa kasvien fotosynteesi on vilkasta ja ilmaraot auki, ovat suotuisia lehtilannoitteiden vaikutusten kannalta. Mitä pidempään annettu lannoiteliuos pysyy ohuena nestekeroksena lehden pinnalla, sitä enemmän ravinteita siirtyy lehden sisälle. Merkitys on suurin niiden ravinteiden kannalta, joita kasvi käyttää suurehkoja määriä ja joita kasvin on helppo ottaa, kuten typpi, fosfori, kalium, rikki ja magnesium. Muiden ravinteiden ottoon ympäristöolot vaikuttavat lähinnä fyysikaalisten tekijöiden, eikä niinkään kasvin toiminnan kautta.

Lehtilannoitteet voivat aiheuttaa joskus vaurioita lehtiin. Syinä voivat olla paikallinen korkea suolaväkevyys, myrkylliset yhdisteet tai liuoksen sopimaton pH. Oireet voivat olla nekroottisia laikkuja lehdistä (nopean veden haihtumisen ja valmisteiden konsentroitumisen takia) tai lehtien laitojen tai kärkien palamista. Lehtiin voi tulla myös polttovioitusta, jonka syynä on lannoiteliuoksen aiheuttama suuri ero osmoottisessa paineessa soluseinän eri puolilla. Lannoitteen kemialliset ominaisuudet, ruiskutteen väkevyys ja ympäristöolot vaikuttavat polttovioitusten riskiin: liian nopea pinnan kuivuminen altistaa vioituksille. Liuosväkevyden alentaminen vähentää polttovioitusten riskiä, mutta toisaalta ravinteiden otto voi olla tehokkaampaa, kun liuoksen väkevyys on korkeampi. Hivenravinteet (Zn, Cu, Fe, Mn) voivat joskus aiheuttaa soluissa myrkytysoireita, koska niiden pitoisuus soluissa nousee äkillisesti liian korkeaksi. Myös boori voi aiheuttaa myrkytysoireita helpommin lehtien kautta kuin maan kautta levitettyinä, sillä lehtien kautta otettu boori on soluissa lähinnä liukoisessa muodossa.

Lehtilannoitteita käytetään usein seoksina torjunta-aineiden kanssa, ja tutkimustulosten mukaan ne saattavat lisätä kasvinsuojeluaineiden tehoa. Osa lannoitteina käytettävistä yhdisteistä voi myös suoraan vähentää kasvitauteja, mutta niiden teho ei vastaa torjunta-aineiden tehoa.

Lehtilannoituksen käyttökohteet

Fernandez ym. 2013 antavat seuraavan listauksen tilanteista, joissa lehtilannoitusta kannattaa käyttää:

- Kasvin ravinnetarve on suurempi kuin mitä juurten kautta on saatavissa esimerkiksi seuraavien syiden takia:
 - Maaperäolot ovat epäedulliset
 - Kiivaimman kasvun ja ravinteiden oton aikaan juuret eivät pysty ottamaan riittävästi ravinteita.
- Ravinteiden kuljetus kasvin sisällä ei riitä turvaamaan ravinteiden saantia tietyissä kasvinosissa:
 - Esimerkiksi hedelmissä, jyvissä tai varastosolukoissa
 - Kuivuus tai korkea ilman kosteus heikentää haihtumisvirtauksia kasvien sisällä.
- Kasvien ravinnetarvetta ei saada muuten täytettyä, koska
 - olosuhteet tai kasvin kasvuvaihe estää lannoitteen levituksen maahan
 - halutaan estää odottamattomat ravinnepuutokset ennalta.

Ravinteet liikkuvat kasvin sisällä eri tavoin. Esimerkiksi sinkki-, mangaani-, kalsium- ja rautaruiskutukset vaikuttavat lähinnä paikallisesti, mutta silti niiden merkitys voi olla merkittävä. Huonosti nilassa liikkuvien ravinteiden (kuten kalsium ja mangaani) puutostilanteiden korjaaminen on kaikkein vaikeinta, sillä nämä ravinteet sijoittuivat soluissa lähinnä pysyviin solurakenteisiin, esimerkiksi soluseiniin, eivätkä liiku näin ollen kasvissa eteenpäin.

Kasvin ravinnetila lehtilannoitusta tehtäessä vaikuttaa lehtilannoituksen tehokkuuteen. Pidempiaikainen ravinnepuutos voi heikentää lehtien kykyä ottaa ravinteita vaikuttamalla lehtien fyysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin, pienentämällä lehtipinta-alaa ja muuttamalla kasvin kehitysrytmiä. Lyhytkestoinen puutostila voi toisaalta edistää ravinteiden ottoa lehtien kautta ja nopeuttaa myös ravinteiden siirtymistä lehdistä eteenpäin. Hyvä ravinnetila voi puolestaan edistää lehtilannoituksen tehoa lisäämällä lehdistön kasvua ja pinta-alaa.

Esimerkiksi lehtien alhainen typpipitoisuus voi aiheuttaa normaalia paksumman vahakerroksen muodostumisen lehtien pinnalle, mikä vaikeuttaa ravinteiden pääsyä lehden sisään. Veden puutteessa esimerkiksi kaliumin otto lehtien kautta voi kärsiä. Boorin puutteesta kärsivät lehdet voivat olla heikompi ottamaan booria lehtien kautta kuin booripitoisuudeltaan korkeammat lehdet.

Yhdistämällä lehtilannoitus perinteisen maan kautta annettavaan lannoitukseen voidaan vähentää esimerkiksi typpilannoituksesta aiheutuvia ympäristöhaittoja. Toisaalta lehtilannoitteet ovat kalliita kilohinnaltaan, ja niiden hyötyjä on puntaroitava myös kustannusnäkökulmasta. Lehtilannoitteiden käytös taloudellisia vaikutuksia on tutkittu hyvin vähän. Käytännössä lehtilannoitteita markkinoidaan usein vakuutuksena, joilla voidaan vähentää mahdollisesti ilmenevien ravinnepuutosten riskiä.

3.4. Maanparannusaineet

Koostumus

Tässä kappaleessa käsitellään kiinteää orgaanista ainesta sisältäviä lannoitevalmisteita ja kotieläinten lantaa. Näiden materiaalien maanparannusvaikutus perustuu orgaaniseen aineksen sisältämään hiileen ja kasvinravinteisiin. Kotieläinten lanta on tuttu maanparannusaine, jota viljelykiertojen kautta käytetään myös vihannesviljelyssä. Lannan sisältämät ravinne määrät riippuvat tuotantoeläimestä ja käsittelymenetelmistä. Kasvit hyödyntävät lannan liukoiset ravinteet pääosin levitystä seuraavana kasvukautena, mutta orgaanisen aineksen hajoamisen myötä ravinteita vapautuu myös seuraavina vuosina. Lannassa lisätyt mikroravinteet eivät välttämättä auta akuutin puutostilanteen korjaamisessa, mutta tarjoavat pidemmällä aikavälillä hyvän ja tasaisen käyttökelpoisuuden verrattuna mineraalilannoitteisiin (Jensen 2013).

Orgaaniset lannoitevalmisteet jaetaan ravinnepitoisiin orgaanisiin lannoitteisiin, kuten lihaluu jauho ja perunan soluneste, tai maanparannusaineisiin, kuten tuorekomposti ja mädätysjäännös. Orgaanisten lannoitevalmisteiden kohdalla niiden alkuperällä on keskeinen merkitys. Mikäli peltolohkolla käytetään jätevesipohjaista lannoitevalmistetta, peltolohkoa saa lainsäädännön mukaan yleensä käyttää vihannestuotantoon enintään viiden vuoden kuluttua. Elintarviketeollisuus on viimeisen kahden vuoden aikana tuonut esille kielteisen kantansa puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden käyttöön sopimusviljelyssään, joten tämä asia kannattaa huomioida viljelysuunnittelussa.

Maanparannusaineet voivat sisältää myös tuotantoa haittaavia asioita, kuten haitallisia metalleja ja kasveille tai ihmiselle haitallisia mikrobeja. Haitallisten metallien pitoisuudet tuotantoeläinten lannassa eivät liene nousseet viime vuosina, ja lannoitevalmisteiden kohdalla pitoisuudet ovat pienentyneet viimeisten vuosikymmenten aikana. Lannoitevalmisteissa merkittävin haitallinen metalli on yleensä kadmium, jonka pitoisuuksia ja levitysmääriä hehtaaria kohden kannattaa tarkkailla maan laadun säilyttämiseksi. Käytettäessä vihanneksista peräisin olevia komposteja on pidettävä mielessä kasvintuhoojien mahdollinen siirtyminen lohkolta tai tilalta toiselle materiaalin mukana. Suolistopatogeenien aiheuttama kontaminaatioriski vihanneksille vältetään yleensä tekemällä levitykset vihannesviljelyvuosien ulkopuolella.

Levitysmenetelmät

Maanparannusaineiden levitys tehdään yleensä kuivalannan levitysvaunuilla. Pintaan levitetyt materiaalit on muokattava mahdollisimman nopeasti etenkin, jos ne sisältävät ammoniumtyyppiä. Jos orgaaninen lannoite tai maanparannusaine sisältää merkittävästi liukoisia ravinteita, paras levitysjankoha on kevät, jolloin satokasvi hyödyntää ravinteita. Materiaalit, jotka sisältävät vähän liukoista tyyppiä, voidaan levittää myös syksyllä.

Tutkimustuloksia

Maanparannusaineiden ja orgaanisten lannoiteiden käytöstä vihannesviljelyssä on Suomessa tehty melko vähän tutkimuksia. Puutarha-NP hankkeessa testattiin lihaluujauhoa, joka osoittautui tehokkaaksi ravinnelähteeksi (Suojala-Ahlfors ym. 2017). Tilatutkimuksessa Suomessa vuosina 2010–2011 lihaluujauho antoi porkkanalla 14 % alhaisemman kaupakelpoisen sadon kuin mineraalilannoitus, mutta sadon nitraattipitoisuus oli alhaisempi ja varastosäilyvyys parempi lihaluujauholannoitetuilla porkkanoilla (Kivelä et al. 2015). Luonnonmukaisen tuotannon tutkimuksissa on testattu erilaisia ravinnelähteitä. Yleensä mielenkiinto on ollut suorassa ravinnevaikutuksessa. Tutkimuksia maanparannusaineiden vaikutuksesta ravinteiden saatavuuteen seuraavina kasvukausina, maan rakenteeseen ja mikrobiologiseen aktiivisuuteen ei ole juurikaan tehty.

4. Biostimulantit

4.1. Mitä biostimulantit ovat?

Biostimulantit ovat aineita tai mikro-organismeja, joilla pyritään lisäämään kasvin ravinteiden käytön tehokkuutta, abioottisen (ympäristötekijöiden aiheuttaman) stressin kestävyyttä tai sadon laatuominaisuuksia, mutta niiden vaikutus ei liity niiden sisältämiin ravinteisiin (du Jardin 2015, <http://www.biostimulants.eu>). Toisen määritelmän mukaisesti biostimulantit ovat biologista alkuperää olevia tuotteita, jotka parantavat kasvien tuottavuutta sisältämiensä yhdisteiden yhteisvaikutuksesta, mutta niiden vaikutukset eivät perustu kasviraavinteisiin, kasvunsäätöaineisiin tai kasvinsuojeluaineisiin (Yakhin ym. 2017).

Vaikka biostimulanttien teho ei perustu lannoitusvaikutukseen, on kasvibiostimulantit otettu mukaan EU:n uuteen lannoitevalmisteasetuksen (EU2019/1019) tuoteluokitteluun omana ryhmänään. Luokittelussa ne jaetaan mikrobipohjaisiin ja ei-mikrobipohjaisiin kasvibiostimulantteihin. EU-asetuksessa tälle tuoteluokalle annetaan seuraava määrittely: ”Kasvibiostimulantti on EU-lannoitevalmiste, jonka toiminto on kiihdyttää kasvin ravinteidenottoa riippumatta tuotteen ravinnesisällöstä ja jonka ainoana tarkoituksena on parantaa yhtä tai useampaa seuraavista kasvin tai kasvin ritsosfäärin ominaisuuksista:

- a) ravinteiden hyväksikäytön tehokkuus,
- b) abioottisen stressin kestävyys,
- c) laatuominaisuudet, tai
- d) maaperään tai ritsosfääriin sitoutuneiden ravinteiden saatavuus.”

Asetuksen mukaan kasvibiostimulantilla on oltava ne vaikutukset, jotka sen tuoteselosteessa siinä mainituille kasveille väitetään olevan. Tuotteille on asetettu myös raja-arvot haitta-aineiden ja haitallisten mikrobien määrälle.

4.2. Biostimulanttien ryhmittely

Biostimulantit voidaan luokitella eri ryhmiin (du Jardin 2015):

1. Humus- ja fulvohapot
2. Proteiinihydrolysaatit ja muut tyypeä sisältävät yhdisteet
3. Merileväuutteet
4. Kitosaani ja muut biopolymeerit
5. Epäorgaaniset yhdisteet
6. Hyödylliset sienet
7. Hyödylliset bakteerit

Humusyhdisteet (humic substances) tarkoittavat orgaanisia yhdisteitä, jotka syntyvät kasvi-, eläin- tai mikrobijätteen hajotessa ja muuttuessa. Aiemmin humusyhdisteistä puhuttaessa keskityttiin lähinnä niiden sisältämiin monimutkaisiin makromolekyyleihin (esim. humus- ja fulvohapot), mutta nykyisin on huomattu myös pienempien kemiallisten yhdisteiden merkitys ja vaikutukset mm. maan fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Humusyhdisteet voivat vaikuttaa myös suoraan kasvin fysikaalisiin ja toiminnallisiin prosesseihin, esimerkiksi kasvihormonien tapaan (Rose ym. 2014).

Humusyhdisteiden, kuten muidenkin biostimulanttien, vaikutukset ovat usein vaikeasti ennakoitavia, koska ne riippuvat myös ympäristöoloista ja kasvilajista. Rose ym. (2014) tekivät meta-analyysin niiden vaikutuksista käymällä läpi 81 julkaistua tutkimusartikkelia, joissa oli mitattu yhdisteiden vaikutus kasvien versojen tai juurten kuivapainoon. Tulosten mukaan humusyhdisteet lisäsivät versojen ja juurten

kasvua keskimäärin 21–22 %, mutta silti yli puolessa tutkimuksista ei havaittu merkittävää (5 %) vaikutusta versojen kasvuun tai kolmanneksessa tutkimuksista juurten kasvuun. Tarkemman analyysin mukaan humusyhdisteiden alkuperällä ja annostelulla oli suurempi merkitys kuin tutkitulla kasvilajilla tai kasvuoloilla. Kompostiperäiset yhdisteet tuottivat paremmat vaikutukset kasveihin kuin turve- tai ruskohiilipohjaiset yhdisteet. Vaikutuksia versojen kasvuun havaittiin eniten, kun kasvuolot olivat heikot. Etenkin kompostipohjaisten yhdisteiden vaikutukset voimistuivat, kun käsittelyannosta lisättiin. Ruskohiilipohjaisten tuotteiden suuret annokset puolestaan saattoivat heikentää kasvua.

Aminohappoja, peptidejä ja muita tyyppiä sisältäviä yhdisteitä (esim. glysiinibetaiini ja proliini) syntyy proteiinien hajotessa kemiallisissa tai entsyymaattisissa prosesseissa. Biostimulantteina käytettäessä nämä yhdisteet voivat vaikuttaa kasvien tyypin ottoon ja käyttöön, säätelemällä mm. kasvien entsyymien toimintaa. Vaikutus voi perustua myös hormonaalisiin tai antioksidatiivisiin vaikutuksiin kasvissa, erityisesti stressitilanteissa. Maahan levitettäessä proteiinihydrolysaatit saattavat lisätä myös mikrobin massaa ja aktiivisuutta ja parantaa ravinteiden saatavuutta (du Jardin 2015).

Merileviä on käytetty hyvin pitkään eloperäisen aineen lähteenä ja lannoitteena maataloudessa, mutta biostimulaatiovaikutukset on tunnustettu vasta hiljattain (du Jardin 2015). Merilevätuotteiden vaikuttavia aineita ovat polysakkaridit ja niiden hajoamistuotteet, ravinteet, sterolit, tyyppiyhdisteet ja hormonit. Osaa näistä yhdisteistä esiintyy vain levissä. Merilevätuotteita levitetään maahan, kasteluliuoksiin tai lehdille. Maassa tuotteiden sisältämät polysakkaridit ja anioniyhdisteet voivat vaikuttaa veden ja ravinteiden pidättymiseen ja maan ilmavuuteen. Tuotteet voivat lisätä myös kasveille hyödyllisiä bakteereja maaperässä.

Kasveille levitettyinä merileväuutteet voivat vaikuttaa ravinnelähteinä, mutta myös hormonivaikutusten kautta mm. edistäen siementen itämistä ja taimien kasvua, joko suoraan tai säätelemällä kasvien omaa hormonituotantoa. Merilevien sisältämät yhdisteet voivat helpottaa kasvien kokemaa stressiä, mm. tuottamalla suojaavia yhdisteitä tai säätelemällä kasvien stressin sietoa lisääviä geenejä (du Jardin 2015, Calvo ym. 2014). Ne voivat aktivoita myös kasvien puolustusgeenejä kasvitauteja vastaan, kuten on todettu mm. porkkanalla kasvihuoneoloissa tehdyissä kokeissa (Jayaraj ym. 2008).

Kitosaani on äyriäisten kuorista saatavasta kitiinistä valmistettu biopolymeeriyhdiste. Sitä käytetään edistämään kasvin puolustautumista mm. sienitauteja vastaan. Lisäksi sillä on havaittu positiivista vaikutuksia muiden stressitekijöiden, kuten kuivuuden, suolaisuuden ja kylmyyden, vaivatessa kasvia. Kitosaani voi vaikuttaa myös laatuominaisuuksiin säätelemällä kasvien aineenvaihduntaa. Myös muita polymeeriyhdisteitä käytetään elisitoreina, jotka voivat edistää kasvien luontaista puolustautumista kasvintuhoojia vastaan (du Jardin 2015).

Epäorgaaniset yhdisteet, kuten alumiini-, koboltti-, natrium-, seleeni- ja piiyhdisteet voivat myös toimia biostimulaattoreina. Nämä alkuaineet eivät ole kasveille välttämättömiä ravinteita, mutta ne voivat edistää kasvien kasvua. Piiyhdisteet voivat vahvistaa kasvien soluseiniä. Vaikutus voi ilmetä tietyissä olosuhteissa, kuten natrium voi helpottaa osmoottista stressiä ja seleeni auttaa kasvitauteja vastaan. Nämä yhdisteet ovat siis hyödyllisiä kasville vain tietyissä oloissa. Myös muiden biostimulantti-ryhmien, kuten merilevien, vaikutus voi osin perustua epäorgaanisiin yhdisteisiin.

Hyödylliset sienet toimivat vuorovaikutuksessa kasvien juurten kanssa. Etenkin sienijuurisymbioosin muodostavia sieniä hyödynnetään maataloudessa edistämään ravinteiden ottoa (etenkin fosfori ja mikroravinteet), veden ottoa ja stressitilanteiden sietoa. Sienet voivat muodostaa myös rihmastoverkostoja sekä sienten ja kasvien välille että myös eri kasviyksilöiden kesken (Johnson & Gilbert 2015). Jotta sienijuurista saadaan paras mahdollinen hyöty, myös viljelykäytännöt ja lajikkeet pitää sovittaa edistämään vuorovaikutusta mikrobin kanssa. Myös muut kuin mykorritsasienet voivat asuttaa kasvien juuristoa ja edistää ravinteiden saantia. Etenkin *Trichoderma*-lajeja on tutkittu laajasti myös niiden biotorjuntavaikutuksen takia, mikä on kuitenkin erillinen mekanismi verrattuna biostimulaatioon.

Esimerkiksi Colla ym. 2015 totesivat Italiassa tehdyissä kokeissa, että kaksi sientä (*Glomus intraradices* ja *Trichoderma atroviride*) erikseen tai yhdessä annosteltuna lisäsivät useiden vihanneslajien kasvua kasvihuoneessa ja avomaalla, todennäköisesti lisäämällä juurten pinta-alaa ja edistämällä näin ravinteiden ottoa.

Hyödylliset bakteerit biostimulantteina ovat typensidontaan kykeneviä *Rhizobium*-lajeja, jotka elävät symbioosissa kasvin kanssa, tai muita kasvien juuristovyöhykkeellä eläviä hyödyllisiä bakteerilajeja (PGPR = plant growth promoting rhizobacteria), jotka voivat vaikuttaa monipuolisesti kasvien kasvuun ja kehitykseen. Bakteerien vaikutukset riippuvat bakteerikannasta, kasvilajista ja -lajikkeesta ja ympäristöoloista, joten niitä on usein vaikea ennustaa. Kuitenkin bakteerivalmisteiden myynti on kasvanut kovaa vauhtia ja bakteerivalmisteita kuvataan jopa kasvien ”probiooteiksi” (Berendsen ym. 2012).

4.3. Vaikutus ja käyttökohteet

Biostimulanttien koostumus ja vaikutustapa on usein monimutkainen, ja on vaikea erottaa, mitkä yhdisteet ovat aktiivisimpia ainesosia (Bulgari ym. 2015). Vaikutus voi olla usean kemiallisen yhdisteen yhdessä aiheuttama, ja sen aikaansaamiseen riittää usein jo pieni määrä tuotetta. Vaikutus voi kohdistua joko suoraan kasvin aineenvaihduntaan tai maaperän olosuhteisiin, lähinnä maan mikrobiyhteisöihin.

Biostimulanttien vaikutus on usein kasvilaji- ja jopa lajikekohtainen. Vaikutus riippuu myös ympäristöoloista ja ajankohdasta, joten tulokset voivat olla vaihtelevia eikä niitä voi yleistää välttämättä muille kasveille ja muihin olosuhteisiin.

Kiinnostus biostimulanttien käyttöön ja niihin liittyvä tutkimus on kasvanut huomattavasti viime aikoina, kuten myös tuotteiden markkinat. Alan teollisuuden eurooppalainen yhteisö EBIC (The European Biostimulants Industry Council, <http://www.biostimulants.eu/>) arvioi vuonna 2015 biostimulanttien myynnin olleen noin 578 miljoonaa euroa ja vuotuisen kasvun olevan 10–12 %.

Biostimulanttien vaikutuksista on viime vuosina julkaistu useita koosteartikkeleita (esim. Calvo ym. 2014, Bulgari ym. 2015, du Jardin 2015, Paradković ym. 2019). Niiden mukaan biostimulanteilla on tutkimuksissa raportoitu hyödyllisiä vaikutuksia, mutta vaikutusmekanismeista tarvitaan vielä runsaasti lisää tutkimusta, jotta tuotteista saadaan paras mahdollinen hyöty. Pohjoisilta viljelyalueilta tutkimusraportteja biostimulanttien tehosta on vähän.

Etenkin eteläisessä Euroopassa biostimulantteja tutkitaan keinona parantaa kasvien veden ja ravinteiden käytön tehokkuutta (De Pascale ym. 2018). Yleisestikin voidaan todeta, että usein paras teho biostimulanteista on odotettavissa erilaisissa stressitilanteissa. Luomutuotannossa biostimulantit kiinnostavat etenkin keinoina edistää kasvien ravinteiden saantia. Toistaiseksi tutkimusta on kuitenkin tehty niukasti luomuvihannesviljelyssä, ja tuloksia tarvitaan vaikutusten varmentamiseksi eri lajeilla ja eri ympäristöissä (De Pascale ym. 2017).

5. Kokeet

Resurssitehokas vihannestuotanto -hankkeessa vuosina 2016–2018 toteutetuissa kenttä- ja tilakokeissa tutkittiin erityisesti fosfori- ja kalsiumlannoituksen merkitystä sekä selvitettiin erilaisten kasvi- ja maa-analyysien hyödynnettävyyttä vihannesviljelyssä. Kokeiden tavoitteena oli

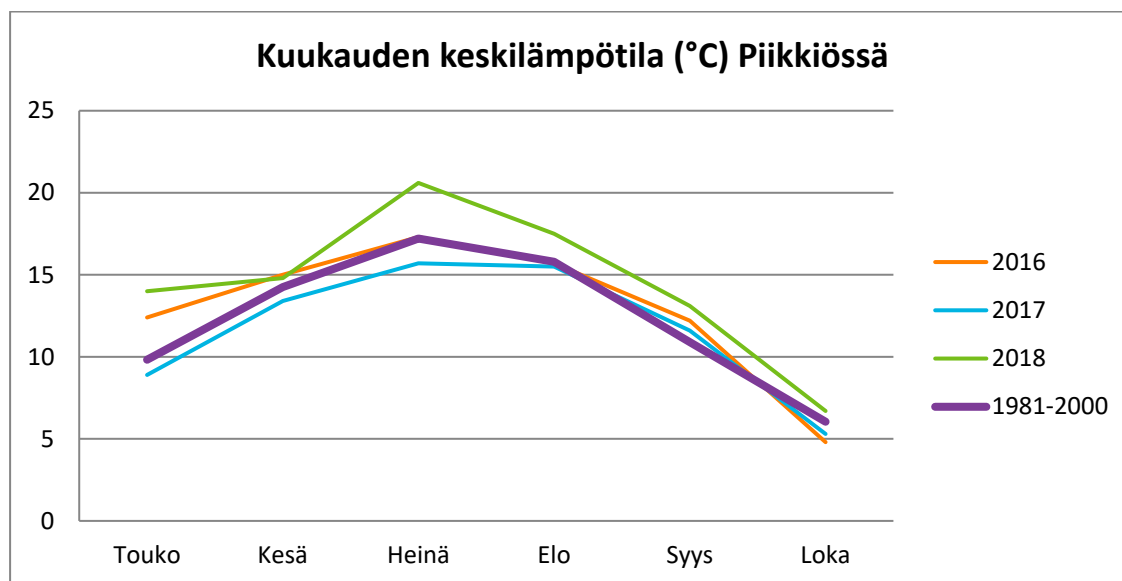
- tarkentaa fosforilannoitteiden käyttömääriä ja -menetelmiä eri vihanneslajeilla
- tuottaa tietoa nestemäisten lannoitteiden satovaikutuksista verrattuna perinteisiin lannoitevalmisteisiin sekä
- testata kasvianalyysin ja muiden menetelmien soveltuvuutta lisälannoitustarpeen arviointiin.

Satovaikutusten lisäksi tarkasteltiin vaikutuksia tuotteiden laatuun. Kokeita järjestettiin Luken toimipaikoilla Piikkiössä ja Mikkeliissä ja vihannestiloilla hankkeen eri toteutusalueilla. Tilakokeet toteutettiin Luken ja ProAgrian yhteistyönä.

Koevuosien sääolot olivat vaihtelevia. Kuvassa 6 ja taulukossa 9 on esitetty säätietoja Piikkiöstä. Kesä 2016 oli lämpötiloiltaan hieman lämpimämpi kuin vuosien 1981–2000 keskiarvot (Kuva 6). Kasvukausi 2017 oli viileämpi ja kasvukausi 2018 selvästi lämpimämpi kuin vertailujakso.

Myös sademäärät vaihtelivat vuosien välillä (Taulukko 9). Kesä 2017 oli sateisin ja kesä 2018 erityisen kuiva. Kesällä 2016 sademäärä oli alkukesällä keskimääräistä tasoa, mutta heinäkuu ja syksy olivat vähäsateisia.

Kenttäkokeiden tulokset analysoitiin tilastollisesti SAS-ohjelmistolla. Tulosten yhteydessä ilmoitetut p-arvot kuvaavat vaikutusten tilastollista merkitsevyyttä. Mikäli p-arvo on alle 0,05, käsittelyn vaikutusta ei voi pitää tilastollisesti merkitseväenä (eli kokeen käsittelyiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, vaan havaitut erot johtuivat todennäköisesti satunnaisesta vaihtelusta). Salaatin P-lannoituskokeiden analyysissä käytettiin myös GraphPad Prism 8 -ohjelmistoa.



Kuva 6. Kuukauden keskilämpötilat vuosina 2016–2018 ja vertailujaksolla 1981–2000 Ilmatieteen laitoksen mitausasemalla Piikkiössä.

Taulukko 9. Kuukauden sadesummat vuosina 2016–2018 ja vertailujaksolla 1981–2000 Ilmatieteen laitoksen mittausasemalla Piikkiössä.

Kuukausi	2016	2017	2018	1981–2000
Touko	36	17	29	37
Kesä	57	63	28	55
Heinä	43	23	31	79
Elo	91	96	81	80
Syys	21	41	79	59
Loka	10	109	46	76
Touko-lokakuu yhteensä	256	349	294	385

5.1. Fosforilannoituskokeet

Fosforilannoituksen vaikutusta vihannesten satoon ja sen laatuun tutkittiin Luken kenttäkokeissa (sipuli, keräkaali ja salaatti) sekä tilakokeissa (porkkana). Sipuli- ja kaalikokeet tehtiin vuonna 2016 yhteistyössä MMM:n rahoittaman Vihannesten ja marjakasvien tasapainoinen N- ja P-lannoitus ja ravinnepäästöjen vähentäminen (PuutarhaNP) -hankkeen kanssa. Kokeiden tuottamat tulokset eri P-portaiden vaikutuksista on raportoitu aiemmin (Suojala-Ahlfors 2017), mutta Revi-hankkeen rahoituksella toteutettujen käsittelyiden (nestemäinen starttilannoite Flex NP 7–8 ja mikrobituote Rhizocell) tulokset julkaistaan tässä raportissa ensi kertaa.

Vuosien 2017–2018 kokeisiin valittiin kasviksi jäävuorisalaatti, joka nopeakasvuinen eroaa aiemmin Suomessa tutkituista vihanneslajeista. Kokeissa oli kaksi eri istutusaikaa, toukokuun alku ja kesäkuun loppu, joissa maan lämpötila on erilainen. Porkkanan fosforilannoitustarpeen tutkimista jatkettiin tilakokeissa.

5.1.1. Sipuli ja keräkaali

Toteutus

Kokeet tehtiin Luken toimipaikoilla Piikkiössä ja Mikkeliissä kesällä 2016. Vertailtavana olivat P-lannoitustasot välillä 0–100 kg/ha, nestemäinen tyyppi ja fosforia sisältävä starttilannoite Flex NP 7–8 (Flex Fertilizer) ja mikrobituote Rhizocell® (Lallemand Plant Care), joka sisältää *Bacillus amyloliquefaciens* IT45 -hyötymikrobia ja hiivauutetta (Taulukko 10). Fosforitaso 20+10 toteutettiin annostelemalla fosforista 20 kg/ha rakeisena lannoitteena ja 10 kg/ha Yara Ferticare 10-52-17 -lannoitteella, joka liuotettiin veteen.

Muita ravinteita kuin fosforia annettiin peruslannoituksessa samat määrät kaikissa käsittelyissä (N 80 kg/ha ja K 120 kg/ha) hyödyntäen useita eri lannoitteita, joilla saatiin halutut määrät eri ravinteita. Lannoitteet levitettiin käsin koeruutuun ja muokattiin jyrsimällä noin 10 cm:n syvyyteen.

Kesäkuun loppupuolella annettiin sipulille lisälannoituksessa tyyppiä (27 kg/ha) ja kaliumia (84 kg/ha). Keräkaalin lisälannoituskertoja oli kolme, ja niissä annettiin tyyppiä yhteensä 130 kg/ha ja kaliumia 140 kg/ha.

Maalaji oli Piikkiön kokeessa multava hiesavi ja Mikkelin kokeessa runsasmultainen karkea hieta. Pelion P-pitoisuus oli viljavuusanalyysin mukaan 4–6 mg/l Piikkiössä (välttävä viljavuusluokka) ja 8–13 mg/l Mikkelissä (tyydyttävä viljavuusluokka). Tarkemmat viljavuustiedot koalueista on annettu liitteessä 1.

Taulukko 10. Sipulin ja keräkaalin lannoituskokeiden käsittelyt ja niissä lisätyt fosforilannoitteet (kg P/ha) vuonna 2016.

	Rakeinen P (kg/ha)	Nestemäinen P (kg/ha)	muu käsittely
P0	0	-	
P20	20	-	
P20+10	20	10 (Ferticare 10-52-17)	
P50	50	-	
P100	100	-	
Flex*	0 (Piikkiö)/ 20 (Mikkeli)	20 (Flex NP7–8)	
Rhizocell	20	-	Rhizocell-suspensio 0,2 %, 1–2 kertaa

*Flex-lannoite vain sipulikokeessa

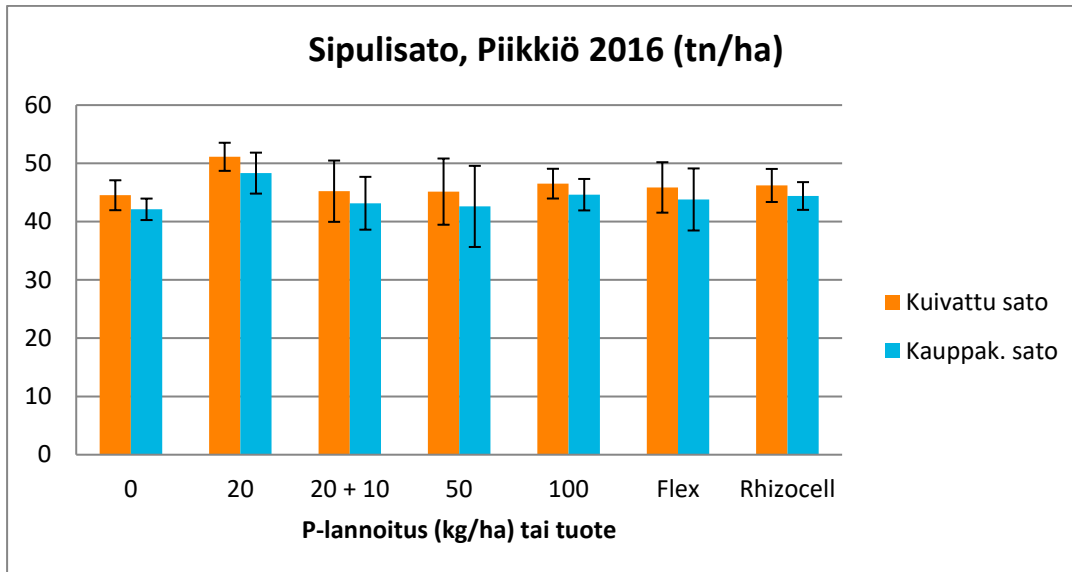
Sipulikokeessa Setton-lajikkeen istukkaat istutettiin käsin 10.–11.5. Piikkiössä ja 12.5. Mikkelissä. Koe-malli oli lohkoittain satunnaistettu koe, jossa oli neljä lohkoa. Koeruudun koko oli 1,5 m x 5 m, ja se sisälsi neljä riviä. Istutusetäisyys rivissä oli 7 cm. Nestemäiset lannoitteet annosteltiin heti istutuksen jälkeen mittaruiskulla. Ferticare-lannoite levitettiin 10 % liuoksena riviin. Flex-lannoite sijoitettiin laimentamattomana noin 3 cm etäisyydelle rivistä ja 3 cm syvyydelle maahan. Rhizocell-valmistetta levitettiin 0,2 %:n vahvuutena suspensiona sipuliriveihin heti istutuksen jälkeen 40 ml/rivimetri.

Kaalikokeessa käytetty lajike oli varastokaali 'Lennox'. Taimet istutettiin 60 cm x 60 cm etäisyyksille Piikkiössä 24.5. ja Mikkelissä 27.5. Piikkiössä koeruudun koko oli 3,6 m x 4,2 m ja Mikkelissä 3,6 x 5,4 m. Rhizocell-käsittelyt tehtiin kastelemalla taimet ennen istutusta 0,2 % suspensiolla (20 ml/taimi) ja uudelleen noin 4 viikkoa istutuksen jälkeen (18 ml/taimi).

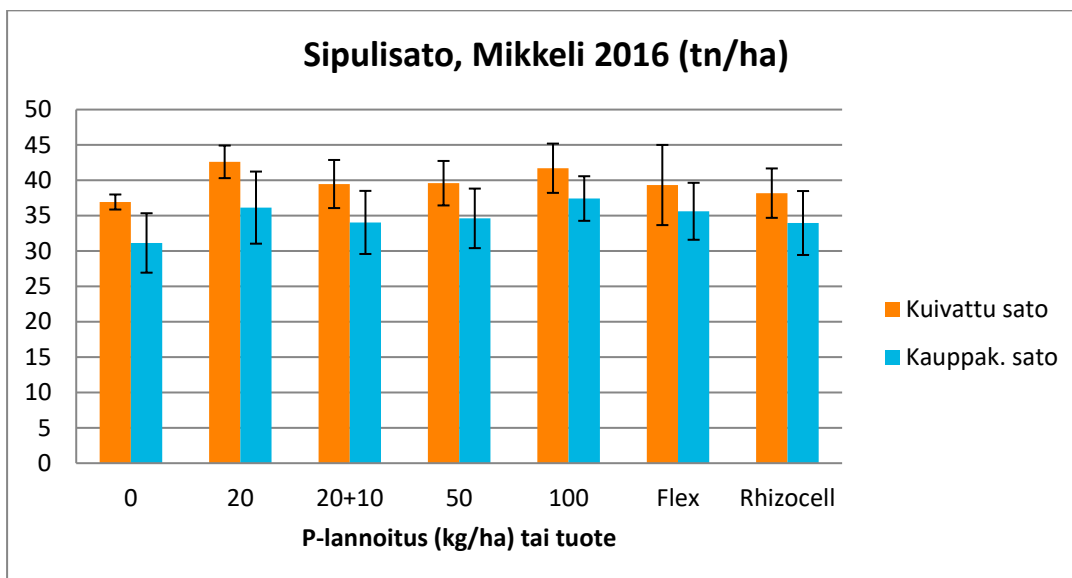
Sato korjattiin sipulikokeissa elo-syyskuussa, kun kasvusto oli tuleentunut. Sipulit kuivattiin ja sato lajiteltiin ja kaupakunnostettiin kuivauksen jälkeen. Kaalit korjattiin syys-lokakuun vaihteessa, ja niistä punnittiin kokonais- ja kaupakelpoinen sato. Korjuun yhteydessä otettiin erilliset näytteet ravinnanalyysiin (15 sipulia/ruutu tai 4 kaalia/ruutu), joista määritettiin sato-osan ja muiden maanpäällisten kasvinosien tuore- ja kuivapainot ja ravinnepitoisuudet. Ravinnanalyysit tehtiin Luken Joki-oisten laboratoriossa. Kivennäisaineiden pitoisuudet määritettiin ICP-menetelmällä ja typpipitoisuudet Kjeldahl-menetelmällä.

Tulokset

Lannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet sipulin kokonaissatoon tilastollisesti merkitsevästi Piikkiössä ($p=0,224$) tai Mikkelissä ($p=0,153$) (kuvat 7 ja 8). Myöskään kaupakelpoiseen satoon käsittelyt eivät vaikuttaneet ($p>0,3$).



Kuva 7. Kuivattu kokonaisato ja kauppakelpoinen sato (\pm keskihajonta, n=4) Piikkiön kokeessa vuonna 2016.

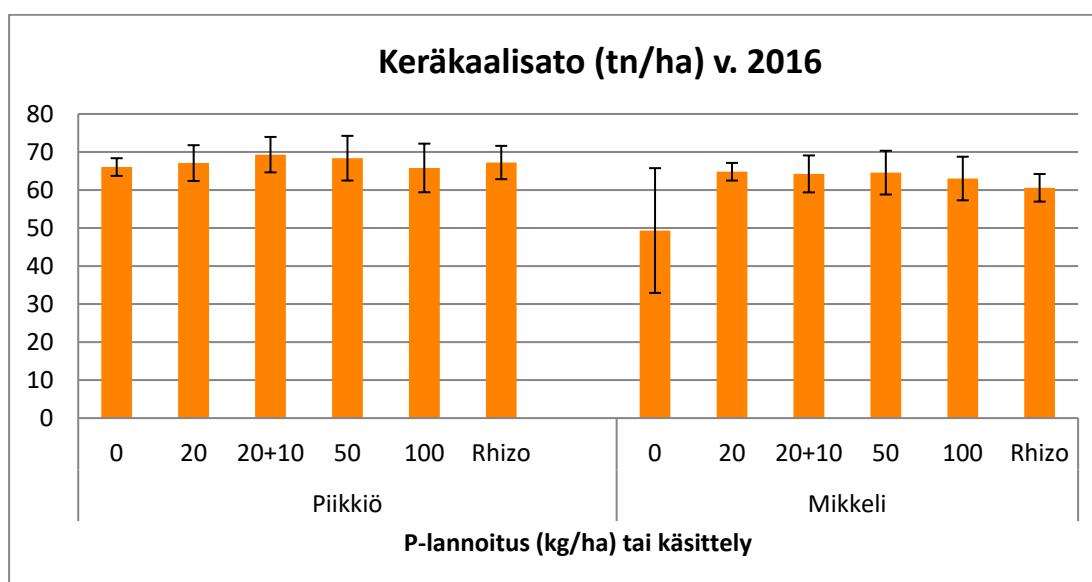


Kuva 8. Kuivattu kokonaisato ja kauppakelpoinen sato (\pm keskihajonta, n=4) Mikkelin kokeessa vuonna 2016.

Lannoitus ei yleensä vaikuttanut sipuliosan tai lehtien P-pitoisuuteen sadonkorjuun aikaan tai fosforin kokonaisottoon (Taulukko 11). Ainoa tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin lehtien P-pitoisuudessa Piikkiön kokeessa, jossa korkeimmat pitoisuudet mitattiin käsittelyissä P0 ja P50 ja alimmat pitoisuudet Flex- tai Rhizocell-käsittelyissä.

Taulukko 11. Fosforipitoisuudet sipulin lehdissä ja sipuliosassa sekä kasvuston ottama fosforin kokonaismäärä (lehdet ja sipulit yhteensä) sadonkorjuun aikaan. *P*-arvo <0,05 osoittaa, että käsittelyn vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä.

Käsittely	Lehtien P-pitoisuus (mg/l)		Sipulien P-pitoisuus (mg/l)		P:n kokonaisotto (kg/ha)	
	Piikkiö	Mikkeli	Piikkiö	Mikkeli	Piikkiö	Mikkeli
P0	2,71	2,76	2,72	2,54	18,4	16,1
P20	2,58	2,54	2,46	2,36	20,2	17,7
P20 + 10	2,55	2,70	2,60	2,43	18,0	17,1
P50	2,84	2,53	2,73	2,42	17,9	17,1
P100	2,51	2,72	2,64	2,43	18,4	17,5
Flex	2,47	2,97	2,48	2,67	16,9	18,6
Rhizocell	2,43	2,57	2,23	2,42	17,0	16,4
<i>p</i>-arvo	0,04	0,12	0,22	0,61	0,39	0,72



Kuva 9. Keräkaalin kokonaissato (\pm keskihajonta, $n=4$) Piikkiön ja Mikkelin kokeissa vuonna 2016.

Keräkaalikokeessa ei myöskään havaittu satoeroja käsittelyiden välillä (Kuva 9). Ainoastaan Mikkelin kokeessa ilman fosforilannoitusta viljelty käsittely P0 tuotti selvästi muita huonomman sadon, joskin vaihtelu rinnakkaisten koeruujujen välillä oli suurta. Rhizocell-valmiste ei vaikuttanut satoon tai kasvien fosforin ottoon.

Kaalikasvuston fosforipitoisuus oli Piikkiön kokeessa korkeampi kuin Mikkelin koelohkolla (Taulukko 12). Näin myös fosforin kokonaisotto maanpäällisiin kasvinosiini oli Piikkiön kokeessa korkeampi (41–45 kg/ha) kuin Mikkelin kokeessa (18–27 kg/ha). Tästä määrästä noin 60 % oli kerissä eli poistui sadon mukana pelloilta. Lannoituskäsittelyt vaikuttivat jonkin verran kasvuston fosforipitoisuuksiin: Piikkiön kokeessa kerien fosforipitoisuus ja Mikkelin kokeessa ulkolehtien fosforipitoisuus nousi fosforilannoitusta lisättäessä. Rhizocell-käsittelyssä mitatut kasvuston fosforipitoisuudet eivät eronneet ilman fosforilannoitusta viljeltyjen koeruujujen pitoisuuksista.

Taulukko 12. Fosforipitoisuudet kaalin kerissä ja ulkolehdissä sekä kasvuston ottama fosforin määrä sadonkorjuun aikaan. *P*-arvo <0,05 osoittaa, että käsittelyn vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä.

Käsittely	Kerien P-pitoisuus (mg/l)		Ulkolehtien P-pitoisuus (mg/l)		P:n kokonaisotto, kerät (kg/ha)		P:n kokonaisotto, ulkolehdet (kg/ha)	
	Piikkiö	Mikkeli	Piikkiö	Mikkeli	Piikkiö	Mikkeli	Piikkiö	Mikkeli
P0	4,09	2,37	3,05	2,04	25,5	12,0	18,1	6,0
P20	4,26	2,23	2,88	2,17	25,6	14,8	14,9	9,4
P20 + 10	4,21	2,57	2,87	2,52	27,0	16,6	17,1	9,2
P50	4,41	2,37	3,16	2,31	26,2	15,4	18,4	8,4
P100	4,91	2,64	3,16	2,65	26,7	17,0	18,0	10,3
Rhizocell	4,07	2,36	3,15	2,24	24,3	14,7	17,7	9,8
<i>p</i>-arvo	0,069	0,297	0,75	0,008	0,207	0,104	0,42	0,015

5.1.2. Salaatti

Vuosina 2017–2018 tehtyjen kokeiden tavoitteena oli arvioida fosforilannoituksen vaikutus jäävuori-salaatin satoon ja fosforin ottoon. Kokeissa tutkittiin sekä fosforilannoituksen määrän että lannoitetyypin vaikutusta. Lisäksi kokeissa tarkasteltiin istutusajan vaikutusta kasvien fosforin ottoon, sillä molempina vuosina järjestettiin kaksi koetta kasvukauden eri aikoina.

Toteutus

Kenttäkokeet toteutettiin Luken Piikkiön toimipaikalla. Koepaikan maalaji oli runsamultainen hiesavi, jonka fosforipitoisuus oli eri koeruuduissa 5–7 mg/l (viljavuusluokka välttävä). Muut viljavuustiedot on esitetty liitteessä 1.

Molempina vuosina tehtiin kaksi erillistä koetta, joista ensimmäinen istutettiin toukokuun alussa (5.5.2017 ja 8.5.2018, kuvat 10 ja 11) ja toinen kesäkuun lopussa (30.6.2017 ja 29.6.2018). Sadonkorjuu ajoittui ensimmäisessä istutuksessa heinäkuun alkuun ja toisessa istutuksessa elokuun puoliväliin tai loppupuolelle. Kasvuaika oli eri kokeissa 45–60 vuorokautta. Kokeessa käytetty salaattilajike oli 'Skindel', jonka taimet ostettiin Hollannista.



Kuva 10. Salaattikokeen istutus käynnissä 8.5.2018. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors.



Kuva 11. Salaatin fosforilannoituskoe 26.6.2018, kahdeksan päivää ennen sadonkorjuuta. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors.

Kokeessa oli vertailussa neljä eri P-lannoitustasoa ja lisäksi fosforimäärät 10 ja 20 kg/ha nestemäisenä lannoitteena annosteltuna (Taulukko 13). Muita ravinteita annettiin yhtä suuret määrät kaikissa käsittelyissä. Typeä lisättiin keväällä 100 kg/ha ja lisälannoituksessa noin neljän viikon kuluttua istutuksesta 30 kg/ha. Kaliumia annettiin peruslannoituksessa 70 kg/ha.

Peruslannoitteet levitettiin käsin hajalevityksenä koeruutuihin, ja ne jyrättiin noin 10 cm syvyyteen. Nestemäinen starttilannoite Flex NP7–8 annosteltiin istutuksen jälkeen laimentamattomana mittaruis-kulla 3 cm etäisyydelle taimesta ja noin 3 cm taimipottia syvemmälle.

Taulukko 13. Fosforilannoitusmäärät salaatin P-lannoituskokeiden käsittelyissä.

Käsittelyn koodi	P (kg/ha), rakeinen lannoite	P (kg/ha), nestemäinen lannoite
P0	0	
P10	10	
F10		10
P20	20	
F20		20
P60	60	

Koemalli oli satunnaistettujen täydellisten lohkojen koe. Vuoden 2017 kokeessa lohkoja oli neljä, ja vuonna 2018 lohkojen määrä nostettiin viiteen. Koeruudun koko oli 1,4 m x 5 m, ja se sisälsi kolme riviä, joissa taimet istutettiin 30 cm:n välein. Yhdessä koeruudussa oli 50 tainta.

Sato korjattiin 30 taimesta/koeruutu, jolloin ruutujen päihin jäi suoja-alueet. Kuusi tainta/koeruutu otettiin kuiva-aine- ja ravinneanalyysiin, jotka tehtiin erikseen keristä ja ulkolehdistä. Ravinneanalyysit (kokonaistyyppi ja kivennäiset) tehtiin Luken laboratoriossa Jokioissa.

Salaattikokeiden ensimmäisissä istutuksissa seurattiin maanesteiden fosforipitoisuutta käyttämällä Plant Root Simulator (PRS) Probes -analyysipalvelua (WesternAg, Kanada,

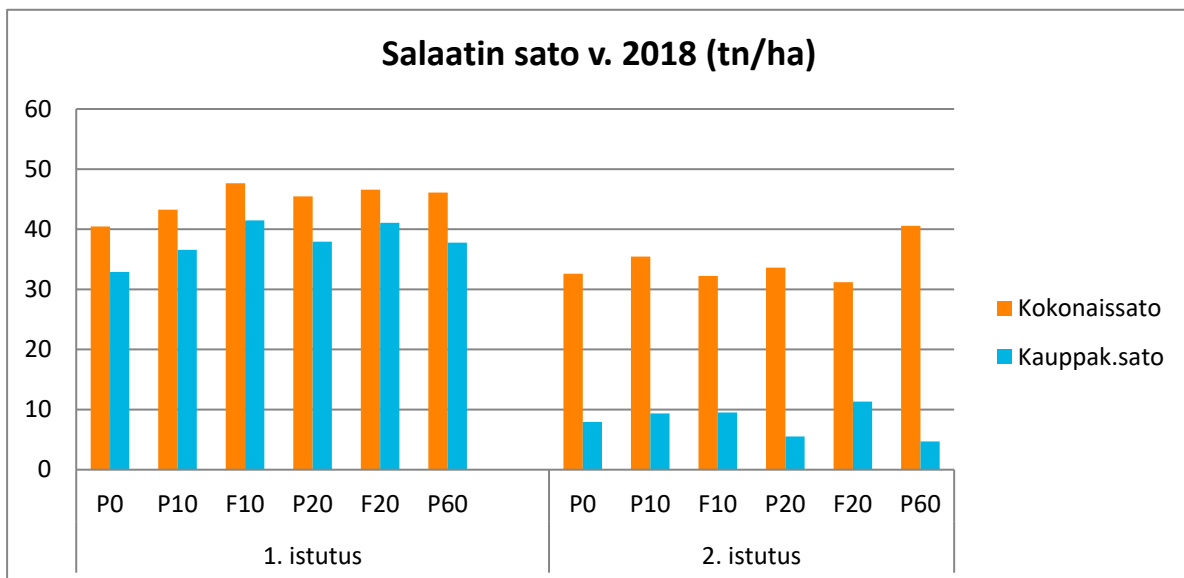
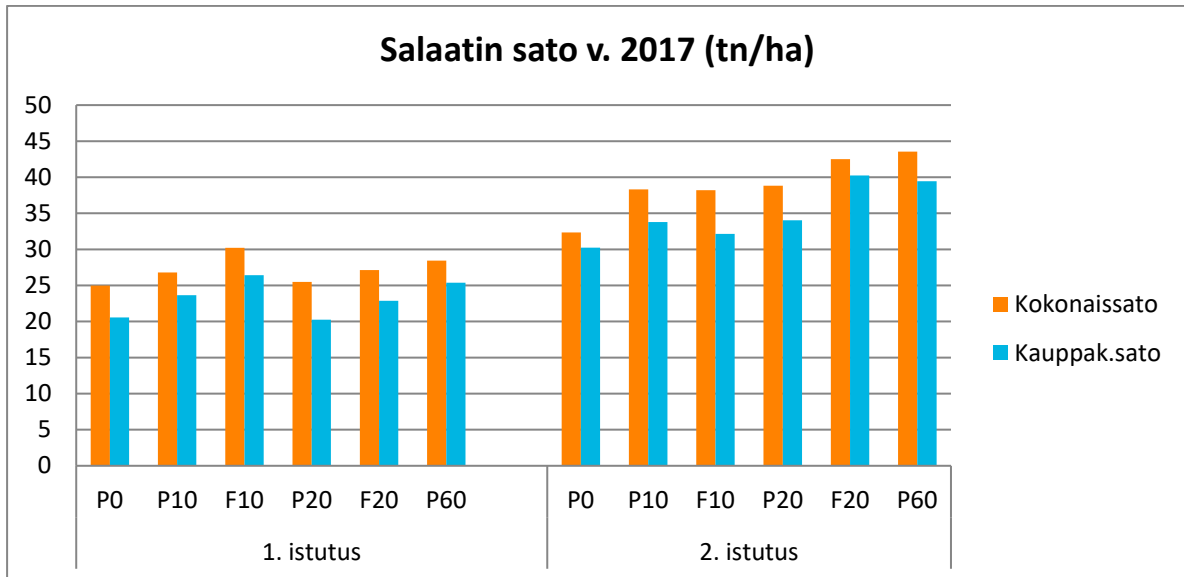
<https://www.westernag.ca/innovations/technology/basics>). PRS-tikut on tehty ioninvaihtohartsista, joka kerää maahan upotettuina maanesteestä liukoisena esiintyviä alkuaineita siinä suhteessa mikä niiden pitoisuus maanesteessä on. Kokeessa mittauksia tehtiin P0- ja P60-käsittelyiden ruuduissa. Joka ruutuun upotettiin neljä anioni-tikkua, jotka keräävät negatiivisesta varautuneita ravinteita, ja neljä kationitikkua, jotka keräävät positiivisesti varautuneita ravinteita. Tikut pidettiin maassa viikon ajan, jonka jälkeen ne pestiin ja säilytettiin jääkaapissa, kunnes ne lähetettiin Kanadaan analysoitavaksi. Tässä yhteydessä esitetään vain maanesteen fosforia koskevat tulokset, mutta jäljempänä on esimerkki myös muiden ravinteiden pitoisuuksista maassa.

Satotulosten tilastollisessa analyysissä johdettiin lannoituskäsittelyjen trendit käsittelyistä, joissa fosfori oli annettu rakeisena lannoitteena. Mikäli lineaarisen regressiosuoran kulmakerroin erosi merkittävästi arvosta nolla, lannoituskäsittelyjen katsottiin lisänneen satoa. Lisäksi kaikkia fosforikäsittelyjä verrattiin fosforilannoittamattomien ruutujen satoihin Dunnettin testillä, jonka avulla laskettiin satokeskiarvojen 90 % luottamusvälien erot P0-käsittelyyn verrattuna. Lopuksi satomääriä Flex-tuotteilla lannoitetuissa käsittelyissä verrattiin t-testin avulla satoihin rakeisilla lannoitteilla lannoitetuissa ruuduissa, joissa P-lisäykset olivat vastaavan suuruiset (10 tai 20 kg P/ha).

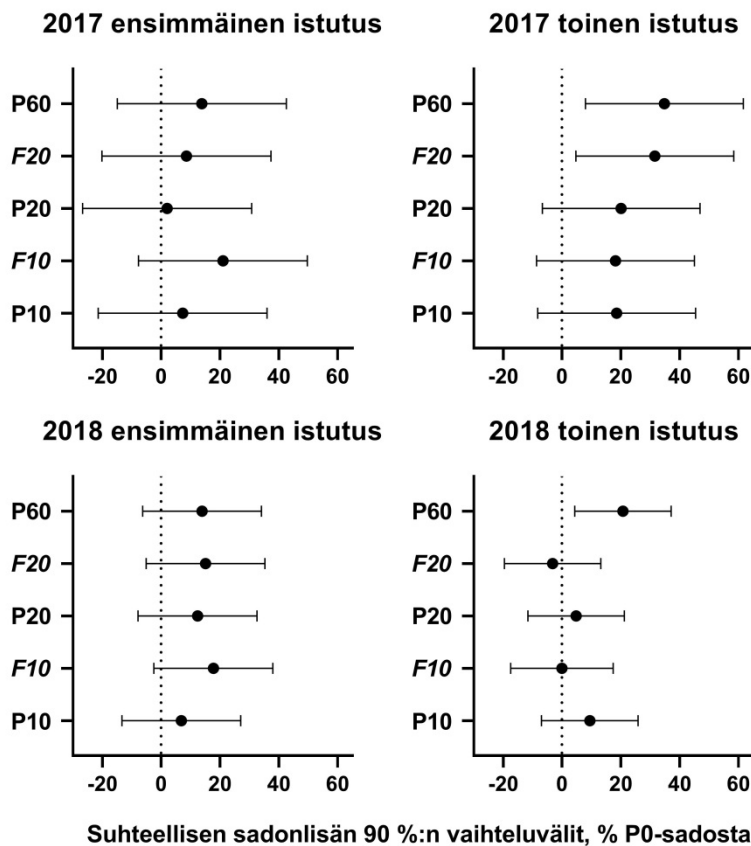
Tulokset

Vuoden 2017 kokeen ensimmäisessä istutuksessa salaatin sato ilman fosforilannoitusta (P0-käsittely) oli keskimäärin 25 tn/ha (Kuva 12). Fosforilisäyksen vaikutus satoon ei ollut tilastollisesti merkitsevä (kuva 13), ja fosforilannoitus selitti ainoastaan 7 % satomäärän vaihtelusta. Suurin fosforilisäys (60 kg/ha) antoi keskimäärin 14 % (3,5 tn/ha) suuremman sadon kuin P0-käsittely, mutta suurin sato (30 tn/ha, 21 %:n sadonlisä P0-käsittelyyn verrattuna) saatiin nestemäisellä lannoitteella fosforilisäyksellä 10 kg/ha. Nestemäinen lannoite antoi ensimmäisessä istutuksessa myös 20 kg P/ha lisäyksellä hieman suuremman sadon (27 tn/ha) kuin rakeisena sama määrä lisättyä fosforia (25 tn/ha). Rakeisen ja nestemäisen lannoitteen vertailussa sadot eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi kummallakaan lannoitustasolla ($p > 0,3$).

Kesän 2017 toisen istutuksen sato P0-käsittelyssä oli ensimmäistä satoa suurempi, 32 tn/ha. Fosforilannoitus lisäsi satoa tilastollisesti merkitsevästi ja selitti 33 % satomäärien vaihtelusta. Suurin sato (44 tn/ha) saatiin suurimmalla (60 kg P/ha) lisäysmäärällä ja sadon määrä oli tällöin 35 % suurempi kuin P0-käsittelyssä. Käytettäessä tilastoanalyysissä 10 %:n riskitasoa (normaalisti sovellettavan 5 %:n riskin sijasta) sadonlisien vertailussa P60-käsittelyn lisäksi suuremman nestelannoitelisän (F20) keskiarvo erosi P0-käsittelyn keskiarvosta (kuva 13). Nestemäinen lannoite antoi toisessa istutuksessa fosforilisäyksellä 10 kg/ha saman salaattisadon kuin rakeinen lannoite, mutta lisäysmäärällä 20 kg P/ha nestelannoite antoi suuremman sadon (43 tn/ha) kuin rakeisena lisätty 20 kg P/ha (39 tn/ha), joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi suurempaa ($p = 0,360$).



Kuva 12. Kokonais- ja kauppakelpoinen sato vuosien 2017 ja 2018 kokeissa. Ensimmäinen istutus tehtiin toukokuun alussa ja toinen istutus kesäkuun lopussa.



Kuva 13. Eri fosforilannoituslisäysten antama suhteellinen sadonlisä (prosenttia P0-käsittelyn sadosta). Virhejanat näyttävät suhteellisen sadonlisän 90 prosentin luottamusvälin. Jos virhejana leikkaa katkoviivan (sadonlisää ei ole saatu), lannoituskäsittelyn sato ei eronnut merkittävästi ilman fosforilisäystä saadusta salaatin kokonais-sadosta. Käsittelyt P10, P20 ja P60 ovat rakeisena annettuja lannoitelisiä ja F10 ja F20 nestelannoitekäsittelyjä.

Vuonna 2018 ensimmäisessä istutuksessa P0-käsittelyn sato oli keskimäärin 40 tn/ha (Kuva 12). Fosforilisäyksillä ei saatu tilastollisesti merkitsevää satovastetta (Kuva 13) ja fosforilisät selittivät ainoastaan 9 % satovaihtelusta. Suurin sadonlisä, 18 %, saatiin pienemmällä nestelannoitteen lisäyksellä (F10-käsittely). P60-käsittelyn sato oli keskimäärin 14 % suurempi verrattuna P0-käsittelyyn.

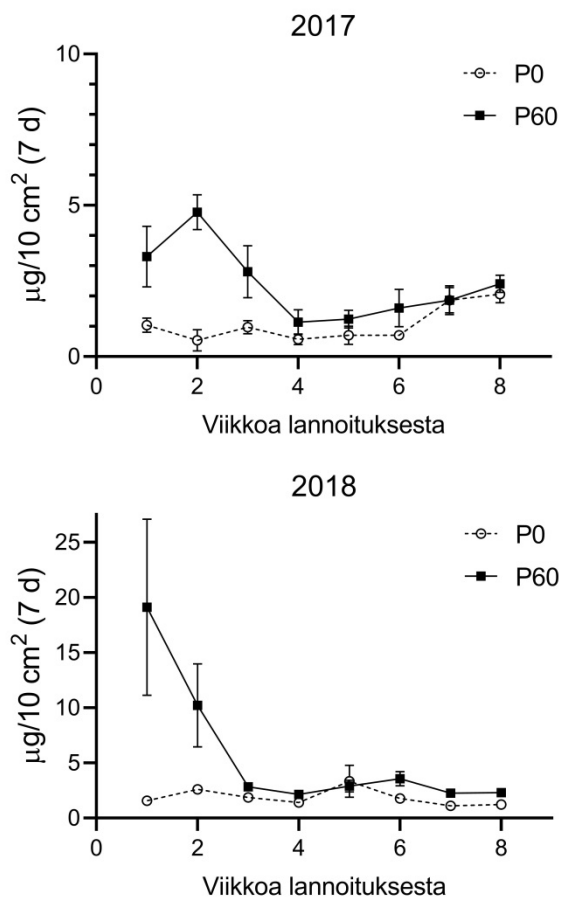
Toisen istutuksen satotaso oli 2018 noin viidenneksen alhaisempi kuin ensimmäisessä istutuksessa, P0-käsittelyssä 32 tn/ha. Kuivuus heikensi satoa verrattuna kevään istutukseen, koska riittävää kastelua ei pystytty koeoloissakaan järjestämään. Fosforin antama satovaste oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevä ja selitti 27 % satovaihtelusta. Tilastoanalyysissä ainoastaan P60-käsittelyn sato oli juuri ja juuri merkittävästi suurempi kuin P0-käsittelyn sato, kun analyysin riskitasona käytettiin 10 % (Kuva 13).

Keskimääräiset salaatin sadot rakeisena ja liuksena annettujen samansuuruisien (10 tai 20 kg/ha) fosforilisäysten välillä eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti vuoden 2018 istutuksissa, joskin lähes merkitsevä ($p = 0,054$) satoero havaittiin ensimmäisen istutuksen käsittelyjen P10 ja F10 välillä.

Molempina koevuosina toistui siten sama ilmiö: ensimmäisen istutuksen satovasteet olivat epävarmoja ja fosforilannoituksen antamat maksimisadonlisät käytetyillä lannoitustasoilla olivat pienempiä kuin toisessa istutuksessa. Liuoslannoite antoi ensimmäisissä istutuksissa jonkin verran suurempia satovasteita kuin rakeinen P-lannoite, mutta toisessa istutuksessa erot lannoitemuotojen välillä olivat vähäiset.

Kauppakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta oli yleensä hyvä, eikä lannoituskäsittely vaikuttanut siihen vuonna 2017. Sen sijaan vuoden 2018 kokeessa, jossa kauppakelpoisen sadon osuus oli alhainen, käsittelyiden välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja ($p = 0,018$). Kauppakelpoinen osuus oli suurin eli 32–38 % käsittelyissä F10 ja F20 ja pienin eli 12–15 % käsittelyissä P20 ja P60. Heikko kauppakelpoisen sadon osuus johtui todennäköisesti erittäin kuumasta säästä, johon liittyi korkea ilmankosteus ajanjaksona ennen sadon valmistumista.

Yleisesti oletetaan, että fosforilannoituksella saadaan suurempia satovasteita kylmässä maassa, koska fosforin vapautuminen maanesteeseen ja sen liikkuvuus maassa kasvavat lämpötilan kohotessa. Salaattikokeen ensimmäisten istutuksien yhteydessä 2017 ja 2018 seurattiin maan fosforin liukoisuutta P0- ja P60-käsittelyruuduilla PRS-tikkujen avulla (Kuva 14). Ennen istutusta maahan sekoitettu lannoitefosfori näkyi molempina vuosina maanesteen kohonneena liukoisen fosforin pitoisuutena 2–3 viikon ajan lannoituksesta, minkä jälkeen pitoisuus laski lähelle P0-käsittelyn maasta mitattuja pitoisuuksia. Yllättäen maanesteen korkeampi fosforipitoisuus ensimmäisissä istutuksissa ei näkynyt millään tavoin niiden satovasteissa kumpanakaan koevuotena, vaan molempina vuosina satovasteet olivat loivia, eikä fosforilannoituksen vaikutus satoon ollut tilastollisesti merkitseviä. Oletettavasti molemmissa kokeissa kasvustoilla oli lähes kaikki niiden tarvitsema fosfori juuriston ulottuvilla myös P0-käsittelyissä, koska satovasteet olivat vaatimattomia molempina vuosina. Kesäkuun istutuksissa, joissa fosforilannoituksen todettiin vaikuttaneen satoon, ei maan fosforin liukoisuutta seurattu.



Kuva 14. Plant Root Simulator -ioninvaihtohartsien keräämän maanesteen fosforin määrä Piikkiön salaattikokeiden ensimmäisessä istutuksessa vuosina 2017 ja 2018.

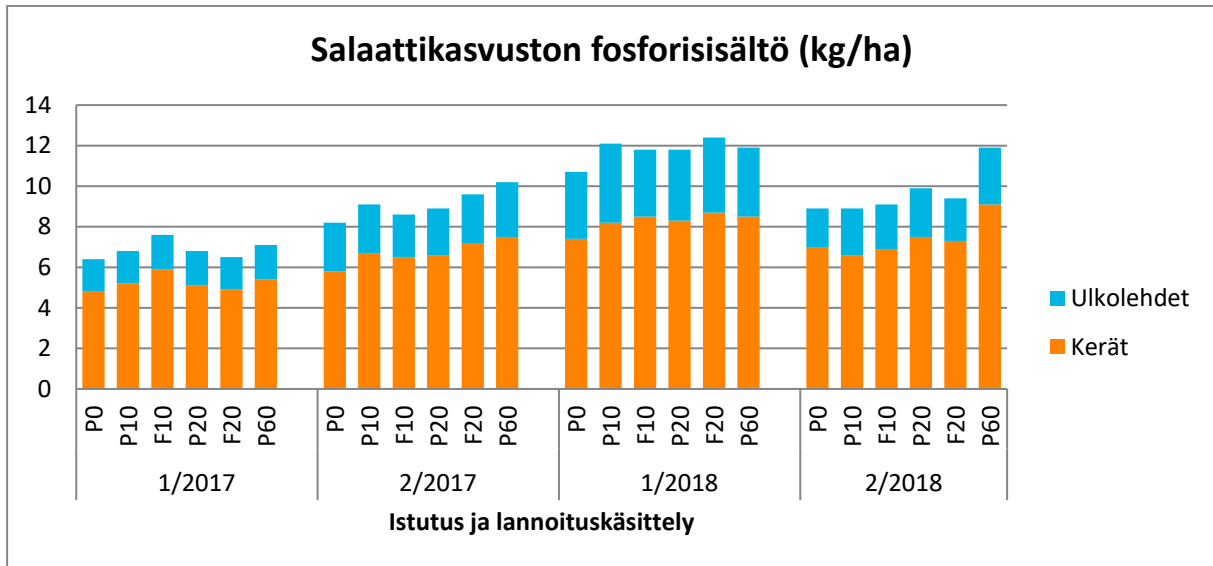
Salaatin kerien ja ulkolehtien P-pitoisuudet vaihtelivat eri käsittelyissä, mutta erot eivät olleet kovin loogisia (Taulukko 14). Toukokuun 2017 istutuksessa kerän P-pitoisuus oli korkein P0-käsittelyssä. Flex-

käsittelyissä pitoisuudet olivat pienempiä kuin vastaavan P-lannoituksen rakeisessa muodossa saaneissa ruuduissa. Vuonna 2018 kasvien fosforipitoisuuksissa oli eroja vain ensimmäisessä istutuksessa, jossa kerien P-pitoisuudet olivat muita korkeammat käsittelyissä P10 ja P60.

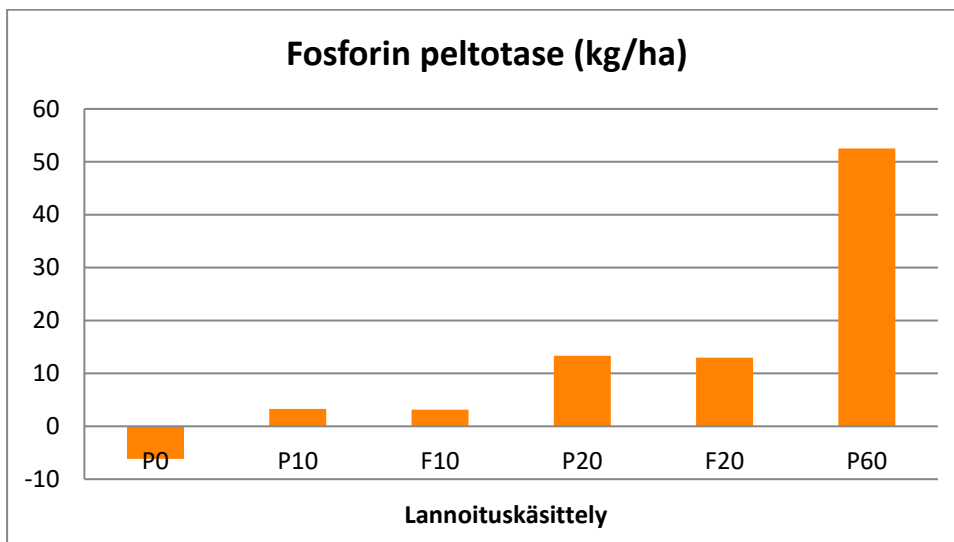
Maanpäällisten kasvinosien sisältämä fosforimäärä oli noin 6–12 kg/ha, josta valtaosa oli keräsadossa ja poistui näin ollen pellolta (Kuva 15). Fosforin peltotase – fosforilannoituksen ja pellolta sadon mukana poistuneen fosforimäärän erotus – oli lievästi positiivinen jo lannoitusmäärällä 10 kg/ha (Kuva 16).

Taulukko 14. Salaatin kerien ja ulkolehden P-pitoisuudet vuosina 2017 ja 2018. *P*-arvo <0,05 osoittaa, että käsittelyn vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä.

Käsittely	P-pitoisuus (g/kg ka), 1. istutus		P-pitoisuus (g/kg ka), 2. istutus	
	Kerät	Ulkolehdet	Kerät	Ulkolehdet
2017				
P0	6,5	2,4	5,2	2,8
P10	6,3	2,5	5,2	2,8
F10	5,9	2,1	4,9	2,6
P20	6,3	2,4	5,2	2,7
F20	5,9	2,3	4,7	2,6
P60	6,1	2,2	5,3	3,1
<i>p</i> -arvo	0,042	0,016	0,031	0,014
2018				
P0	5,5	2,4	6,2	2,7
P10	5,8	2,4	6,3	2,9
F10	5,2	2,3	6,4	2,8
P20	5,3	2,5	6,2	2,9
F20	5,3	2,4	6,4	2,8
P60	5,6	2,5	6,5	2,8
<i>p</i> -arvo	0,038	0,44	0,55	0,53



Kuva 15. Salaattikasvuston sisältämä fosforimäärä (kg/ha) eri kokeissa.



Kuva 16. Fosforin peltotase (kg/ha) neljän salaattikokeen keskiarvona.

5.1.3. Porkkana

Porkkanan fosforilannoituskokeet toteutettiin tilakokeena Pohjois-Savossa vuosina 2016 ja 2018. Myös vuonna 2017 tehtiin koe, mutta kasvuston huonon kunnon takia satoa ei korjattu koeruuduilta. Kokeet jatkoivat PuutarhaNP-hankkeessa toteutettujen tilakokeiden sarjaa.

Toteutus

Kokeissa verrattiin kokonaan ilman fosforilannoitusta viljeltyjä koeruutuja (P0) viljelijän lohkolle käyttämään fosforilannoitukseen, joka oli 46 kg/ha (P46). Koepaikan maalaji oli vuonna 2016 runsasmultainen hietamoreeni (P-luku välttävä, 5,3 mg/l) ja vuonna 2018 multava hietamoreeni (P-luku tyydyttävä, 13 mg/l).

Viljelijän käyttämä peruslannoitus lohkolle sisälsi fosforipitoisia lannoitteita Yara Mila Hevi 3 ja Yara Starttiravinne. Lisäksi lohkolle levitettiin muita lannoitteita varmistamaan sivuravinteiden riittävä saatavuus (lannoitteet vaihtelivat eri vuosina). Ilman fosforilannoitusta viljeltyt ruodut peitettiin lohkon

lannoituksen ajaksi, ja näin estettiin fosforipitoisen lannoitteen pääsy P0-ruutuihin. P0-ruuduissa fosforipitoiset lannoitteet korvattiin suomensalpietarilla ja kaliumsulfaattilla, jotka levitettiin koeruutuihin käsin. Vertailtavat P0- ja P46-ruudut sijaitsivat vierekkäin kolmessa kohdassa peltolohkoa.

Sato korjattiin näyteruuduista hieman ennen viljelijän tekemään nostoa peltolohkolla. Sadonkorjuun yhteydessä otettiin ravinnenäytteiksi 20 porkkanaa/ruutu naatteineen. Näistä määritettiin juurten ja lehtien kuiva-ainepitoisuudet ja määritettiin kuivatuista näytteistä typen ja kivennäisravinteiden pitoisuudet Luken laboratoriossa. Juurten kokonaispaino näyteruudussa mitattiin ja määritettiin kaupakelpoisten porkkanoiden osuus kokonaissadosta.

Tulokset

Fosforilannoitus ei vaikuttanut sadon kokonaismäärään tai kaupakelpoisen sadon osuuteen kumpanakaan koevuonna (Taulukko 15). Lehtien fosforipitoisuudet olivat vuonna 2018 korkeat verrattuna vuoden 2016 kasvustoon, mutta kumpanakaan vuonna fosforilannoitus ei vaikuttanut heinäkuussa otettujen lehtinäytteiden pitoisuuksiin. Satovaiheessa juurten ja lehtien pitoisuudet olivat likimain samaa tasoa molempina vuosina. Fosforilannoitus lisäsi hieman fosforipitoisuuksia satovaiheessa, mutta erot käsittelyiden välillä olivat hyvin pienet.

Taulukko 15. Porkkanan sato ja kasvuston fosforipitoisuudet tilakokeissa.

	Pellon P-luokka	P-lannoitus (kg/ha)	Kokonaissato (tn/ha)	Lehtien P-pitoisuus heinäkuussa (g/kg ka)	Lehtien P-pitoisuus satovaiheessa (g/kg ka)	Juurten P-pitoisuus satovaiheessa (g/kg ka)
2016	välttävä	0	34,4	3,2	1,81	2,18
		46	34,7	3,0	1,82	2,33
2018	tydyttävä	0	20,2 kg/satoruutu	5,7	1,65	2,45
		46	19,0 kg/satoruutu	5,6	1,78	2,53

5.1.4. Johtopäätökset fosforilannoituskokeista

Fosforilannoituksen vaikutus tutkittujen vihanneslajien satoon jäi pieneksi, vaikka kokeet toteutettiin peltolohkoilla, joissa fosforin viljavuusluokka oli välttävä tai tyydyttävä. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin PuutarhaNP-hankkeessa vuosina 2014–2016 saadut tulokset sipulin, keräkaalin, porkkanan ja mukulasellerin fosforilannoituksesta (Suojala-Ahlfors 2017). Myös Norjassa eri vihanneslajeilla tehdyt kokeet (Riley ym. 2012, Stubhaug ym. 2015) osoittivat, että fosforilannoituksen satovaikutukset olivat melko pieniä, ja niiden perusteella vihannesten fosforilannoitussuosituksia alennettiin Norjassa.

Tässä hankkeessa tutkituista kasveista jäävuorisalaatti oli ainoa kasvi, jolla tehdyissä neljässä kokeessa fosforilannoitus lisäsi satoa jonkin verran verrattuna fosforilannoittamattomaan käsittelyyn, mutta vain kahdessa kokeessa vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä. Vaikka fosforilannoituksen vaikutuksen ajatellaan olevan suurin keväällä, kun maa on vielä kylmä, vuosien 2017 ja 2018 kokeissa merkitsevä sadonlisä havaittiin nimenomaan kesäkuun lopun istutuksessa, eikä toukokuun alun istutuksessa. Eriytisesti toukokuu 2017 oli kylmä, mutta silloinkin fosforilannoituksen satovaikutus jäi varsin pieneksi.

Salaattikokeet tehtiin välttävän fosforiluokan maassa, eikä saatuja tuloksia voi yleistää korkeamman fosforiluvun maille. Matalan fosforiluokan mailla satovasteita kuitenkin saadaan todennäköisemmin kuin korkean fosforiluokan mailla. Johnstone ym. (2005) tutkivat jäävuori- ja roomansalaatin satovasteita fosforilannoitukseen Kaliforniassa 12 koepaikalla, joilla maan fosforiluku oli korkea. Ainoastaan

yhdellä paikalla, jossa istutus tehtiin aikaisin keväällä, havaittiin fosforilannoituksen (29 kg/ha) lisäneen satoa tilastollisesti merkitsevästi (7 %) verrattuna fosforilannoittamattomaan käsittelyyn.

Huolimatta maan matalasta fosforipitoisuudesta riittävä fosforilannoitus jäävuorisalaatille vaikuttaa tulosten perusteella olevan 10–20 kg/ha. Vaikka lannoitusmäärä 60 kg/ha tuotti yhdessä kokeessa vielä sadonlisää, tällä lisäysmäärällä pellon fosforitase on jo erittäin vahvasti ylijäämäinen, eikä runsas fosfori päädy kasvustoon vaan kartuttaa pellon fosforivarantoja. Jäävuorisalaatin fosforin otto maanpäällisiin kasvosiiin oli kokeissa jonkin verran alempi kuin Johnstonen ym. (2005) tutkimuksessa, jossa raportoitiin fosforin oton olleen keskimäärin 14 kg/ha ja sadon fosforisisällön 10 kg/ha.

Nestemäinen, kasvin juuriston lähelle sijoitettu starttilannoite tuotti hyvän sadon, mutta tilastollisen analyysin mukaan ero rakeisessa muodossa hajalevitettyyn lannoitteeseen ei ollut salaattikokeissa merkitsevä. Nestelannoite ei myöskään lisännyt kasvin fosforin ottoa, vaan vuoden 2017 kokeessa kasvin fosforipitoisuudet olivat jopa pienemmät kuin vastaavissa rakeisella lannoitteella lannoitetuissa ruuduissa. Myöskään vuoden 2016 sipuli- ja kaalikokeissa kasviriivin annosteltu starttilannoite ei lisännyt satoa.

Myöskään vuoden 2016 sipulikokeissa käsittelyt, joissa oli mukana riviin levitetty nestemäinen starttilannoite, rivin läheisyyteen maahan annosteltu fosfori- ja typpipitoinen lannoite tai mikrobivalmiste Rhizocell, eivät eronneet muista lannoituskäsittelyistä sadon määrän, laadun tai fosforin oton suhteen. Välttävän fosforiluokan maassa kahdella koepaikalla fosforilannoitus, jonka levitysmäärä vaihteli 0 ja 100 kg/ha välillä, ei vaikuttanut merkitsevästi satoon.

Porkkanakokeissa fosforilannoitus ei vaikuttanut satoon. Aiemmin raportoiduissa suomalaisissa kokeissa, joita tehtiin kahdeksalla fosforiluokaltaan vaihtelevalla koepaikalla (Suojala-Ahlfors 2017), fosforilannoitus lisäsi porkkanasatoa keskimäärin 4 %, mutta vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

PuutarhaNP-hankkeen yhdeksässä sipulikokeessa ja yhdeksässä keräkaalikokeessa vuosina 2014–2016 fosforilannoituksen keskimääräinen satovaikutus oli 6–7 %, mutta vain muutamissa kokeissa satoerot lannoittamattomaan nähden olivat tilastollisesti merkitseviä.

Tämän hankkeen ja aikaisempien PuutarhaNP-hankkeen tulosten pohjalta voidaan todeta seuraavaa:

- Useimmissa kokeissa fosforilannoitus ei ole vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi sadon määrään tai kauppakelpoisuuteen.
- Mikäli fosforilannoituksen on havaittu tuottavan sadonlisää, se on saavutettu jo maltillisilla lisäysmäärillä 10–20 kg/ha, vaikka maan fosforiluku on ollut välttävä tai tyydyttävä.
- Vihannessadon mukana pellolta poistuva fosforimäärä on tyypillisesti 10–30 kg/ha. Muiden kasvosien sisältämä fosforimäärä on yleensä selvästi tätä pienempi.
- Kasvukauden alussa levitetty fosforilannoite lisää maanesteen fosforipitoisuutta selvästi 2–4 viikon ajan levityshetkestä, mutta tämän jälkeen pitoisuudet ovat lähes samaa tasoa kuin fosforilannoittamattomassa maassa.
- Nestemäinen, rivin lähelle sijoitettava fosforilannoite on hyvä vaihtoehto fosforilannoituksen tarkentamiseen. Kokeissa nestemäiset lannoitteet eivät toistaiseksi ole kuitenkaan tuottaneet selvää sadonlisää verrattuna käsittelyihin, joissa sama fosforimäärä on hajalevitetty maahan rakeisena lannoitteena.
- Tähänastisten tulosten perusteella maltillinen fosforilannoitus 10–20 kg/ha riittää myös välttävän ja tyydyttävän fosforiluokan mailla hyvän vihannessadon tuottamiseen.
- Hyvän ja sitä ylempien fosforiluokkien mailla on epätodennäköistä, että vuotuinen fosforilannoitus tuottaa sadonlisää vihannesviljelyssä.

5.2. Kalsiumlannoituskokeet

Kalsiumin tiedetään olevan merkittävä ravinne vihannesten laadun ja säilyvyyden kannalta. Kalsiumlannoituskokeiden tavoitteena oli selvittää lisätyn kalsiumlannoituksen vaikutusta vihannesten satoon ja erityisesti sen laatuun sekä kasvien kalsiumin ottoon. Koekasveina olivat keräkaali ja jäävuorisalaatti, joissa helposti esiintyy erilaisia vaikeasti selitettäviä laatuviatoksia ja joiden kerissä kalsiumin pitoisuudet ovat varsin alhaiset verrattuna kerän ulkopuolisten lehtien pitoisuuksiin.

Keräkaalikokeet tehtiin tilakokeena peltolohkoilla, joissa kalsiumpitoisuus on alhainen. Salaatin kalsiumlannoitusta ja kalsiumin ottoa tutkittiin Luken Piikkiön toimipaikalla järjestetyissä kenttäkokeissa.

5.2.1. Keräkaali

Keräkaalin lehtilannoitusta tutkittiin tilakokeessa Lammilla vuosina 2016 ja 2017, tavoitteena selvittää lannoituskäsittelyiden vaikutusta keräkaalin laatuun ja säilyvyyteen. Ensisijaisena kiinnostuksen kohteena oli kalsiumlisäyksen vaikutus laatuun, koska pellon kalsiumluku oli hyvin matala, viljavuusluokaltaan huononlainen (Taulukko 16). Maalaji oli vuoden 2016 koealalla runsasmultainen karkea hieta ja vuoden 2017 koealalla multava hieno hieta. Koelohkoja oli kalkittu edeltävinä vuosina, mutta maan pH oli silti alhainen.

Koealalla viljeltiin varastoitavaa Paradox-lajiketta. Taimet istutettiin toukokuun lopulla.

Taulukko 16. Keräkaalin tilakokeiden viljavuusanalyysitulokset. Näytteet on otettu sadonkorjuun aikaan lokakuussa.

Vuosi	pH	Ca (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	S (mg/l)	Kationin-vaihtokapasiteetti (cmol/kg)
2016	5,3	803	15	133	85	72	9
2017	5,9	647	15	163	173	8	7

Kokeissa oli kolme vertailtavaa käsittelyä:

- Kontrolli (ei lehtilannoituksia)
- Lehtilannoitus YaraVita Caltrac-valmisteella (N 4, Ca 24) 3-4 kertaa (3,5 l/ha/kerta)
- Lehtilannoitus Flex NPK 18-0-3 -lannoitteella 3-4 kertaa (30 l/ha/kerta).

Flex-lehtilannoite sisältää typen ja kaliumin lisäksi P 0,1 %, K 3 %, Ca 3,3 %, Mg 1,9 %, Zn 0,2 %, B 0,2 % ja Mn 0,2 %.

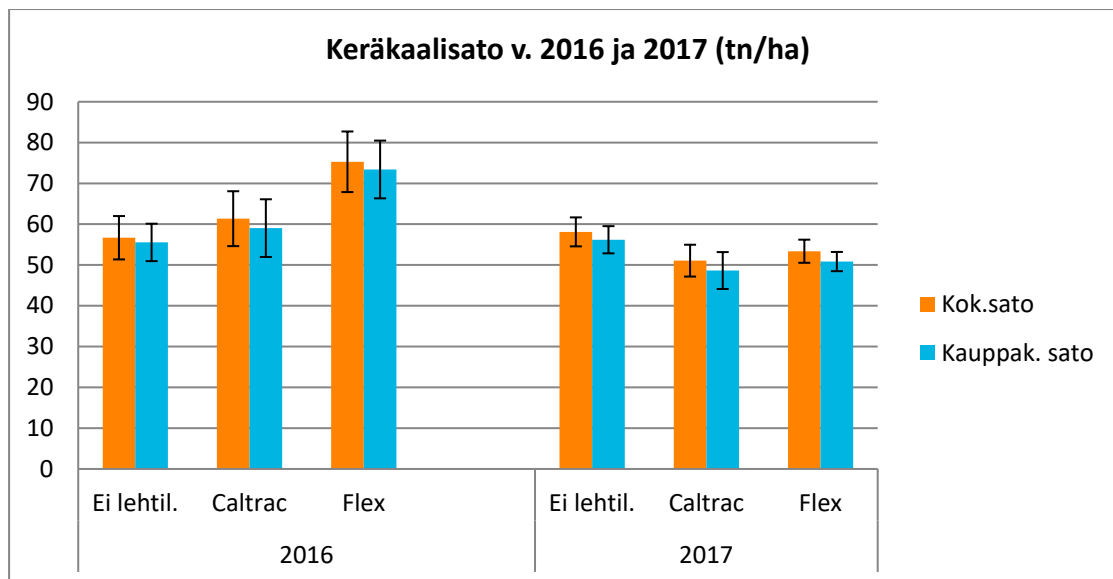
Lehtilannoituskäsittelyjä oli kolme vuonna 2016 ja neljä vuonna 2017, ja ne ajoituivat heinäkuun lopun ja syyskuun alun välille. Käsittelyt sijoitettiin pellolle vierekkäisiin kaistoihin (leveys 7 m tai 15 m), joihin tuotteet levitettiin kasvinsuojeluruiskulla. Käsittelyitä ei toistettu useammilla kaistoilla, mutta kunkin kaistan sisällä sato korjattiin kolmesta erillisestä satoruudusta (pinta-ala 11,8 m² vuonna 2016 ja 9 m² vuonna 2018). Satonäytteet kerättiin lokakuussa hieman ennen viljelijän tekemää sadonkorjuuta 13.10.2016 ja 10.10.2017. Korjuun yhteydessä otettiin lisäksi neljä kasvia/näyteala ravinnenäytteiksi, joista määritettiin kerän ja muiden maanpäällisten kasvosien kuiva-ainepitoisuus sekä typen ja kiennäisravinteiden pitoisuudet Luken laboratoriossa.

Punnittujen satonäytteiden lisäksi viljelijän varastoon korjattiin jokaiselta kaistalta kaksi laatikollista kaalia, joiden säilyvyys analysoitiin helmi-maaliskuussa.

Vuonna 2018 oli tarkoitus toteuttaa koe, jossa tutkittiin nestemäisen kalsiumlannoitteen (Flex CaN) vaikutusta kaalin satoon ja sen laatuun. Lannoiteannostelun epätasaisuuden vuoksi koealoja ei kuitenkaan seurattu tarkemmin.

Tulokset

Vuoden 2016 kokeessa havaittiin satoeroja eri käsittelykaistojen välillä, ja Flex-käsittely tuotti muita korkeamman sadon (Kuva 17). Sen sijaan vuonna 2017 tulos oli päinvastainen: lehtilannoitetuilla kaistoilla sato oli hieman kontrollikäsitteilyä heikompi, mikä johtunee kasvu- ja maaperäolojen vaihtelusta koealueella, eikä niinkään itse lannoituskäsittelyistä. Erojen välistä tilastollista merkitsevyyttä ei voitu analysoida, koska koe toteutettiin kaistakokeena ilman varsinaisia toistoja.



Kuva 17. Keräkaalisato tilakokeissa v. 2016 ja 2017. Luvut ovat lannoituskaistoilta mitattuja keskiarvoja (\pm keskihajonta, $n=3$).

Käsittelyt eivät juuri vaikuttaneet kasvuston ravinnepitoisuuksiin (Taulukko 17). Huomionarvoista on, että kasvuston Ca-pitoisuus oli etenkin vuonna 2017 erittäin matala verrattuna Luken toteuttamissa 11 kaalikokeessa mitattuihin keskiarvoihin. Sen sijaan esimerkiksi N-, P- ja K-pitoisuudet olivat tällä koepaikalla varsin korkeat. Vuonna 2017 magnesiumin pitoisuus maassa oli korkea suhteessa kalsiumiin (Ca:Mg-suhde 3,7), mikä näkyi myös kasvuston melko korkeana magnesiumpitoisuutena.

Lannoituskäsittelyillä ei ollut kovin selvää vaikutusta sadon varastokestävyyteen (Taulukko 18). Vuoden 2016 sadon myyntikelpoinen osuus oli korkein Caltrac-käsittelyssä. Seuraavan vuoden sadossa molemmissa lehtilannoitetuissa käsittelyissä kauppakelpoinen osuus oli korkeampi kuin kontrollikäsitteilyssä. Erot olivat kuitenkin molempina vuosina enimmillään 5–6 %-yksikön suuruisia.

Taulukko 17. Kerien ja ulkolehtien Ca-pitoisuus (kuiva-ainetta kohti) tilakokeissa v. 2016 ja 2017. Vertailussa on myös 11 muun kokeen pitoisuuksien minimi- ja maksimiarvot.

Vuosi	Käsittely	Kerä	Ulkolehdet
		g/kg	g/kg
2016	ei lehtil.	4,7	26
	Caltrac	4,4	25
	Flex	4,4	28
	KESKIARVO	4,5	27
2017	ei lehtil.	3,1	18
	Caltrac	3,0	16
	Flex	2,9	17
	KESKIARVO	3,0	17
11 KOETTA V. 2014-2016			
	minimi	3,7	21
	maksimi	6,0	45

Taulukko 18. Kauppakelpoisen sadon osuus (% varastoinnin jälkeisestä bruttopainosta) varastoinnin ja kauppakunnostuksen jälkeen.

Käsittely	2016	2017
ei lehtil.	76	61
Caltrac	80	66
Flex	74	66

5.2.2. Jäävuorisalaatti

Toteutus v. 2016

Kokeen päätavoitteena oli mitata typpilannoituksen määrän ja ajoituksen vaikutusta salaatin satoon, mikä liittyy PuutarhaNP-hankkeeseen (Suojala-Ahlfors 2017). Lisäksi kokeessa tutkittiin Ca-lisäyksen ja biostimulanttien vaikutusta satoon ja sen laatuun. Kokeessa oli kahdeksan käsittelyä (Taulukko 19).

Taulukko 19. Lannoituskäsittelyt jäävuorisalaattikokeessa Piikkiössä v. 2016.

Käsittely	Koodi	N keväällä (kg/ha)	Lisätty N (kg/ha, pvm)	Ca (kg/ha)	Erityistä
1	N0	0	0	41	
2	N50	50	0	41	
3	N100	100	0	41	
4	N130	100	30 (27.6.)	41	lisä-N kalenterin mukaan
5	Ngreen	100	30 (14.7.)	41	lisä-N GreenSeeker-mittausten mukaan
6	Nmaa	100	30 (30.6.)	41	lisä-N maan liukoisen typen mukaan
7	Flex	100+22	0	41	100 kg/ha N rakeisena; 22 kg/ha N and 19 kg/ha Ca nestemäisenä (Flex CaN)
8	Bio	100	0	41	viikoittainen käsittely biostimulanteilla/hivenlannoitteilla

Maalaji oli multava hietamoreeni, jossa Ca-luku oli tyydyttävä (1 800 mg/l). Koalueelle levitettiin Yaran Hivenravinneseosta (200 kg/ha), jossa kaikille koeruuuduille tuli kalsiumia 22 kg/ha. Lisää kalsiumia annettiin rakeisena lannoitteena (Yara Kalsiumravinne) muihin ruutuihin, paitsi Flex-käsittelyyn, jossa lisättiin 19 kg/ha kalsiumia nestemäisenä lannoitteena. Kalsiumin kokonaismäärä oli siten 41 kg/ha kaikissa käsittelyissä. Myös muita ravinteita kuin typpeä annettiin samat määrät kaikille käsittelyille.

Rakeiset lannoitteet levitettiin käsin koeruuuihin ja muokattiin maahan jyrsimällä. Flex CaN -lannoite levitettiin maanpintaan noin 3 cm etäisyydelle rivistä. Biostimulantit (useita eri Coda-tuotteita) annosteltiin 0,5 % vahvuisina liuksina joko maahan tai lehdille erillisen ohjelman mukaisesti viikoittain. Typpeä lisättiin kasvun aikana käsittelyissä 4, 5 ja 6 levittämällä suomensalpietaria. Lisälannoitus ajoitettiin käsittelyssä 4 ”kalenterin mukaan” ajoissa eli noin kolme viikkoa istutuksen jälkeen. Käsittelyssä 5 seurattiin kasvuston tyypitilaa (normalisoitu kasvillisuusindeksi = NDVI) Trimblen GreenSeeker-mittarilla ja lannoitus ajoitettiin vaiheeseen, jossa N50-käsittelyn NDVI-lukemat jäivät jälkeen N100-käsittelystä. Käsittelyssä 6 mitattiin maan liukoisen typen määrää Merckin Reflectoquant nitraatti- ja ammoniumtesteillä käyttäen 0,025 M kaliumkloridia uuttoliuksena. Lisälannoitus tehtiin typen määrän laskettua alle tason 40 kg/ha.

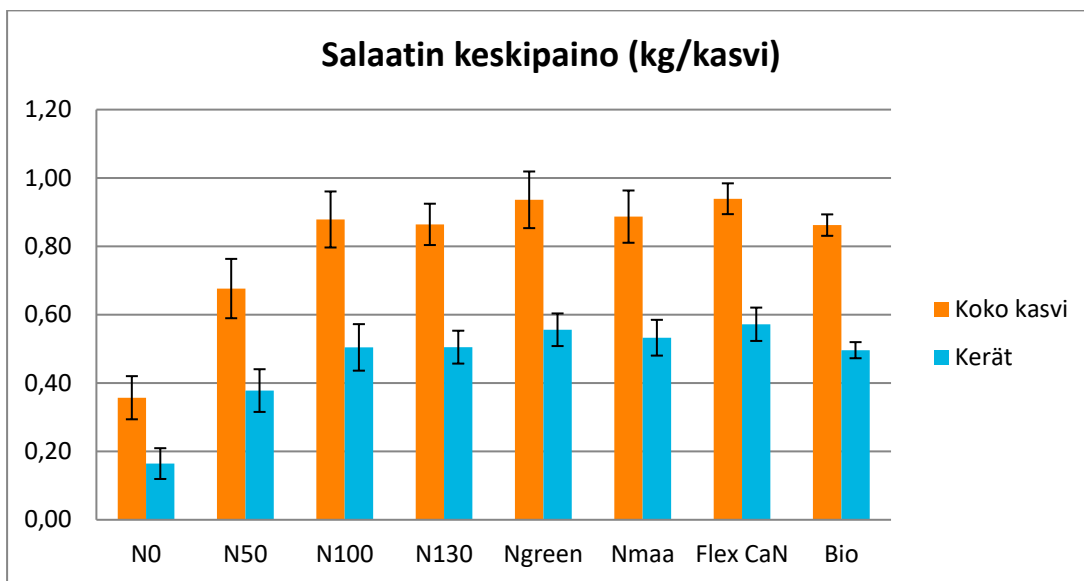
Kokeessa viljeltiin salaattilajiketta Skindel. Taimet istutettiin 8.6. ja sato korjattiin 26.–28.7. Koeruudun koko oli 2,45 m x 5 m. Ruutu sisälsi kolme koeriviä, joissa oli 50 tainta (istutusetäisyys 30 cm), sekä 12 suojatainta niiden molemmin puolin. Koemalli oli satunnaistettujen täydellisten lohkojen koe, jossa oli neljä lohkoa.

Sato mitattiin ruudun kolmesta koerivistä kolmen metrin matkalta. Kasvien paino punnittiin ulkolehtineen, minkä jälkeen eroteltiin kauppakelpoiset ja kauppakelvottomat kerät, jotka punnittiin erikseen. Kuudesta kasvusta/ruutu otettiin näytteet kuiva-ainemäärityksiin, jotka tehtiin erikseen keristä ja ulkolehdistä. Keristä otettiin myös näytteet nitraattipitoisuuden määrittämiseksi, jotka tehtiin pakastetuista näytteistä. Nitraattipitoisuus mitattiin pikamenetelmällä (Horiba Laquatwin B-741). Osa näytteistä analysoitiin vertailun vuoksi myös laboratorioissa (Novalab Oy). Kuivatuista näytteistä määritettiin Luken Jokioisten laboratorioissa typen ja kivennäisravinteiden pitoisuudet.

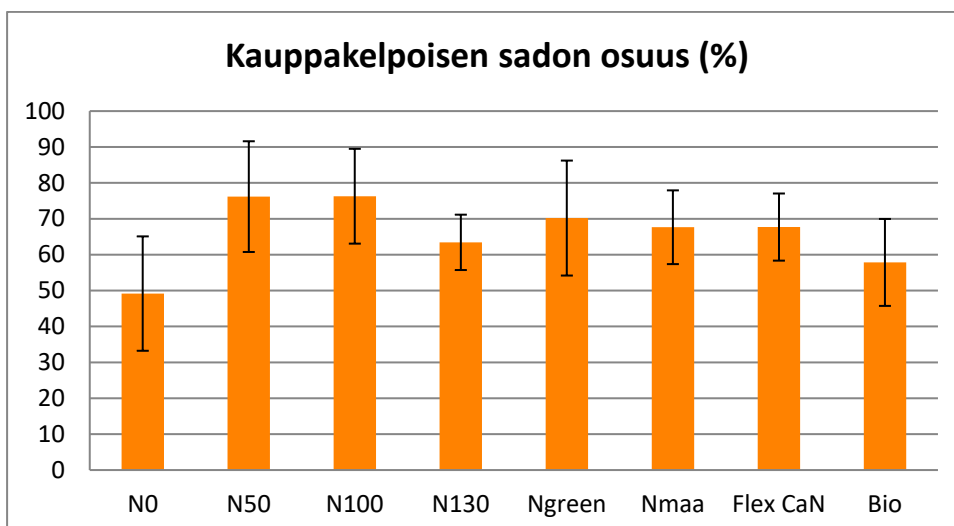
Tulokset v. 2016

Sato korjattiin kolmena peräkkäisenä päivänä 26.–28.7., kunakin päivänä 1-2 lohkoa. Kerien tiivys oli yleensä riittävä, mutta kokonaan ilman typpilannoitusta viljellyissä ruuduissa kerät olivat huonosti kehittyneet. Monissa ruuduissa taimia kuoli viimeisinä kasvuviikkoina, ilmeisesti juuristoa vioittaneiden toukkien takia. Keskimäärin puuttuvia taimia oli yksi/ruutu, mutta koska puuttuvien taimien määrä vaihteli ruuduittain, tulokset on esitetty painoina kasvia kohti, eikä pinta-alaa kohti.

Sato oli pienin typpilannoituksella 0 tai 50 kg/ha (Kuvat 18 ja 19). Muiden käsittelyiden välillä ei ollut selviä eroja kasvien massassa. Kauppakelpoisen sadon osuus vaihteli suuresti ruutujen välillä, siten lannoituskäsittelyn vaikutus ei ollut selvä. Vain N0-käsittelyssä kauppakelpoinen osuus oli selvästi pienin (Kuva 19), mikä johtui pienten kerien suuresta määrästä.

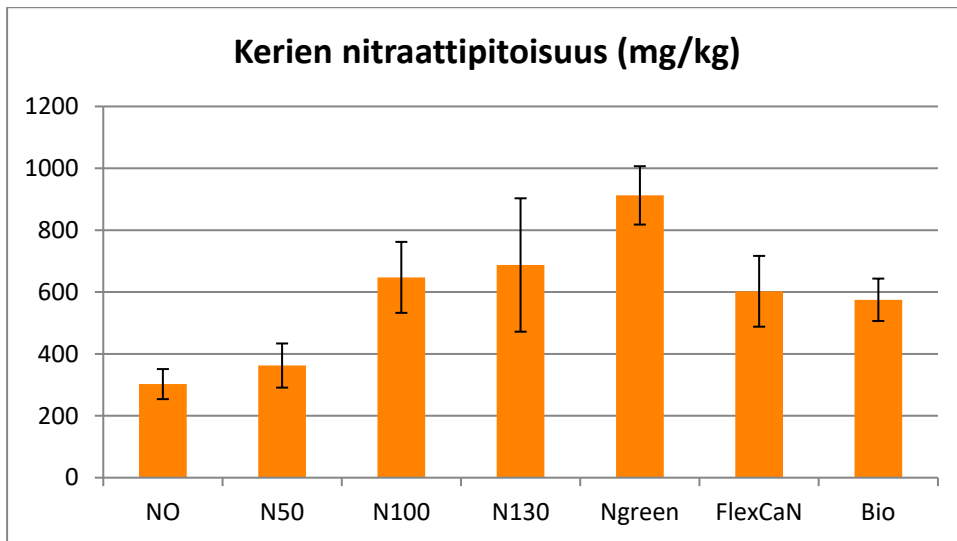


Kuva 18. Salaattien keskipainot ja -hajonnat (koko kasvi ja kerät, n=4) eri käsittelyissä.



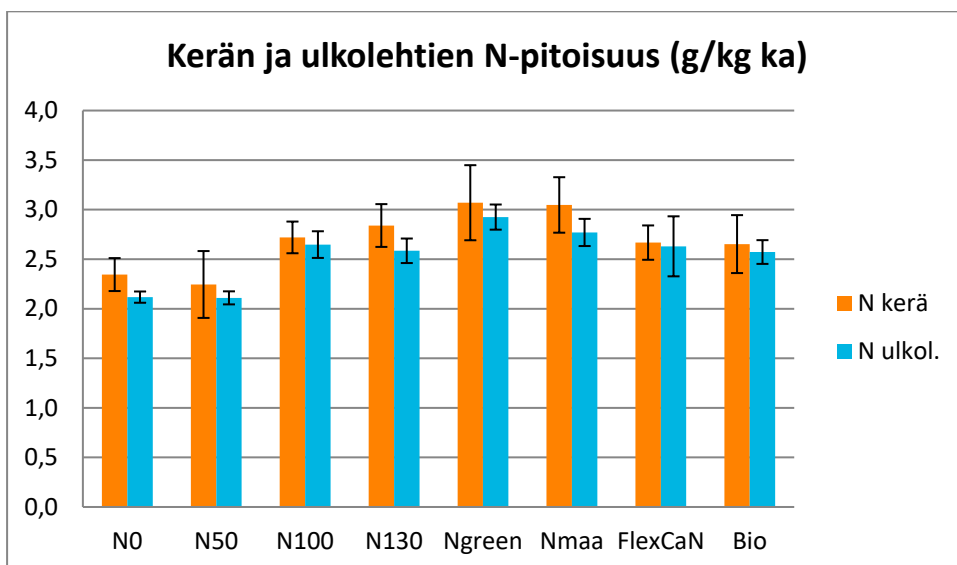
Kuva 19. Kauppakelpoisten kerien osuus (% kerien kokonaispainosta). Jana kuvaa keskihajontaa (n=4).

Kerien nitraattipitoisuus nousi typpilannoituksen lisääntyessä (Kuva 20). Korkein pitoisuus mitattiin Ngreen-käsittelyssä, jossa lisälannoitus tehtiin myöhemmin kuin muissa käsittelyissä eli noin 2 viikkoa ennen korjuuta. Vertailu laboratoriomittauksiin osoitti, että pikamittaus antoi 20–40 % korkeammat tulokset kuin laboratorioanalyysi.

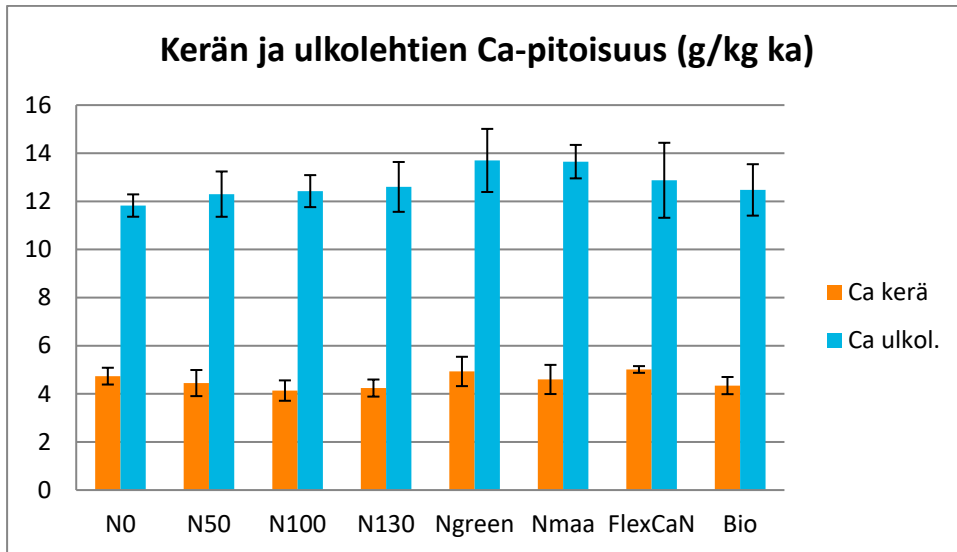


Kuva 20. Kerien nitraattipitoisuus (\pm keskihajonta, $n = 4$) sadonkorjuun aikaan. Pitoisuudet on määritetty Horiba-mittarilla.

Kerien ja ulkolehtien N-pitoisuudet vaihtelivat N-lannoituksen mukaan (Kuva 21). Käsittelyissä N0 ja N50 pitoisuudet olivat samaa tasoa. Ca-pitoisuudet olivat korkeimmat käsittelyissä FlexCaN ja Ngreen ja matalimmat käsittelyissä N100 ja N130 (Kuva 22), tosin erot käsittelyiden välillä olivat pieniä. Ulkolehdissä Ca-pitoisuudet olivat hieman muita suurempia käsittelyissä Ngreen ja Nmaa (Kuva 22).

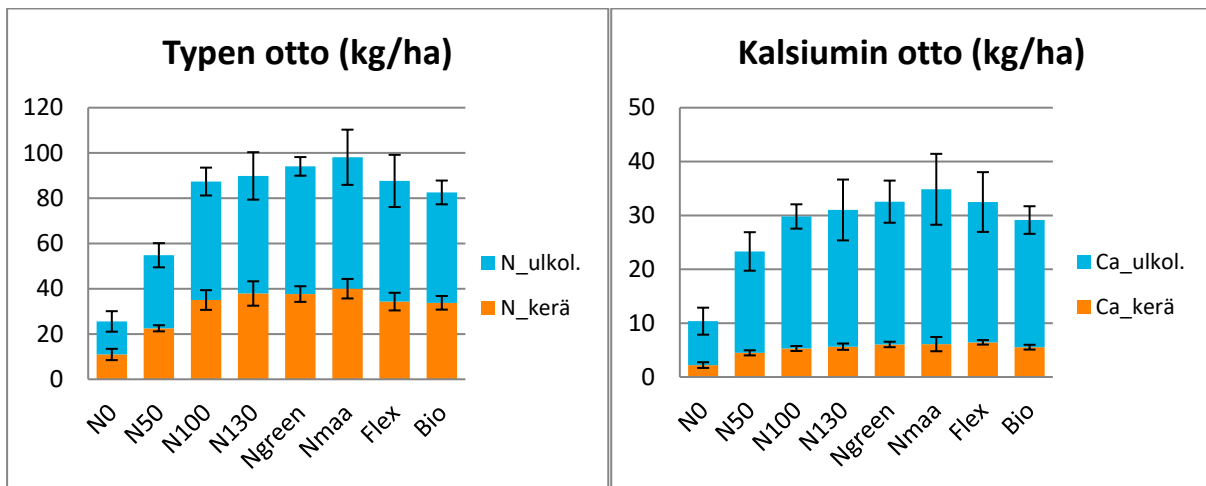


Kuva 21. Kerien ja ulkolehtien typpipitoisuus eri käsittelyissä (\pm keskihajonta, $n=4$).



Kuva 22. Kerien ja ulkolehtien kalsiumpitoisuus eri käsittelyissä (\pm keskihajonta, $n = 4$).

Ravinteiden ottomäärät laskettiin kuiva-ainesadon ja ravinnepitoisuuksien perusteella. Noin 40 % typestä oli kerissä, mutta vain 20 % kalsiumista sijoittui keriiin (Kuva 23). Typen kokonaisotto (maanpäällisiin kasvinosiin) oli 85–100 kg/ha ja kalsiumin kokonaisotto 30–35 kg/ha käsittelyissä, joissa lannoitetyypeä annettiin 100–130 kg/ha. Nestemäisen Ca-lannoitteen sijoittaminen lähelle taimiriviä ei lisännyt kalsiumin ottoa verrattuna muihin käsittelyihin, vaikka kerien kalsiumpitoisuus olikin hieman korkeampi.



Kuva 23. Typen ja kalsiumin otto kerissä ja ulkolehdissä (\pm keskihajonta, $n = 4$).

Toteutus v. 2017–2018

Vuosien 2017–2018 kenttäkokeessa oli viisi eri käsittelyä (Taulukko 20). Rakeinen Ca-lannoite oli Yaran Kalsiumravinne, joka sisälsi kalsiumia 21 %. Nestemäinen kalsiumlannoite oli Flex CaN -tuote, joka levitettiin 1–2 viikkoa istutuksen jälkeen taimiriviin. Kaliumlisäys-käsittelyssä annettiin ylimääräinen annos kaliumsulfaattia peruslannoituksessa. Bio-käsittely sisälsi neljä käsittelyä Coda-biostimulanteilla, jotka levitettiin maahan 1 % vahvuuisena liuoksena 1–5 viikon kuluttua istutuksesta. Kaikille käsittelyille annettiin kasvuajan puolivälissä lisätynpeä 17 kg/ha.

Kokeet ajoitettiin keskikesään, jolloin kasvuolot ovat yleensä haastavimmat salaatin laadun kannalta. Skindel-lajikkeen taimet istutettiin 15. kesäkuuta molempina vuosina ja sadonkorjuu ajoittui heinä-elokuun vaihteeseen.

Koepaikan maalaji oli runsasmultainen karkea hieta, pH 6,3. Kalsiumpitoisuus maassa oli tyydyttävä (1 450 mg/l) vuonna 2017 ja välttävä (1 100 mg/l) vuonna 2018. Kaliumpitoisuus oli tyydyttävässä viljavuusluokassa (140 mg/l). Muut viljavuustiedot on annettu liitteessä 1.

Koemalli oli satunnaistettujen täydellisten lohkojen koe, jossa oli vuonna 2017 neljä lohkoa ja vuonna 2018 viisi lohkoa. Koeruudun koko ja istutusetäisyydet olivat samat kuin fosforilannoituskokeissa. Sadonkorjuu, näytteiden käsittely ja ravinneanalyysit tehtiin kuten fosforilannoituskokeessa. Tilastollisessa analyysissä muita käsittelyjä verrattiin kontrolliin.

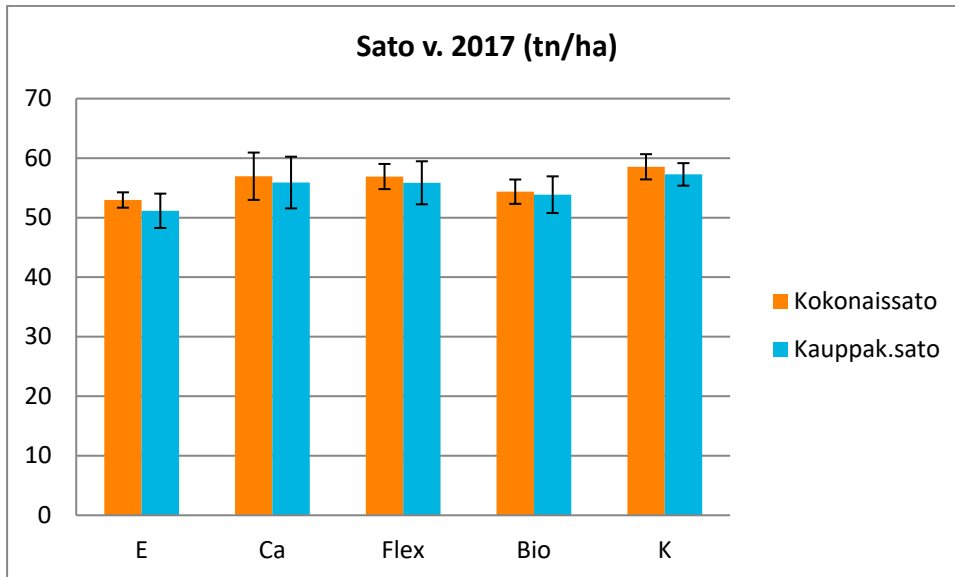
Taulukko 20. Lannoituskäsittelyt salaatin Ca-lannoituskokeissa vuosina 2017–2018.

Koodi	Käsittely	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)
E	ei Ca-lisää	100	25	100	0
Ca	rakeinen Ca-ravinne	100	25	100	42
Flex	FlexCaN	100	25	100	19
Bio	biostimulanttikäsittelyt	100	25	100	0
K	K-lisäys	100	25	180	0

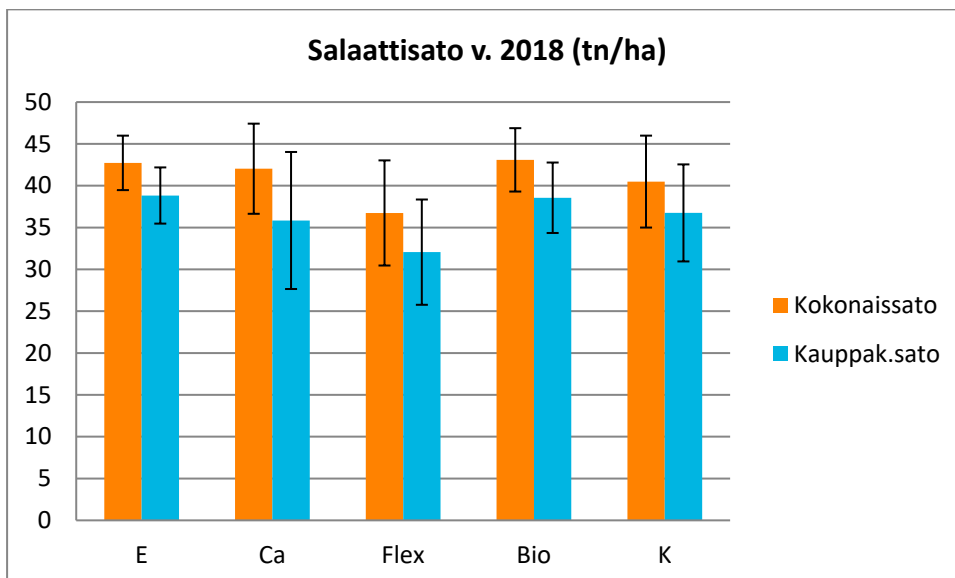
Tulokset v. 2017–2018

Vuonna 2017 kaikki käsittelyt tuottivat korkean ja hyvälaatuisen sadon (Kuva 24). Kauppakelpoisen sadon osuus oli 97–99 % kokonaissadosta. Keräsato vaihteli käsittelyittäin ($p=0,042$): Ca-lisäykset joko rakeisella tai nestemäisellä lannoitteella sekä K-lisäys tuottivat 7–10 % korkeamman sadon kuin kontrolli. Biostimulanttikäsittelyt tuottivat samanlaisen sadon kuin kontrolli.

Vuonna 2018 sää oli keskikesällä erittäin lämmin, ja sato jäi jonkin verran heikommaksi kuin vuoden 2017 kokeessa ja käsittelyn sisäistä vaihtelua oli tuloksissa runsaasti, vaikka koelohkojen määrää oli lisätty viiteen (Kuva 25). Kauppakelpoisen sadon osuus oli 85–91 %. Lannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi kokonaissadon määrään ($p=0,099$) tai kauppakelpoisen sadon määrään ($p=0,21$), vaikka Flex-käsittely tuotti muita pienemmän sadon.



Kuva 24. Kokonais- ja kauppakelpoinen sato (\pm keskihajonta, $n = 4$) eri käsittelyissä v. 2017.



Kuva 25. Kokonais- ja kauppakelpoinen sato (\pm keskihajonta, $n = 4$) eri käsittelyissä v. 2018.

Flex-lannoite nosti vuonna 2017 hieman kasvuston Ca-pitoisuutta, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 21). Kaliumlisä nosti ulkolehtien K-pitoisuutta mutta ei vaikuttanut kerien pitoisuuteen. Se alensi hieman kerien Ca-pitoisuutta, mutta vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kerien sisältämä kalsiumin määrä oli kuitenkin suurin Ca-lannoitetuissa käsittelyissä. Vuonna 2018 lannoitus ei vaikuttanut kasvuston Ca-pitoisuuksiin, mutta kaliumlisä nosti kerien ja ulkolehtien K-pitoisuutta.

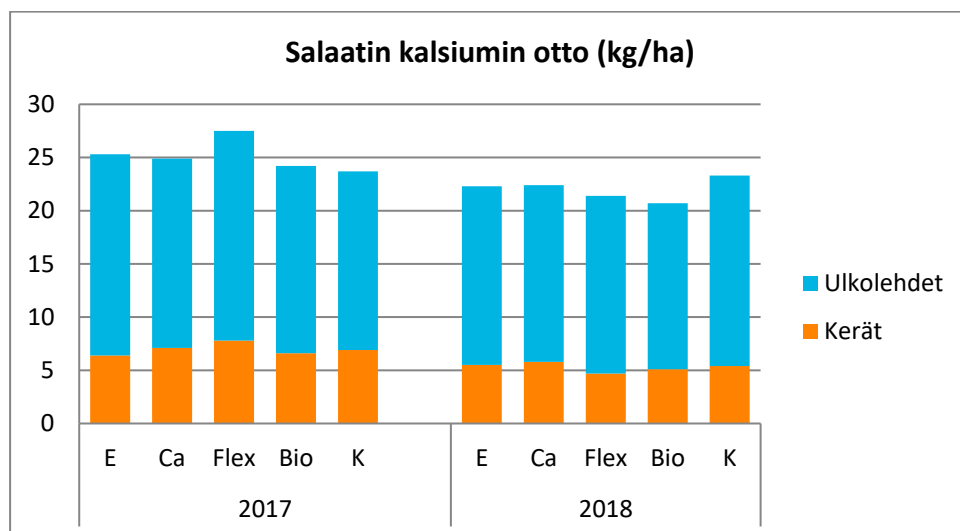
Käsittelyt eivät pääsääntöisesti vaikuttaneet muiden ravinteiden pitoisuuksiin kasvustossa. Vuoden 2017 kokeessa havaittiin, että mangaanipitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi muita korkeammat kaliumlisän saaneissa käsittelyissä. Kerien Mn-pitoisuus oli kaliumlisäyäkäsittelyssä 69 mg/kg kuiva-ainetta, kun muissa käsittelyissä se vaihteli välillä 49–55 mg/kg. Ulkolehtien pitoisuus oli kaliumkäsittelyssä 158 ja muissa käsittelyissä välillä 94–116 mg/kg kuiva-ainetta. Vuoden 2018 kokeessa ei vastaavaa eroa havaittu.

Maanpäälliset kasvinosat sisälsivät kalsiumia yhteensä 21–27 kg/ha (Kuva 26). Flex-käsittelyn pienempi kasvuston massa vuonna 2018 aiheutti sen, että kasvuston Ca-otto oli muita pienempi Flex-

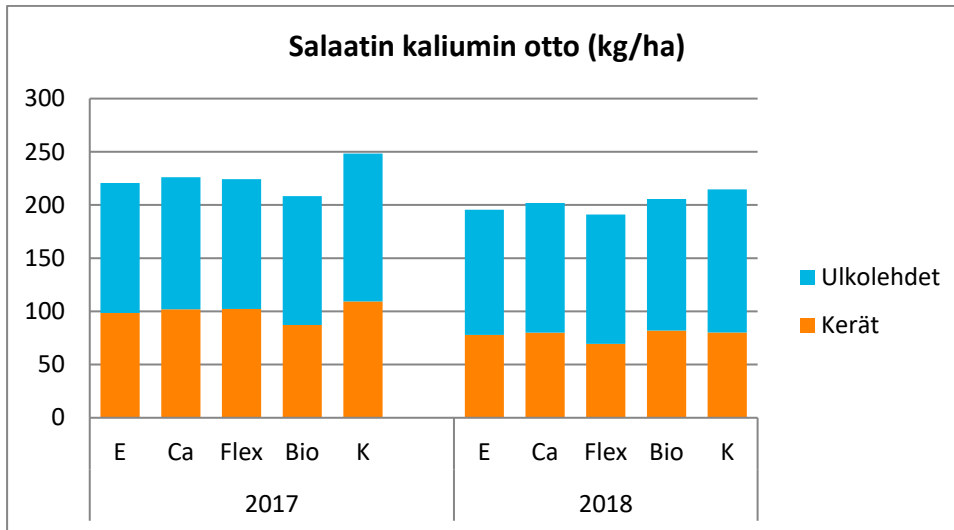
käsittelyssä. Kaliumin otto oli 190–250 kg/ha, ja kaliumlisä suurensi kasvuston kaliumin ottoa etenkin vuonna 2017 (Kuva 27).

Taulukko 21. Ca- ja K-pitoisuudet salaatin kerissä ja ulkolehdissä vuosien 2017 ja 2018 kokeessa.

Koodi	Ca-pitoisuus (g/kg ka)		K-pitoisuus (g/kg ka)	
	Kerät	Ulkolehdet	Kerät	Ulkolehdet
2017				
E	4,39	12,2	66,4	78,6
Ca	4,49	11,3	64,4	78,9
Flex	4,93	13,1	64,8	81,2
Bio	4,34	11,0	57,4	75,5
K	4,23	11,1	67,6	92,0
<i>p-arvo</i>	<i>0,128</i>	<i>0,085</i>	<i>0,178</i>	<i>0,023</i>
2018				
E	3,76	15,0	53,0	105,4
Ca	4,00	14,5	55,3	105,5
Flex	3,96	14,9	57,7	107,8
Bio	3,73	14,5	55,5	108,8
K	3,95	14,8	63,1	117,6
<i>p-arvo</i>	<i>0,33</i>	<i>0,90</i>	<i>0,047</i>	<i>0,069</i>



Kuva 26. Salaatin kalsiumin otto lannoituskokeissa vuosina 2017 ja 2018.



Kuva 27. Salaatin kaliumin otto lannoituskokeissa vuosina 2017 ja 2018.

5.2.3. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Keräkaalikokeissa lehtilannoitus Ca-pitoisella lannoitteella lisäsi satoa ensimmäisenä vuonna, mutta ei toisena vuonna. Tulokset on saatu kaistakokeesta ilman aitoja toistoja, joten niihin voi vaikuttaa myös peltolohkon ominaisuuksien muuttuminen koealueen sisällä. Kasvuston ravinnepitoisuuksiin käsitteletyt eivät juuri vaikuttaneet. Koelohkolla pH oli alhainen kalkituksesta huolimatta, joten kalkituksella voitaisiin yhä lisätä peltoon kalsiumia.

Myös maan ravinnesuhteisiin kannattaa kiinnittää huomiota ja pyrkiä korjaamaan niitä ennen vihannesten viljelyvuotta. Lehtikaalilla liuosviljelyssä tehdyssä tutkimuksessa (Kopsell ym. 2013) havaittiin, että Ca:Mg-suhteen laskiessa kasvin tuoremassa pieneni, Ca-pitoisuus laski ja Mg-pitoisuus nousi – tosin vaikutukset eivät olleet vielä kovin selviä suhdeluvun laskettua yhdeksästä kolmeen. Myös tämän hankkeen koepellolla oli Ca:Mg-suhde toisena koevuonna varsin matala, mikä saattoi heikentää kalsiumin ottoa.

Keräkaalikokeen taustalla oli kiinnostus siihen, voidaanko lehtilannoituksilla vaikuttaa sadon säilyvyyteen varastossa. Havaitut vaikutukset olivat varsin pieniä, mutta etenkin vuoden 2017 kokeessa lehtilannoitetuista koejäsenistä saatiin hieman suurempi kaupakelpoisen sadon osuus kevättalven analyysissä. Aineiston pienuuden vuoksi tarvitaan lisää koetuloksia käytännön viljelyoloista, jotta vaikutusta varastokestävytyteen voidaan luotettavasti arvioida.

Salaattikokeiden tulokset osoittavat, että jäävuorisalaatin ravinteiden ottoon voidaan vaikuttaa lannoituksella. Vuoden 2016 kokeessa suurin vaikutus havaittiin odotetusti typpilannoituksella. Myös kaliumin otto lisääntyi jonkin verran vuosien 2017 ja 2018 kokeissa, kun kaliumlannoitusta lisättiin. Lisääntynyt kaliumin saanti ei kuitenkaan haitannut muiden ravinteiden, kuten kalsiumin ottoa. Vuoden 2017 kokeessa suurempi kaliumlannoitus vaikutti lisännen kasvuston mangaanipitoisuutta. Salaatin kalsiumin ottoon rakeinen tai nestemäinen kalsiumlannoite ei kovin selkeästi vaikuttanut, joskin kaliumlannoitus lisäsi hieman kasvuston kalsiumpitoisuutta.

Vaikka kokeiden tavoitteena ei ollut niinkään tutkia lannoituksen vaikutusta sadon määrään, vuonna 2017 havaitsimme myös Ca- ja K-lannoituksen lisännen salaatin satoa. Odotettu vaikutus laatuun ei tullut selvästi esiin, sillä etenkin vuonna 2017 sadon laatu oli erittäin hyvä.

Kokeissa mitatut salaatin kerien kalsiumpitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin aiemmin on raportoitu lehti-, rooman- ja keräsalaateilla tehdyissä kokeissa (Meagy ym. 2013, Yuan ym. 2018). Kasvustot

eivät siis näyttäneet kärsivän kalsiumin puutteesta. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että lehtisalaattien kalsiumpitoisuus on yleensä korkeampi kuin keräsalaattien, mikä voi liittyä esimerkiksi vähäisempään veden haihduntaan tiiviissä kerässä ja näin haihduntavirtausten mukana liikkuvan kalsiumin heikompaan kulkeutumiseen kerän sisälle (Yuan ym. 2018). Lehtisalaateissa lehdenreunapoltetta esiintyi vähemmän kuin muissa salaattityypeissä (Meagy ym. 2013). Lajikkeiden välillä on todettu olevan suuriakin eroja kalsiumpitoisuuksissa ja kalsiumin otossa, ja lisäämällä kalsiumlannoitusta joko kastelutai lehtilannoituksella on pystytty kalsiumpitoisuutta nostamaan jonkin verran (Meagy ym. 2013, Yuan ym. 2018).

Inthichackin ym. (2013) tutkimuksessa todettiin, että kaliumlannoituksen lisääminen astiakokeessa nosti keräkaalin, sellerin ja salaatin kaliumpitoisuutta ja laski jonkin verran kalsiumin ja magnesiumin pitoisuutta kasvissa. Kasvualustan kaliumpitoisuuden lisääminen lisäsi lehdenreunapoltteen esiintymistä, etenkin käytettäessä kaliumsulfaattia kaliumkloridiin verrattuna. Keräkaalilla lehdenreunapoltetta ei Inthichackin ym. (2013) tutkimuksessa havaittu, vaikka keräkaalin sisälehtien Ca-pitoisuus oli matalampi kuin salaatin lehdissä.

Vaikka lannoituksella voidaan jossain määrin säädellä eri ravinteiden ottoa, maaperän ominaisuuksilla ja sääoloilla on kuitenkin suurempi vaikutus. Maan kasvukuntoon (kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet) tulisi panostaa viljelykierron aikana, ja ravinnetilaa korjata haluttuun suuntaan jo ennen vihannesten viljelyvuotta. Riittävä kalkitus on perusmenetelmä kalsiumtilan kohentamiseen, jos se on maan happamuuden puolesta mahdollista. Samoin riittävän veden saannin turvaaminen on erityisen tärkeää kalsiumin kulkeutumisen varmistamiseksi, koska kalsium liikkuu kasvissa haihduntavirtauksen mukana.

Biostimulantit eivät vaikuttaneet sadon määrään, laatuun tai ravinnepitoisuuksiin kolmena vuonna tehdyissä kokeissa. Biostimulanttien on havaittu edistävän ravinteiden ottoa ja kohentavan tuotteiden laatua etenkin stressitilanteissa. On mahdollista, että positiivisia vaikutuksia havaitaan Suomenkin viljelyoloissa erityisesti epäedullisissa kasvuolosuhteissa.



Kuva 28. Salaatin kalsiumlannoituskokeen sadonkorjuu alkamassa 1.8.2018. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors.

5.3. Vihannesviljelmien ravinnetilan seuranta

5.3.1. Seurantapaikat

Vihannesviljelmien ravinnetilaa seurattiin hyödyntämällä erilaisia maa- ja kasvianalyysijä. Seuranta tehtiin tässä hankeessa järjestetyissä kenttä- ja tilakokeissa ja muissa Luken vihanneskokeissa (mm. porkkanan varastotautikartoituksessa mukana olleet peltolohkot). Kenttä- ja tilakokeiden ohella seurannassa oli myös muutamia porkkana- ja salaattiviljelmiä. Eri analyysit on esitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa.

5.3.2. Menetelmät

Viljavuusanalyysit maasta

Maan viljavuusanalyysiä on Suomessa tehty samalla Vuorisen ja Mäkitien (1955) kuvaamalla menetelmällä 1950-luvulta lähtien. Sen tulkinta perustuu kattaviin kokeisiin ympäri maata ja tulosten perusteella voidaan tehdä lannoitus-suosituksia useille ravinteille. Analyysin tulkinnot lannoitustarpeesta eivät kuitenkaan kata kaikkia kasveja. Viljavuusanalyysi eroaa kaikkien naapurimaidemme menetelmistä, eikä muualla käytössä olevia suosituksia voida ottaa meillä suoraan käyttöön, vaikka naapurimaissa tehdyt suositusten päivitykset antavatkin suuntaa, millaista tietoa siellä on kertynyt.

Viljavuusanalyysi tehtiin vuosien 2014–2018 kokeissa 114 lohkolta (Taulukko 22). Samalta lohkolta yhtenä vuonna otettujen näytteiden tuloksista laskettiin keskiarvo. Aineisto jaettiin kolmeen viljelyalueeseen (Länsi-Suomi, Häme ja Savo) ja kolmeen maalajiin (karkeat kivennäismaat, savimaat ja eloperäiset maat). Varastoravinteiden ja kationinvaihtokapasiteetin määritykset tehtiin 55 lohkolta ja hehikutushäviö sekä typen nettomineralisaatio 69 lohkolta. Kationinvaihtokapasiteetti on arvioitu laskennallisesti viljavuusuuton kationien pitoisuuksista.

Maa-analyysille laskettiin alueen ja maalajin mukainen mediaani (keskimmäinen havainto) ja 95 %:n luottamusvälit (pitoisuusalueet, joiden sisällä on 95 % havainnoista).

Taulukko 22. Peltolohkojen määrät (kpl) alueittain ja maalajeittain eri maa-analyysien osalta.

	Häme			Länsi-Suomi			Savo	
	Elop. maa	Kark. kiv.maa	Savi	Elop. maa	Kark. kiv.maa	Savi	Elop. maa	Kark. kiv.maa
Johtoluku	8	13	3	7	18	11	9	28
Viljavuus, kevät (pH, P, Ca, K, Mg, S)	8	13	3	9	25	13	9	34
Viljavuus, Cu, Mn, Zn	8	10	1	4	12	5	8	24
Viljavuus, B	8	9	1	4	12	5	5	19
Varastoravinteet (P, Ca, K, Mg)	8	7	1	4	7	1	8	19
Kationinvaihtokapasiteetti, KVK	6	9	3	5	10	6	5	14
Kationien osuudet	6	9	3	5	9	5	5	13
Hehikutushäviö % ja typen nettomineralisaatio mg/kg	8	9	3	7	8	3	8	23

Viljavuusanalyysin rinnalla tehdään myös suomalaisissa laboratorioissa määrittämiä muillakin menetelmillä. Esimerkkeinä näistä ovat reservikaliumin ja -fosforin määrittäminen, joilla voidaan jossain tapauksissa tarkentaa lannoitusta. Uutena menetelmänä on viljelijöiden käyttöön tarjolla kationinvaihtokapasiteetin määrittäminen, joka voidaan myös arvioida laskennallisesti viljavuus-kationien pitoisuudesta ja maan happamuudesta. Maan orgaanisen aineksen määrittämiseen on valittavissa hehkutuskevennys, jossa maanäytteen orgaaninen aine poltetaan näytteestä. Typen vapautumiskapasiteetti on myös uusi menetelmä, joka perustuu NIR-analyysiin ja verrannäytteisiin. Hankkeen aikana oli käytössä myös ns. maan ravinnetilä-analyysi, jossa kasvukaudella otetuista näytteistä määritettiin liukoiset ravinteet 0,018 M ammoniumasetaattiliuoksella (ns. Spurway-analyysi). Tämä analyysi on poistunut Eurofins Agron tarjolla olevasta valikoimasta vuonna 2018.

PRS probes

Plant Root Simulator (PRS) on kanadalaisen WesternAg -yhtiön tuottama palvelu, jossa yhtiö toimittaa muovitikkuihin prässättyjä ioninvaihtohartsikalvoja ja analysoi käytön jälkeen niiden keräämien ravinteiden määrän. Tikut painetaan maahan, josta ioninvaihtohartsit pidättää maaveteen liuenneita ravinteita sen ajan, kun hartsit on maakontaktissa. Käytön jälkeen tikut pestään ja lähetetään Kanadaan, josta analyysitulokset saapuvat sähköpostitse MSEXcel-tiedostona (Kuva 29).

PRS(tm)-probe supply rate (micro grams/10cm2/burial length)																					
WAL #	Sample ID	Burial Date	Retrieval Date	# Anion	# Cation	Notes	NO3-N	NH4-N	Ca	Mg	K	P	Fe	Mn	Cu	Zn	B	S	Pb	Al	Cd
Method Detection Limits (mdl):																					
162684	1	05-May-2017	15-May-2017	4	4	P0	163	21	1253	301	101	0,8	25,3	3,0	2,00	1,12	0,31	120	0,13	6,7	0,00
162685	2	05-May-2017	15-May-2017	4	4	P0	218	35	1042	193	71	0,8	28,0	1,6	1,13	0,70	2,59	120	0,07	20,5	0,00
162686	3	05-May-2017	15-May-2017	4	4	P0	194	7	1593	388	52	1,5	50,1	1,9	2,46	0,58	1,32	157	0,31	12,8	0,00
162687	4	05-May-2017	15-May-2017	4	4	P60	213	10	1311	358	76	5,2	48,0	3,8	5,46	2,33	0,72	254	0,15	11,0	0,00
162688	5	05-May-2017	15-May-2017	4	4	P60	125	14	908	198	92	2,9	11,7	1,8	0,81	0,56	0,69	93	0,00	10,4	0,00
162689	6	05-May-2017	15-May-2017	4	4	P60	153	14	1156	289	89	1,8	33,0	2,7	2,48	0,90	0,96	184	0,22	13,8	0,00
162690	7	15-May-2017	22-May-2017	4	4	P0	246	16	1126	264	64	0,0	35,9	2,7	1,93	0,95	0,20	134	0,07	8,7	0,00
162691	8	15-May-2017	22-May-2017	4	4	P0	146	12	1149	237	65	1,2	26,4	3,2	0,94	0,58	0,08	90	0,02	8,9	0,00
162692	9	15-May-2017	22-May-2017	4	4	P0	167	5	1283	327	72	0,4	45,9	4,2	2,10	0,86	0,59	104	0,05	11,6	0,00
162693	10	15-May-2017	22-May-2017	4	4	P60	229	15	1027	280	99	4,4	42,1	3,8	3,22	0,73	0,63	260	0,08	11,2	0,00
162694	11	15-May-2017	22-May-2017	4	4	P60	163	7	763	191	152	5,9	31,5	2,1	0,91	0,46	0,58	97	0,08	12,7	0,00
162695	12	15-May-2017	22-May-2017	4	4	P60	92	14	1305	331	106	4,0	26,8	2,0	2,32	0,64	0,26	140	0,12	10,2	0,00

Kuva 29. Esimerkki PRS-analyysistä saadusta tulostaulukosta. Sinisellä merkityt pitoisuudet ovat pienempiä kuin analyysin havaitsemisraja, eli alkuainetta ei voida luotettavasti sanoa löytyneen.

PRS-tikkujen hyvä puoli on samassa analyysissä saatava monipuolinen valikoima liukoisena esiintyviä pää- ja hivenravinteita (Ca, Mg, K, NO₃-N, NH₄-N, P, Fe, Mn, Cu, Zn, B, SO₄-S) sekä joitakin haitallisia alkuaineita (Cd, Hg, Al). Näiden pitoisuutta voidaan seurata kasvukauden edistyessä, jolloin saadaan käsitys alkuaineiden liukoisuuden dynamiikasta. Kanadassa ja USA:ssa PRS-analyysiä käytetään lähinnä lannoitustarpeen osoittamiseksi. Suomessa käytettäessä pitoisuuksille ei löydy meille soveltuvaa tulkintaa, joten käyttö viljavuustutkimuksen sijasta ei onnistu tällä hetkellä.

Tässä hankkeessa käytimme PRS-tikkuja seuraamassa salaatin fosforilannoituskokeiden kesän aikaisia maan ravinteiden liukoisuuksien muutoksia ja päähuomio oli fosforin käyttäytymisessä. Kun samaan aikaan tehtiin myös muita maa- ja kasvianalyyssejä, voitiin vertailla maaveden ravinnepitoisuuksia ja esimerkiksi kasvianalyysissä mitattuja pitoisuuksia. PRS-tikkuja laitettiin salaattikokeiden P0- ja P60-käsittelyjen koealoille, ja ne vaihdettiin viikon välein käyttämättömiin tikkuihin. Tämän lisäksi tikkuja käytettiin muutamissa tilakokeissa, missä tarkoituksena oli kerätä yleisempää tulosaineistoa eri alkuaineiden pitoisuuksien vaihteluista.

Kasvianalyysit

Kesällä lehdistä tehtyjä kasvianalyyssejä kertyi vuosien 2014–2018 aikana 455 kpl. Lehtinäytteet otettiin porkkanakasvustoista, kun naatit olivat n. 15 cm korkeita, sipulikavustoista 5-lehtivaiheessa ja

keräkaali- ja salaattikasvustoista kerimisen alkaessa. Mukulasellerin ja lantun lehtinäytteet otettiin mukulan muodostuksen alettua.

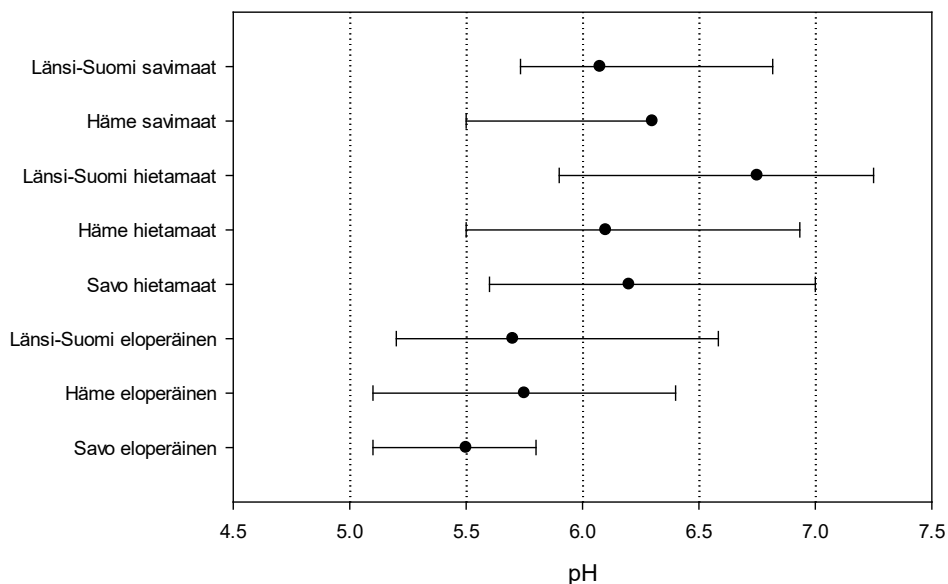
Kasvianalyysit tehtiin Eurofins Viljavuuspalvelun laboratoriossa. Tuloksista laskettiin kasvilajien ravinnepitoisuuksien jakaumat, joissa esitetään kunkin tutkitun ravinteen pitoisuuden mediaani, minimi, maksimi sekä 10:n ja 25 % osuudet. Jakaumia verrattiin Megalab™-tulokinnan antamiin ohjearvoihin.

Kesän lehtianalyysin tuloksia verrattiin koepaikan kokonaissatoon ja suhteelliseen satoon koepaikan suurimpaan satoon tai maakunnan tilastolliseen keskisatoon. Kun kokeen ruutujen satoa verrattiin koepaikan suurimpaan satotasoon, suurin sato sai arvon 100 ja muut sadot määräänsä vastaavan prosenttiosuuden. Tavoitteena oli löytää keräkaalin, porkkanan, salaatin ja sipulin kohdalla ravinteita, joiden lehtinäytteiden pitoisuudella oli yhteyttä saavutettuihin satotasoihin.

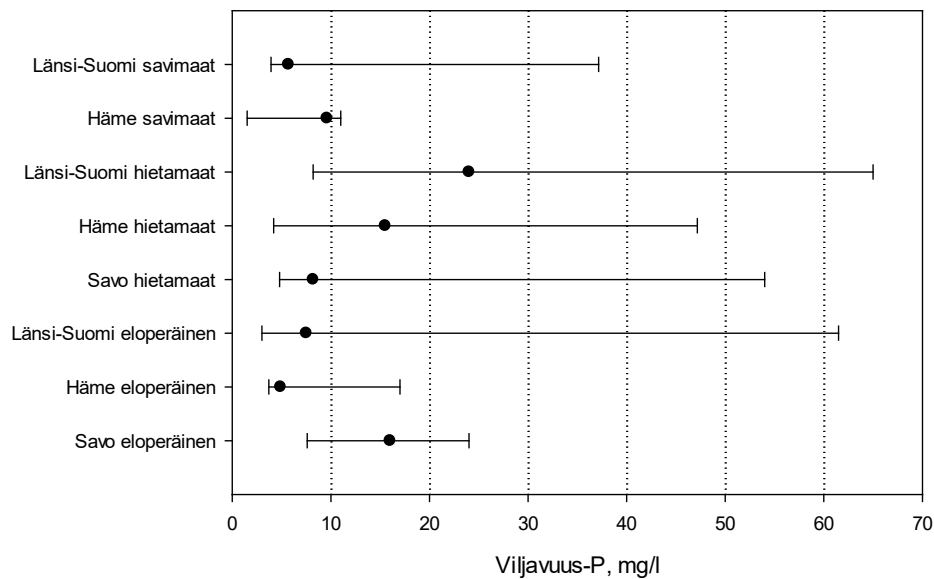
5.3.3. Tulokset

Viljavuusanalyysit

Maan pH oli koelohkoilla yleensä tyydyttävällä tai hyvällä tasolla. Matalimmat pH-arvot olivat viljavuusluokittelun mukaan kaikilla maalajeilla välttävän luokan alarajoilla (Kuva 30). Viljavuusfosforin keskimääräiset pitoisuudet olivat yleensä kunkin maalajin tyydyttävässä luokassa (Kuva 31). Matalimpia keskimääräisiä viljavuusfosforin pitoisuuksia havaittiin Hämeen eloperäisillä mailla ja Savon hietamailla. Läntisen Suomen hietamailla fosforipitoisuudet olivat keskimäärin hyvässä luokassa. Korkeita viljavuusfosforin pitoisuuksia havaittiin hietamailla kaikilla alueilla.

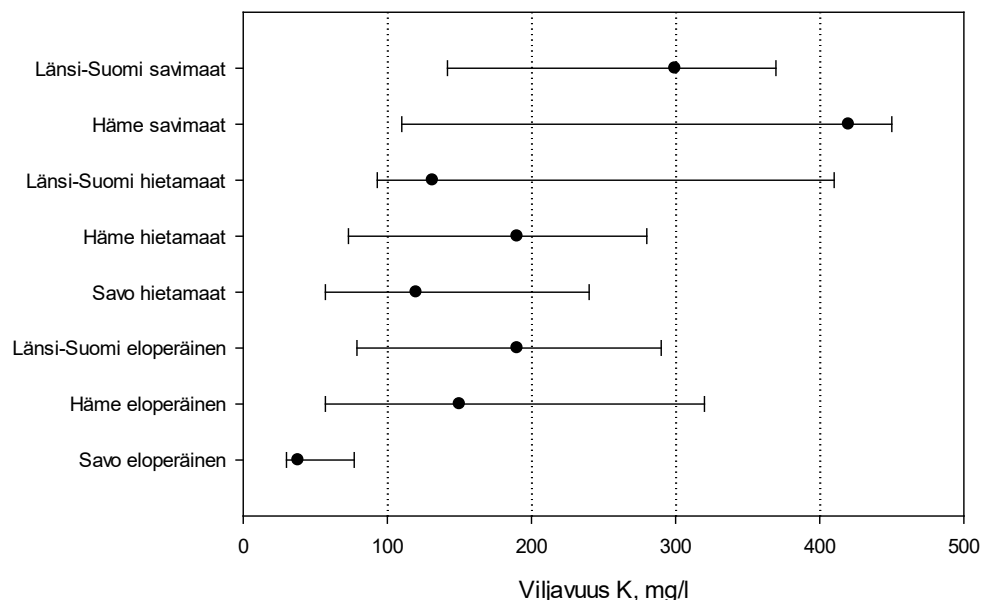


Kuva 30. Kevään viljavuusanalyysien pH-tulokset alueen ja maalajien mukaan jaettuna. Piste on määritysten mediaani ja janat kuvaavat 95 % määrää havainnoista.



Kuva 31. Kevään viljavuusanalyysien fosforitulokset alueen ja maalajien mukaan jaettuna. Piste on määritysten mediaani ja janat kuvaavat 95 % määrää havainnoista.

Savon eloperäiset maat olivat matalia kaliumpitoisuuksiltaan (Kuva 32). Muutoin koepeltojen kaliumpitoisuudet olivat tyydyttävässä tai korkeammassa viljavuusluokassa. Lähes kaikkien tutkittujen lohkojen kalsiumpitoisuudet olivat vähintään tyydyttävällä tasolla. Muutamilla eloperäisillä mailla kalsiumpitoisuudet olivat hyvin korkeita eli yli 5 000 mg/l.



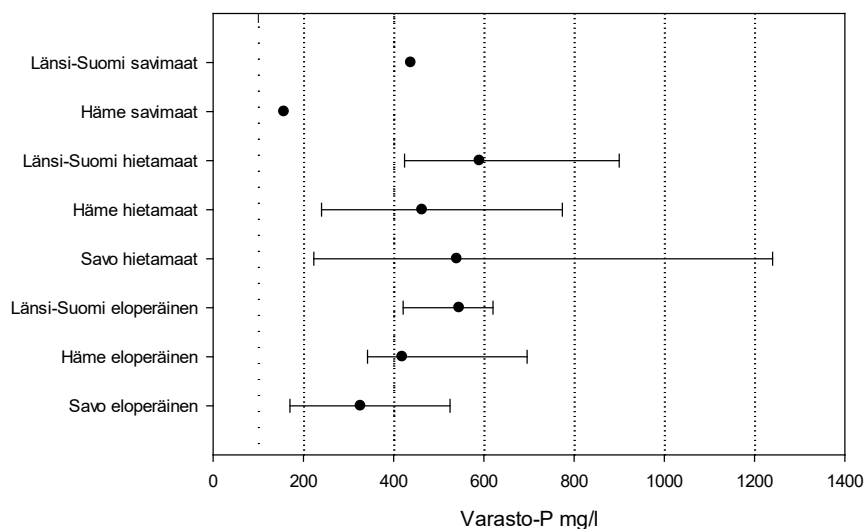
Kuva 32. Kevään viljavuusanalyysien kaliumtulokset alueen ja maalajien mukaan jaettuna. Piste on määritysten mediaani ja janat kuvaavat 95 % määrää havainnoista.

Magnesiumin osalta puolet Hämeen ja Savon hietamaiden lohkoista oli tyydyttävän viljavuusluokan alapuolella. Kationien välisten suhteiden osalta koelohkojen Mg:Ca oli lähellä tyydyttävän ja hyvän luokan rajaa, 1:10 (Eurofins 2020). Muutamien lohkojen Mg:Ca oli turhan korkea (<1:5) tai välttävä (1:20–1:40). Toinen kationien suhdeluku, Mg:K, oli monilla lohkoilla lähes 1:1, jolloin magnesiumin suhde

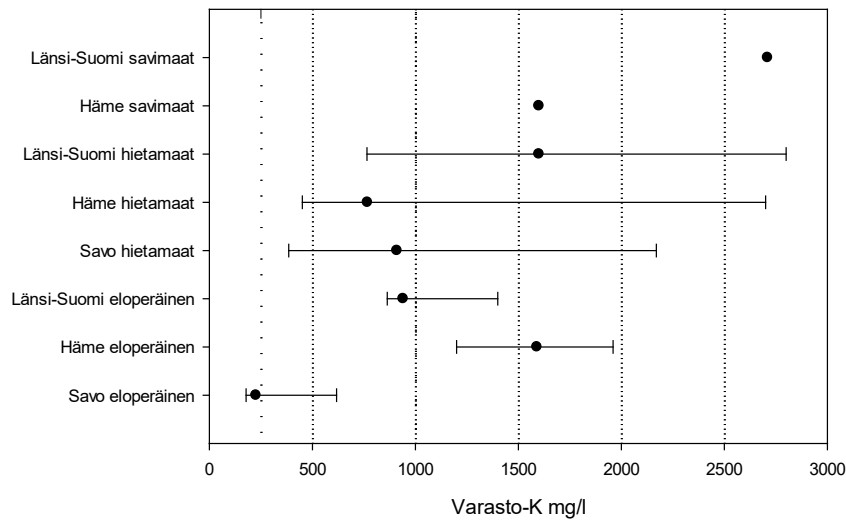
kaliumiin alkaa lähestyä korkeana pidettyä tasoa. Ainoastaan Hämeen hietamailla magnesiumin pitoisuus oli puolet tai kolmannes kaliumpitoisuudesta, mitä on pidetty tyydyttävänä tai hyvänä suhteena (Eurofins 2020).

Länsi-Suomen hietamaiden lohkoista puolet oli rikkipitoisuudeltaan huononlaisessa tai välttävässä luokassa. Booripitoisuudet olivat yleensä vähintään tyydyttävässä luokassa. Muutamia korkeita pitoisuuksia esiintyi Länsi-Suomen savimailla. pH-korjatuissa mangaanipitoisuuksissa vain eloperäiset maat erottuivat edukseen. Hieta- ja savimailla usein yli 50 % havainnoista oli välttävässä (< 25 mg/l) tai sitä huonommissa luokissa. Kuparin osalta vain Hämeen ja Savon hietamailla oli jonkin verran välttävään luokkaan (1,5–2,7 mg/l) sijoittuvia pitoisuuksia. Välttävässä tai huonommassa luokassa olevia sinkkipitoisuuksia esiintyi vain hietamailla. Arveluttavan korkeita kupari- (> 20 mg/l) tai sinkkipitoisuuksia (> 50 mg/l) aineistossa ei ollut.

Maan ravinnereservien tulokinnan pohjalta havaitaan, että Savon eloperäisillä maalajeilla suurin osa lohkoista on tyydyttävän luokan alapuolella (Kuvat 33 ja 34). Myös varastokaliumin osalta Savon eloperäisten lohkojen pitoisuudet ovat pääosin hyvin alhaiset. Myös Hämeen ja Savon hietamailla sekä Länsi-Suomen eloperäisillä mailla yli puolet tutkituista lohkoista on tyydyttävän luokan alapuolella (Kuva 34). Maan varstomagnesiumin osalta ainoastaan Savon eloperäiset lohkot jäivät osittain tyydyttävän luokan (< 1000 mg/l) alapuolelle.



Kuva 33. Maan varastofosforin pitoisuudet eri maalajeilla ja alueilla. Vertailulinjat ovat tyydyttävän (400 mg/l) ja huononlaisen (100 mg/l) luokan alarajoilla. Piste on määritysten mediaani ja janat kuvaavat 95 % määrää havainnoista.

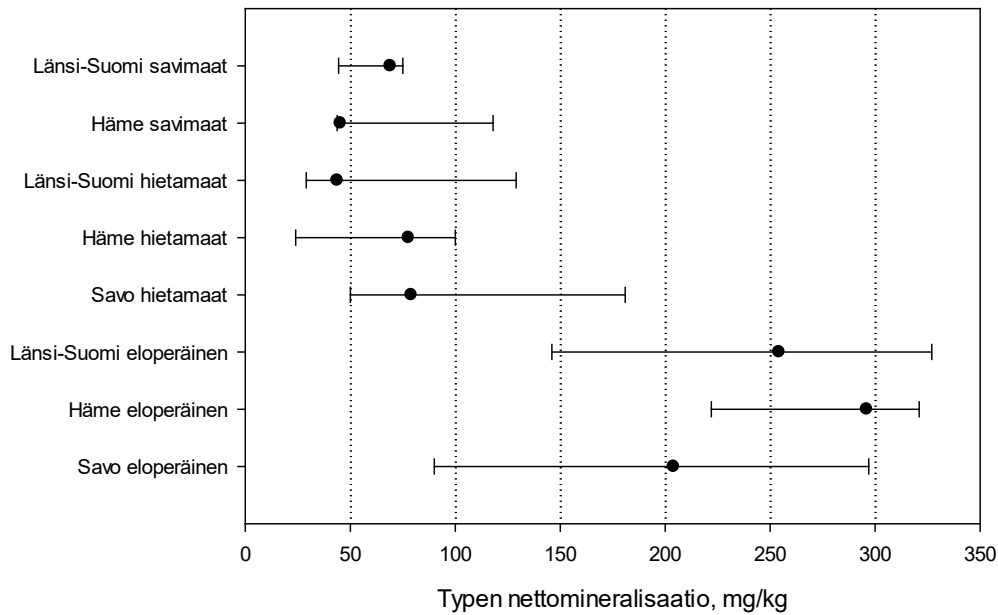


Kuva 34. Maan varastokaliumin pitoisuudet eri maalajeilla ja alueilla. Vertailulinjat ovat tyydyttävän (1000 mg/l) ja huononlaisen (250 mg/l) luokan alarajoilla. Piste on määritysten mediaani ja janat kuvaavat 95 % määrää havainnoista.

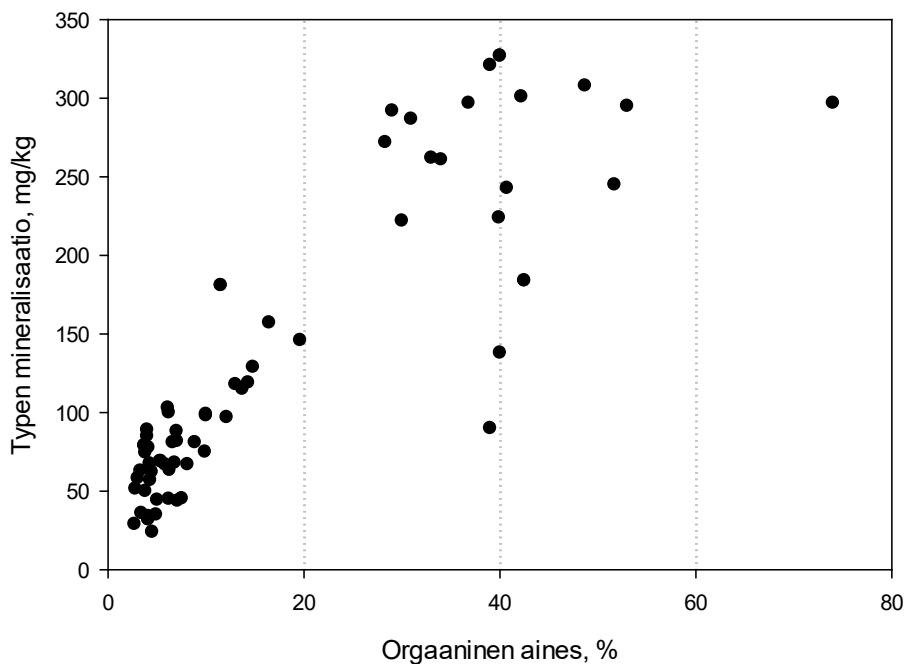
Orgaanisen aineksen määrän eli multavuuden osalta suurin osa hietamaista sisältää 3–6 % orgaanista ainesta, ja savimaiden pitoisuudet ovat hieman korkeammat (5–8 %). Länsi-Suomessa kaikki tutkitut eloperäiset lohkot olivat multamaita (orgaanista ainesta 20–40 %), kun taas Hämeessä ja Savossa puolet eloperäisistä lohkoista oli turvemaita (orgaanista ainesta > 40 %).

Typen potentiaalisen mineralisaation mittaustuloksista havaitaan eloperäisten maiden kivennäismaita suurempi kyky mineralisoida typpeä (Kuva 35). Laboratoriomittauksista saadut potentiaaliset typen mineralisaation arvot (mg/kg) voidaan muuntaa vastaamaan 20 cm maakerroksen hehtaarille potentiaalisesti kasvukauden aikana vapauttamaa typpeä kertomalla arvot kivennäismailla kahdella ja eloperäisillä mailla noin 1,5:llä. Esimerkiksi typen mineralisaatioarvoa 50 mg/kg vastaava arvio hehtaaria kohti on kivennäismailla noin 100 kg typpeä ja eloperäisellä maalla noin 75 kg typpeä. On muistettava, että kyse on potentiaalisesti vapautuvasta tyypeästä, ja olosuhteet (mm. lämpötila ja kosteus) vaikuttavat, paljonko typpeä todellisuudessa vapautuu.

Maan orgaanisen aineksen vaikutus mineralisaatioarvioon on selkeä kivennäismailla (0–20 % orgaanista ainesta), mutta multa- ja turvemaita korkea orgaanisen aineksen määrä ei välttämättä suoraan johda suurempaan typen mineralisaatioon (Kuva 36).

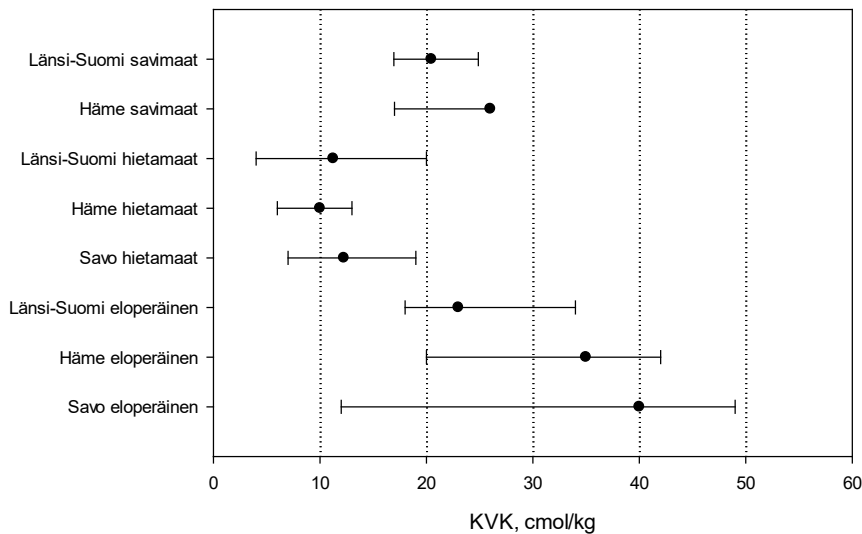


Kuva 35. Maanäytteiden potentiaalisen typen nettomineralisaation tulokset alueiden ja maalajien mukaan jaoteltuna. Piste on määritysten mediaani ja janat kuvaavat 95 % määrää havainnoista.



Kuva 36. Maan orgaanisen aineksen pitoisuuden ja typen mineralisaation välinen riippuvuus.

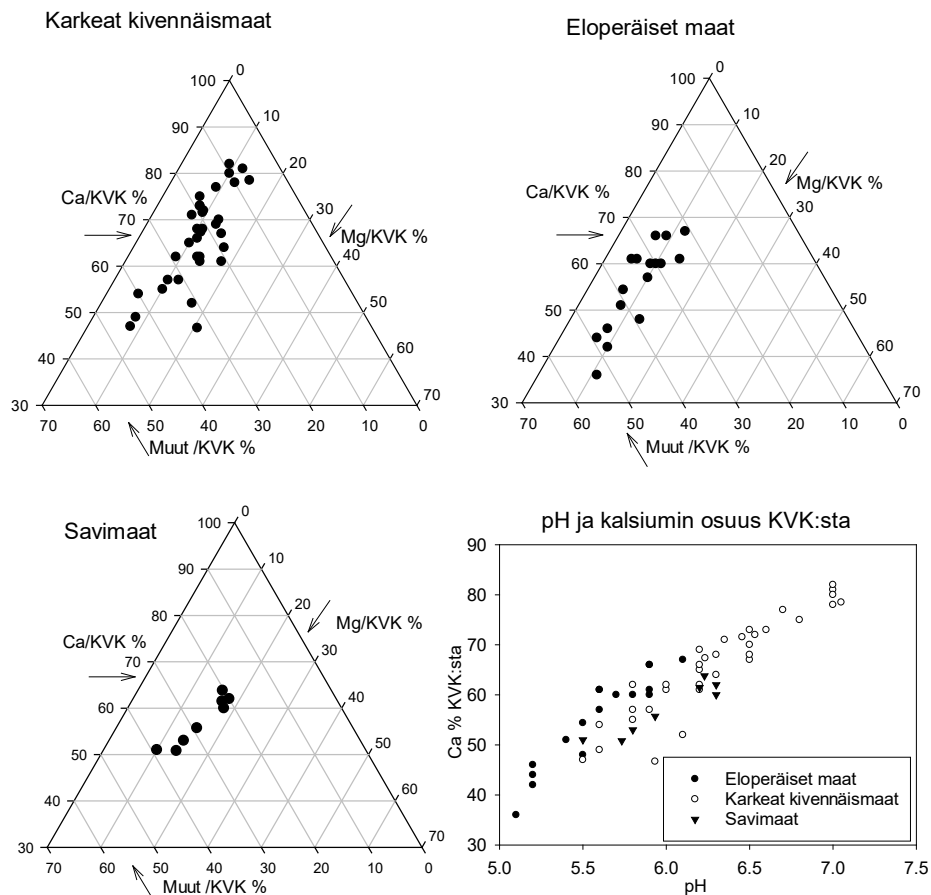
Kationinvaihtokapasiteetin arvot olivat korkeimmat eloperäisillä mailla ja savimailla (Kuva 37). Savien ja eloperäisten maiden suuri kationinvaihtokapasiteetti kuvaa niiden hietamaita suurempaa kykyä pitää ravinteita. Maalajien sisälläkin on aineistossa suuria eroja, joten tieto kationinvaihtokapasiteetista auttaa ymmärtämään maaperän kykyä pitää yllä hyviä viljavuuskationien pitoisuuksia. Hartikaisen (1992) mukaan kevyiden maiden arvot ovat yleensä alle 10 cmol/kg, kevyiden savimaiden 10–20 cmol/kg, jäykkien savimaiden 20–40 cmol/kg ja eloperäisten maiden voivat nousta 100 cmol/kg tasolle.



Kuva 37. Maanäytteiden kationinvaihtokapasiteettimäärittysten tulokset alueiden ja maalajien mukaan jaoteltuna. Piste on määrittysten mediaani ja janat kuvaavat 95 % määrää havainnoista.

Eloperäinen aines, savespitoisuus ja korkea pH lisäävät maan kykyä tarjota kationeille sitoutumispaikkoja. Koska maan kationinvaihtokapasiteetti on lähinnä maan savespitoisuuden ja orgaanisen aineksen pitoisuuksista tuleva ominaisuus, on sen muuttaminen hankalaa. Orgaanista ainesta voi lisätä sisällyttämällä nurmia kiertoihin ja käyttämällä karjanlantaa. Molempia olisi jatkettava säännöllisesti pitkän aikaa, jotta niillä olisi vaikutusta. Myös muun orgaanisen aineksen toistuvat lisäykset voivat pitemmän ajan kuluessa kasvattaa kationinvaihtokapasiteettia. Suuret kerran tehdyt lisäykset todennäköisesti häviävät maasta joidenkin vuosien kuluessa, koska orgaanisen aineksen lisäys kiihdyttää maan mikrobitoimintaa ja hiiliyhdisteiden hajotusta. Saveksen lisääminen karkeisiin maihin olisi toinen vaihtoehto, joskin saven saatavuus ja kuljetuskustannukset voivat osoittautua vakaviksi rajoitteiksi. Vesistöjen ruoppausmassojen käyttö maanparannukseen tulee harkita tarkkaan, sillä vaikka ruoppausmassoissa on yleensä savesta ja orgaanista ainesta, ne sisältävät myös runsaasti pelkistynyttä rautaa. Raudan hapettuessa syntyvät yhdisteet puolestaan sitovat tehokkaasti fosforia, jopa niin että sillä voi olla selkeä kasvien fosforin ottoa häiritsevä vaikutus (Laakso ym. 2017). Maan pH:n nosto ei sinällään kasvata kationinvaihtopaikkojen määrää, mutta vähentää vetyionien sitoutumista niihin, mikä helpottaa lannoitteina annettujen kationien pidättymistä kationinvaihtopaikoille.

Eurofins Agron kationinvaihtokapasiteetin ohjeissa (<https://www.eurofins.fi/agro/tietosivut/oppaat/>) maan kationitasapainon arvioidaan olevan hyvä, kun kalsiumin osuus on 80–90 % ja magnesiumin 5–10 %. Jos kalsiumin osuus kationeista on alle 60–65 %, maan rakenteen arvioidaan olevan heikentynyt. Revi-hankkeessa määritetyissä näytteissä kalsiumin osuus kationinvaihtokapasiteetistä on yli 80 % vain muutamassa näytteessä (Kuva 38). Kalsiumin osuus on alle 60 % suuressa osassa eloperäisten maiden näytteistä, mutta myös puolessa savimaiden ja kolmanneksessa hietamaiden näytteistä. Happamuuden vaikutus kalsiumin osuuteen näkyy selvästi, ja lähes kaikkissa pH<6,0 maanäytteissä kalsiumin osuus on pienempi kuin 60 % kationinvaihtokapasiteetistä. Kun verrattiin peltolohkoilta saatuja sato-tasvoja, alhaiset kalsiumin osuudet eivät liittyneet mataliin satotasoihin, joten muut tekijät vaikuttivat enemmän sadonmuodostukseen.



Kuva 38. Kalsiumin ja magnesiumin osuudet (%) kationinvaihtokapasiteetista karkeissa kivennäismaissa, eloperäisissä maissa ja savimaissa Revi-hankkeen näytteissä. Otsikoiden vieressä olevat nuolet näyttävät suunnan, jonka mukaan kolmion väliivivoja luetaan. Oikean alakulman kuvassa esitetään pH:n ja kalsiumin osuuden suhde.

Maan ravinnetilanäytteet

Maan ravinnetilanäytteistä, jotka otettiin kasvukauden aikana kesä-heinäkuussa, havaitaan eloperäisten maiden korkeat nitraattipitoisuudet, jotka kertovat typen runsaasta tarjonnasta (Taulukko 23). Savimaiden näytteissä on myös melko paljon ammonium- ja nitraattitypeä, joita kasvit tarvitsevat runsaasti keskikesällä.

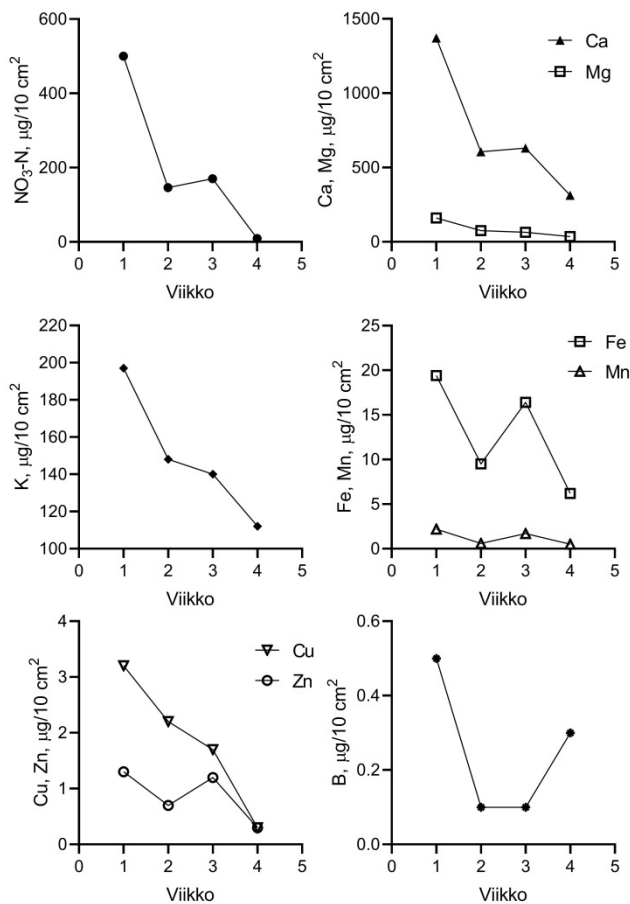
Maan ravinnetila-analyysin uuttoliuos ei näytä uuttavan liukoista fosforia viljelymaistamme samalla voimakkuudella kuin viljavuusanalyysi. Lisäksi tulokset ovat epäilyttävän samaa tasoa lähes kaikissa näytteissä. Alhainen tulos voi kertoa siitä, että maanesteen fosforipitoisuus on hyvin alhainen kiihkeän kasvun aikana. Jos analyysi ei pysty tunnistamaan maita, joista voi vapautua fosforia kasvien käyttöön, ei siitä ole juurikaan apua fosforilannoituksen suunnitteluun.

Taulukko 23. Maan ravinnetilanäytteiden ravinnepitoisuudet eloperäisillä mailla (n=6), karkeilla kivennäismailla (n=42) ja savimailla (n=26).

	Eloperäinen maa			Karkea kivennäismaa			Savimaa		
	25 %	Med.	75 %	25 %	Med.	75 %	25 %	Med.	75 %
pH	5,7	5,8	5,9	6,1	6,3	6,4	5,7	5,8	5,9
JL, 10x mS/cm	1,9	2,4	2,7	0,4	0,6	0,9	0,9	1,0	1,3
NH ₄ -N, mg/l	5	5	6	5	5	5	5	18	21
NO ₃ -N, mg/l	75	90	100	5	12	20	31	39	50
P, mg/l	5	5	5	5	5	8	5	5	5
K, mg/l	100	105	200	78	88	110	110	130	140
Ca, mg/l	890	1025	1100	520	580	630	390	470	490
Mg, mg/l	110	125	170	51	62	89	93	125	130
Na, mg/l	11	24	26	10	10	10	11	12	14
S, mg/l	82	155	190	12	25	62	30	36	56
B, mg/l	0,35	0,38	0,40	0,20	0,22	0,40	0,37	0,42	0,51
Mn, mg/l	1,7	2,1	2,7	1,3	1,9	3,0	1,7	2,5	3,6
Zn, mg/l	0,20	0,33	0,40	0,23	0,31	0,58	0,29	0,53	0,72
Fe, mg/l	2,1	2,3	2,5	0,6	0,7	1,0	0,8	1,3	2,0
Al, mg/l	4,8	5,1	5,4	4,2	5,5	8,2	3,1	3,8	4,5

Plant Root Simulator (PRS) ioninvaihtohartsimääritys useille alkuaineille

PRS-analyysi on mielenkiintoinen menetelmä, joka pyrkii näkemään maan ravinnetilan kasvien juuriston tavoin, koska sen tulokset heijastelevat maanesteen alkuainepitoisuuksia. Sitä voidaan tällä hetkellä hyödyntää lähinnä ravinteiden pitoisuusmuutosten seurantaan, kuten kuvassa 39, jossa on esitetty eri ravinteiden pitoisuusmuutoksia neljän viikon aikana salaattimaassa pälkäneläisellä tilalla. Kuvassa näkyy useimpien ravinteiden pitoisuuden laskevan kasvukauden edetessä ja suurimman laskun ajoittuvan pääsääntöisesti heti salaatin istutuksen jälkeen. Piikkiön kokeissa mitattuja fosforipitoisuuksia on näytetty kuvassa 14.



Kuva 39. PRS-analyysin avulla mitatut maanesteen liukoisten alkuaineiden pitoisuuksien muutokset 4 viikon aikana salaatin istutuksesta lähtien.

Vertailemalla eri ravinnepitoisuustestejä ei voida vielä tehdä tulkintaa esimerkiksi PRS-analyysin tapaisen uuden menetelmän tuloksista, mutta vertailut sopivat täydentämään kontrolloitujen lannoituskokeiden tuloksia. Hankkeessa alettiin kerätä tiedostoa eri ravinnetestien tuloksista samoilla kasvupaikoilla, ja tuloksia täydennetään tulevaisuudessa hankkeissa. Taulukossa 24 on esitetty esimerkkinä yhden vuoden menetelmävertailun tulos, jossa on tulokset salaattikasvuston ja maan ravinnepitoisuuksista sekä kasvukauden alussa tehdyn PRS-analyysin tulokset. PRS-analyysin yksikkönä on $\mu\text{g}/10 \text{ cm}^2$, mikä ilmoittaa PRS-tikun ioninvaihtohartsin pidettyneen alkuaineen määrän hartsiverkon pinta-alaa kohden. Tämän lisäksi tulos voi olla jonkin verran riippuvainen siitä, kuinka pitkän ajan PRS-tikkua pidetään maassa (yleensä 1 tai 2 viikkoa).

Pääosin lehtianalyysin ja maa-analyysin tulokset ovat hyvin yhteneväisiä, joskin esimerkiksi kaliumin pitoisuus lehdissä oli lehtianalyysin mukaan korkea, vaikka maan kaliumpitoisuus oli tyydyttävä/hyvä -luokkien rajalla. Toisaalta maan korkea fosforipitoisuus ei näkynyt kohonneena pitoisuutena salaatin lehdissä. PRS-analyysin tulokset puolestaan olivat hyvin samanlaisia kuin tyypillisellä viljatilalla läntisessä Pohjois-Amerikassa. Suurimmat erot Pälkäneen pellolla olivat sen tyypillistä amerikkalaista viljaloikkaa korkeammat raudan, kuparin ja rikin pitoisuudet. Tämän syvällisempää tulkintaa PRS-tuloksista ei tällä hetkellä ole annettavissa.

Taulukko 24. Pälkäneläisellä tilalla tehtyjen salaatin lehtianalyysin ja lohkon maa-analyysin tulokset sekä kasvukauden alussa tehdyn PRS-analyysin tulokset. PRS-sarakkeessa suluissa oleva kursivoitu arvo on tyypillinen viljalohkojen pitoisuus läntisen USA:n ja Kanadan alueilla, jossa analyysiä pääasiassa käytetään. (OK = riittävä pitoisuus).

	Lehti-analyysi	Maa-analyysi	PRS-analyysi, $\mu\text{g}/10 \text{ cm}^2$ viikko
N	OK	-	250–500 (140)
Ca	matala	välttävä	1100–1400 (1400)
Mg	matala	välttävä	200 (210)
K	korkea	tydyttävä/hyvä	120–200 (135)
P	OK	korkea	5–6 (6)
Fe	OK	-	17–20 (8)
Mn	OK	tydyttävä	2–3 (4)
Cu	OK	tydyttävä	2,5–3,5 (0,4)
Zn	OK	tydyttävä	0,5–1,2 (0,9)
B	OK	tydyttävä/hyvä	0,5-0,7
S	OK	tydyttävä	100–140 (40)

Kasvianalyysi lehdistä kasvukauden aikana

Kasvianalyysin tuloksia tarkasteltaessa verrattiin tuloksia MegalabTM-tulokinnan ohjearvoihin riittävästä pitoisuudesta. Kaalin mitatut pitoisuudet jakautuvat tasaisesti ohjearvon kummallekin puolelle (Taulukko 25). Poikkeuksena oli rikki, jonka pitoisuus kaikissa näytteissä oli ohjearvoa suurempi. Rikin kohdalla sama havainto tehtiin kaikkien vihannesten osalta, eli ohjearvona esitetty 2,0 g/kg vaikuttaa suomalaisissa vihanneksissa olevan alhainen.

Porkkanalla myös typen ja kaliumin pitoisuudet olivat kaikissa lehtinäytteissä ohjearvoja suuremmat (Taulukko 26). Porkkanan naattien ohjearvo typen suhteen, 20 g/kg kuiva-ainetta, vaikuttaa melko pieneltä, koska useilla kasvilajeilla havaitaan vasta kasvun puolivälin jälkeen näitä typpipitoisuuksia. Porkkanan kaliumin otto on suomalaisissa kokeissa ollut korkea, joten ohjearvoa suuremmat kaliumpitoisuudet ovat tavallisia Suomen olosuhteissa.

Taulukko 25. Kaalin kasvukauden aikaisten lehtinäytteiden ravinnepitoisuuden jakaumat ja Megalab™-analyysin ohjearvo riittävälle pitoisuudelle. Kaalin näytemäärä oli 152 kpl. Harmaa taustaväritys näyttää jakauman osan, jossa ravinteiden pitoisuudet ovat olleet ohjearvon alapuolella.

	Min	10 %	25 %	Mediaani	75 %	90 %	Ohjearvo
N, g/kg ka	26,2	32,6	34,5	38,3	41,3	47,0	37,0
P, g/kg ka	2,3	2,7	3,3	3,8	4,5	5,6	3,0
K, g/kg ka	21,8	23,5	26,7	29,5	34,7	40,0	30,0
Mg, g/kg ka	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,5	2,5
Ca, g/kg ka	5,9	12,0	14,5	17,5	22,9	33,1	15,0
S, g/kg ka	7,0	8,0	8,6	11,1	14,6	17,0	2,0
Mn, mg/kg ka	13,0	19,0	24,0	31,1	57,0	97,5	30,0
B, mg/kg ka	20,6	24,5	26,4	30,7	37,8	47,5	25,0
Cu, mg/kg ka	2,7	3,5	3,7	4,4	5,0	5,5	5,0
Zn, mg/kg ka	17,9	20,4	22,3	28,8	32,3	36,7	20,0
Fe, mg/kg ka	41,0	53,0	67,0	76,0	93,0	143,0	75,0

Taulukko 26. Porkkanan kasvukauden aikaisten lehtinäytteiden ravinnepitoisuuden jakaumat ja Megalab™-analyysin ohjearvo riittävälle pitoisuudelle. Porkkanan näytemäärä oli 68 kpl. Harmaa taustaväritys näyttää jakauman osan, jossa ravinteiden pitoisuudet ovat olleet ohjearvon alapuolella.

	Min	10 %	25 %	Mediaani	75 %	90 %	Ohjearvo
N, g/kg ka	28,7	32,6	34,3	37,6	40,3	41,3	20,0
P, g/kg ka	2,3	2,6	2,8	3,0	4,1	4,8	3,0
K, g/kg ka	31,0	36,0	42,0	48,5	54,0	57,0	27,0
Mg, g/kg ka	2,3	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,0
Ca, g/kg ka	5,9	8,4	11,5	14,0	16,0	18,0	15,0
S, g/kg ka	2,6	3,1	4,4	5,1	5,9	7,4	2,0
Mn, mg/kg ka	15,0	19,0	26,5	39,5	60,0	190,0	50,0
B, mg/kg ka	24,0	27,0	31,0	32,0	35,0	40,0	30,0
Cu, mg/kg ka	5,2	6,8	7,4	8,5	10,0	13,0	7,0
Zn, mg/kg ka	20,0	20,0	29,5	47,0	78,5	130,0	30,0
Fe, mg/kg ka	21,0	24,0	92,0	150,0	380,0	620,0	30,0

Sipulin lehtien typpi-, kalsium- ja rikkipitoisuudet olivat kaikissa näytteissä ohjearvoa korkeammat (Taulukko 27). Ohjearvon typpipitoisuus vaikuttaa matalalta, kuten porkkanankin tapauksessa. Kasvien tuoreiden osien typpipitoisuudet ovat yleensä 30–40 g/kg ka. Kasvien kalsiumpitoisuudet vaihtelevat välillä 5–30 g/kg ka, ja sipulin lehtien pitoisuuksista näytteissämme puolet näytteistä oli välillä 8,3–11,5 g/kg ka. Sipulin lehtinäytteissä ohjearvoa selvästi alempia pitoisuuksia esiintyi magnesiumin, boorin ja kuparin osalta. Lehtien magnesiumipitoisuuden alarajana on pidetty 2 g/kg ka (Scaife ym. 1983), ja 25 % sipulin lehtinäytteistä on tämänkin pitoisuuden alapuolella. Boorin puutetta on eri kasvilajeilla havaittu, kun lehtien pitoisuudet ovat pienentyneet pitoisuuksien 20–30 mg/kg ka alapuolelle (Taulukko 4, sivu 21). Lähes 75 % sipulien lehtinäytteiden booripitoisuuksista on myös pitoisuuden 20 mg/kg ka alapuolella. Kuparin ohjearvo 7,0 mg/kg ka vaikuttaa hieman korkealta, koska sipulin lehtien sopivan pitoisuusalueen alarajana on käytetty myös 2,4 mg/kg ka (Taulukko 6, sivu 24).

Taulukko 27. Sipulin kasvukauden aikaisten lehtinäytteiden ravinnepitoisuuden jakaumat ja Megalab™-analyysin ohjearvo riittävälle pitoisuudelle. Sipulin näytemäärä oli 181 kpl. Harmaa taustaväri näyttää jakauman osan, jossa ravinteiden pitoisuudet ovat olleet ohjearvon alapuolella.

	Min	10 %	25 %	Mediaani	75 %	90 %	Ohjearvo
N, g/kg ka	21,7	23,9	27,3	33,0	37,0	38,7	20,0
P, g/kg ka	1,3	1,4	1,5	1,7	2,6	3,3	2,5
K, g/kg ka	14,1	17,9	20,7	25,1	31,9	35,8	25,0
Mg, g/kg ka	1,3	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,5
Ca, g/kg ka	6,8	7,6	8,3	9,6	11,5	13,3	6,0
S, g/kg ka	2,2	2,8	3,5	3,9	5,4	6,7	2,0
Mn, mg/kg ka	11,7	16,0	19,9	31,0	50,5	68,0	40,0
B, mg/kg ka	9,4	11,4	13,7	15,8	18,8	20,8	30,0
Cu, mg/kg ka	3,8	4,3	4,7	5,2	6,6	7,5	7,0
Zn, mg/kg ka	7,4	9,1	10,1	13,2	20,3	22,5	20,0
Fe, mg/kg ka	52,0	68,0	77,0	87,0	110,0	143,0	30,0

Mukulasellerin (n=6), lantun (n=12) ja salaatin (n=36) kasvukauden aikaisia ravinnenäytteitä oli selvästi edellä esitettyjä kasveja vähemmän, ja niiden tulokset on esitetty liitteessä 2. Näille kasveille ei ole myöskään pitoisuuksien ohjearvoja Megalab-näytteille.

Kun lehtinäytteiden ravinnepitoisuuksien suhdetta verrattiin satotasoihin, tulokset vaihtelivat riippuen kasveista ja tavasta kerätä aineisto (Taulukko 28). Kaalin näytteet sisälsivät typpi- ja fosforilannoituskokeita sekä Luken että viljelijöiden pelloilla. Porkkananäytteet olivat kaikki viljelijöiden pelloilta, ja fosforikokeiden osuus oli pieni. Salaatin aineisto oli peräisin Piikkiössä tehdyistä fosforilannoituskokeista. Sipulin aineisto oli fosforikokeista Mikkelissä ja Piikkiössä.

Kaalin lehtien ravinnepitoisuudet korreloivat satotasojen kanssa. Kaalin ravinnetarve on korkea, joten lehtinäytteiden korkeat pitoisuudet kertovat hyvästä ravinteiden tarjonnasta ja edellytyksistä optimaalisen kasvun jatkumiseen. Porkkana on puolestaan tehokas ravinteiden käyttäjä, eivätkä porkkanan lehtien ravinnepitoisuudet olleet yhteydessä saavutettuihin satotasoihin. Salaatin tulokset ovat peräisin pelkästään fosforilannoituskokeista, ja korkea fosforipitoisuus onkin korreloinut hyvin satotason kanssa. Mielenkiintoista on salaatin kohdalla useiden muiden ravinteiden negatiivinen korrelaatio satotasoon. Sipulikokeissa näytemäärä oli suurin, mutta positiivista vaikutusta satoon havaittiin vain sipulin lehtien kalsiumpitoisuuksissa.

Taulukko 28. Keräkaalin, porkkanan, salaatin ja sipulin lehtinäytteiden ravinnepitoisuuksien korrelaatio (Pearson) koepaikan suhteelliseen satotasoon. Kasvilajin alla on mainittu näytemäärä (kpl). Jos korrelaatiota ei esitetä, ravinteen korrelaatio satoon on ollut -0,25:n ja 0,25:n välissä.

	Kaali	Porkkana	Salaatti	Sipuli
Ravinne	n=125	n=54	n=28	n=301
N	0,38	.	.	.
P	0,28	.	0,62	.
K	.	.	-0,57	.
Mg	.	.	-0,44	.
Ca	0,27	.	-0,43	0,31
S	0,33	.	.	.
Mn	.	.	-0,55	.
B	0,36	.	-0,25	.
Cu
Zn	.	.	-0,26	.
Fe	.	.	-0,49	.

Eri ravinteiden pitoisuudet lehtinäytteissä korreloivat yleensä positiivisesti (Taulukko 29). Kasvilajien kohdalla havaittiin yksittäisiä ravinnepareja, joissa yhden ravinteen pitoisuuden noustessa toisen pitoisuus aleni (Taulukko 29). Esimerkiksi kalsiumin yhteys fosforiin ja kaliumiin oli negatiivinen kahden vihanneslajin kohdalla. Hyvä ravinteiden saatavuus maasta ja tasapainoinen kasvu lisäsivät yleensä kaikkien ravinteiden pitoisuuksia lehdissä.

Taulukko 29. Lehtinäytteiden ravinteiden korrelaatio eri kasvilajien näytteissä. Korrelaatio alle -0,50 tai yli 0,50 kuvataan taulukossa kasvilajin tunnuksella K=kaali, P=porkkana, Sa=salaatti ja Si=sipuli. Tunnuksen edessä on ”-” -merkki, jos korrelaatio on negatiivinen.

	N	P	K	Mg	Ca	S	Mn	B	Cu	Zn	Fe
N	1,00	Si	SaSi	Sa	K	KSi	Sa	KSa		Si	
P		1,00	-SaSi	-P	-P-Sa	-PSi		Si	Si	Si	-Sa
K			1,00	Sa	-K-PSa	Si	PSa	-PSi	Si	Si	KSa
Mg				1,00	Sa		KSa	KPSa		P	
Ca					1,00	KPSa	-PSa	P			Sa
S						1,00		KSi	SaSi	-SaSi	
Mn							1,00	Sa	Sa	KSa	
B								1,00		PSi	
Cu									1,00	Si	Sa
Zn										1,00	.
Fe											1,00

5.3.4. Johtopäätökset analyysien hyödynnettävyydestä

Kasvien tai maan ravinnetilan määritysten tulkinnan tulisi perustua mitattuun tietoon siitä, mitkä ravinnepitoisuudet aiheuttavat sadon määrän tai laadun alentumista joko liian vähäisen tai korkean pitoisuuden vuoksi. Lisäksi tulisi tietää, kuinka laaja on se pitoisuusalue, missä satomaksimi on saavutettavissa. Nämä tiedot olisi kerättävä sellaisissa olosuhteissa, joihin analyysiä sovelletaan. Tulkinnan oikeellisuus tulisi varmistaa useamman kasvukauden aikana ja eri maalajeilla. Uusia määritystapoja on tämän vuoksi vaikeaa tuoda käytäntöön, tai ainakin ne vaatisivat suuren rahallisen panostuksen laajamittaisten kokeiden muodossa.

Maan viljavuusanalyysi, jota Suomessa on tehty vakioidulla menetelmällä 1950-luvulta lähtien, on yhä maan ravinnetilan seurannan perustyökalu. Tulkinnan haasteena on, ettei meillä ole kaikille kasvilajeille olemassa tutkittua tietoa siitä, mikä on eri ravinteiden tavoiteltava pitoisuus maassa ja millainen lannoitustarve eri kasveilla on eri maalajeilla. Etenkin puutarhakasveilla lannoituskokeita on tehty vähän verrattuna peltokasveihin.

Tässä hankkeessa kerätty aineisto vihannesviljelyssä olevien peltolohkojen viljavuustilasta osoittaa, että lohkojen välillä on suurta vaihtelua maan pH-tilassa ja ravinnepitoisuuksissa. Vaikka keskimäärin pH ja ravinnetila olivat viljavuusanalyysien mukaan tyydyttävää tai hyvää tasoa, joukkoon mahtui suuri joukko lohkoja, joissa happamuus, ravinnepitoisuudet tai -suhteet olivat heikolla tasolla. Osa lohkoista saattaa olla vuokralohkoja, joiden kunnostusta ei ole päästy aiemmin tekemään, sillä hyvän viljavuuden ja kasvukunnon rakentaminen vie aikaa. Aineisto antaa viitteitä siitä, että vihannesviljelyyn käytettävien peltojen viljavuus kannattaa selvittää vähintäänkin seuraamalla maiden tilaa viljavuusanalyysillä säännöllisesti ja suunnitella ravinnetilan ja kasvukunnon parantamista pitkjänteisesti.

Perinteistä viljavuusanalyysiä täydentävät maa-analyysit, kuten kationinvaihtokapasiteetin, hehkutuskevennyksen ja typen potentiaalisen mineralisaation määritykset, antavat lisää tietoa viljelymaan ominaisuuksista. Etenkin tilanteissa, joissa hehkutuskevennyksen osoittama orgaanisen aineksen pitoisuus ja/tai kationinvaihtokapasiteetti ovat alhaisia, kannattaa miettiä, olisiko viljelykiertoon mahdollista sisällyttää toimia, joilla orgaanista ainesta saisi lisättyä maahan vähitellen. Hyvän pH-tilan ylläpito on myös toimi, jolla voidaan vaikuttaa kationinvaihtokapasiteettiin. Tietoa typen potentiaalisesta mineralisaatiosta voi hyödyntää arvioitaessa typpilannoitustarvetta ja typen saatavuutta kasvukaudella.

Tässä hankkeessa testattiin myös **kasvukaudella tehtäviä maan ravinnetilaa selvittäviä analyyskejä**, esimerkkinä maan ravinnetilatutkimus ja PRS-antureiden käyttö. Maan ravinnetilatutkimus, jota ei ole enää Suomessa saatavilla, perustuu erilaiseen uuttomenetelmään kuin mitä suomalaisessa viljavuusanalyysissä käytetään. Tulosten hyödyntäminen vaatii riittävää vertailuaineistoa, jotta pitoisuuksia voidaan tulkita pätevästi.

PRS-analyysi pohjautuu erilaiseen mittausperiaatteeseen kuin yllä mainitut maa-analyysit, sillä siinä kerätään muovitikussa olevaan hartsiin maanesteessä olevia liuenneita ravinteita. Tikkuja pidetään maassa 1–2 viikon ajan. Menetelmää hyödynnettiin tässä hankkeessa kasvukauden aikaisten muutosten seurantaan, johon se soveltuu täydentämään muiden maa-analyysien tuottamaa tietoa. PRS-menetelmä on kehitetty Kanadassa, jossa sitä käytetään lannoitustarpeen arviointiin. Tässä tarkoituksessa käytettäessä tarvitaan tulkintaa varten jälleen riittävästi vertailuaineistoa ja myös kokeellista tietoa viljelykasvien satovasteista ravinnetilaltaan vaihtelevissa maaperäoloissa. Yhden analyysin hinta (tikun vuokra ja määritykset) on 50–60 € luokkaa, jolloin sen kustannus on hieman korkeampi kuin hivenravinteet sisältävän viljavuusanalyysin.

Maasta vapautuvan typen arviointiin on myös muita laboratorioanalyyskejä, kuten amerikkalainen Soil Health Tool-analyysi, jonka hyödynnettävyyttä on testattu mm. OSMO-hankkeessa (Kinnunen et al.

2018). Myös muita ulkomaisissa laboratorioissa saatavilla olevia maa-analyysejä on käytetty OSMO-hankkeessa (Mattila & Rajala 2017).

Kasvianalyysiä on alettu markkinoida ja käyttää entistä enemmän kasvien ravinnetilan seurantaan kasvukaudella. Kasvianalyysillä pyritään tunnistamaan etenkin tilanteet, joissa jonkin ravinteen alhainen pitoisuus rajoittaa sadon tuottoa ja joissa olisi mahdollista korjata ravinnetilaa esimerkiksi lehtilannoitusten avulla. Useille viljelykasveille, myös laajimmin viljellyille avomaanvihanneksille, on saatavissa Suomessakin tulkinta (Megalab™-palvelu) analyysituloksille.

Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että tulos kertoo näytteen ottohetken ravinnetilasta ja kasvuvaihe vaikuttaa pitoisuuksiin. Tyypillisesti ravinnepitoisuudet alenevat kasvukauden edetessä. Keskeistä tulkinnassa on myös se, mihin asetetaan riittävän pitoisuuden raja-arvo. Tulkinnoissa käytettävät raja-arvot perustuvat kirjallisuustietoihin ja eri koekasveilla saatuihin analyysituloksiin. Jälleen on huomattava, että etenkin puutarhakasveilla vertailuaineistoa on saatavilla vähemmän verrattuna laajemmin viljeltyihin peltokasveihin, joten riittävän pitoisuuden raja-arvoihin saattaa sisältyä epävarmuutta. Oleellista tulkinnassa on sekin, onko esimerkiksi alhaiseksi tulkittu pitoisuus lähellä vai kaukana annettua raja-arvoa. Pienet poikkeamat tuskin aiheuttavat merkittävää sadon menetystä, mutta ravinnepitoisuuksien ollessa selvästi tavanomaista alhaisemmat tai korkeammat on hyvä miettiä syitä saatuun tulokseen.

Tämän hankkeen tulokset osoittivat, että Megalab™-tulkinnan riittävän pitoisuuden ohjearvot vaikuttavat pääsääntöisesti olevan oikealla tasolla, mutta esimerkiksi rikin riittävän pitoisuuden raja vaikutti melko alhaiselta suhteessa Suomessa mitattuihin pitoisuuksiin. Myös typen riittävän pitoisuuden raja-arvo sipulilla ja porkkanalla sekä kaliumpitoisuuden raja-arvo porkkanalla olivat matalia verrattuna mitattuihin pitoisuuksiin. Toisaalta esimerkiksi sipulilla havaittiin runsaasti raja-arvon alapuolella olevia fosforipitoisuuksia lehdissä. Sipulin fosforilannoituskokeissa ei kuitenkaan havaittu yhteyttä kasvukauden aikaisen sipulin lehtien fosforipitoisuuden ja sadon tuoton välillä, joten lehtien alhainen fosforipitoisuus ei aina merkitse kasvin kärsivän merkittävästä fosforin puutteesta.

Kasvianalyysiä kannattaa hyödyntää etenkin tilanteissa, kun halutaan selvittää esimerkiksi eri tavalla kasvavien kasvustojen ravinnetilaa suhteessa toisiinsa tai ylipäänsä saada lisää tietoa kasvuston ravinnetilasta erilaisissa kasvuoloissa. On huomattava, että kiivaan kasvun aikaan kasvien pääravinteiden otto voi olla hyvinkin nopeaa eikä esimerkiksi lisälannoituksen vaikutus välttämättä tule esiin kasvista mitatuissa pitoisuuksissa.

6. Yhteenveto ja suositukset

Ravinteiden riittävä saatavuus on välttämätöntä vihannesten hyvän kasvun ja sadon laadun kannalta. Vihannesviljelyä palveleva lannoitustutkimus on paljolti painottunut pääravinteiden, erityisesti typen, merkitykseen ja vaikutuksiin. Viime vuosina Suomessa on tehty tutkimusta eri vihanneslajien fosforilannoitustarpeesta. Sivu- ja hivenravinteiden vaikutuksista ja tehokkaista lannoitustavoista on hyvin vähän puolueetonta tutkimustietoa puutarhatuotannossa. Lannoitussuosituksia antavat lähinnä kaupalliset toimijat. Toisaalta typpi- ja fosforilannoitteiden käyttöä rajoittavat ympäristökorvausjärjestelmässä ja nitraattiasetuksessa annetut enimmäiskäyttömäärät. Suurimmat käyttömäärät eivät kuitenkaan ole lannoitussuosituksia. Ympäristöohjelmien fosforilannoitustaulukot ovat työryhmissä neuvoteltuja kompromisseja, joiden tekoon on osallistunut eri toimijoita-

Nykykäsityksen ja myös Revi-hankkeessa koottujen asiantuntijanäkemyksen mukaan peltomaiden hoitoon ja kasvukunnon kehittämiseen on syytä panostaa, jolloin pellon luontaiset ravinnevarannot ovat paremmin kasvien saatavilla. Maan orgaanisen aineksen määrän lisääntyminen parantaa maan ravinteiden ja vedenpidätyskykyä. Hyvä maan rakenne ja kasvukunto edistävät kasvien juuriston kehittymistä ja mahdollisuuksia ottaa ravinteita tehokkaasti maasta. Kalkitus ja pellon vesitaloudesta huolehtiminen ovat myös tärkeitä toimia ravinnehuollon kannalta.

Tämän hankkeen kokeellisessa toiminnassa keskityttiin vihannesten fosfori- ja kalsiumlannoitustarpeeseen sekä erilaisten maa- ja kasvianalyyseiden antaman tiedon hyödyntämiseen. Fosforilannoituksen suhteen voidaan tämän ja aiempien hankkeiden tulosten perusteella arvioida, että maltillinen fosforilannoitus (10–20 kg/ha) riittää hyvän sadon tuottamiseen myös välttävän ja tyydyttävän fosforiluokan mailla. Hyvän ja sitä ylempien fosforiluokkien mailla vuotuinen fosforilannoitus tuottaa harvoin sadonlisää vihannesviljelyssä.

Kalsiumlannoituskokeissa saatiin vaihtelevia tuloksia. Joissain kokeissa nestemäinen tai lehtien kautta annettu kalsiumlannoite lisäsi satoa hieman, mutta vaikutus kasvuston kalsiumpitoisuuteen ei ollut kovin selvä. Maan ravinnetilaa tulisi korjata haluttuun suuntaan jo ennen vihannesten viljelyvuotta. Riittävä kalkitus on perusmenetelmä kalsiumtilan kohentamiseen, jos se on maan happamuuden puolesta mahdollista. Samoin riittävän veden saannin turvaaminen on erityisen tärkeää kalsiumin kulkeutumisen varmistamiseksi, koska kalsium liikkuu kasvissa haihduntavirtauksen mukana.

Hankkeessa kerätty maa- ja kasvianalyyssiaineisto kuvaa osaltaan vihannesmaidan ja -kasvustojen ravinnetilaa, tosin aineisto ei edusta satunnaista otosta suomalaisilta viljelmiltä, koska se painottuu koetoiminnassa mukana olleisiin peltolohkoihin. Aineisto kuitenkin osoittaa suurta lohkojen välistä vaihtelua peltojen pH-tilassa ja ravinnepitoisuuksissa. Vaikka keskimäärin peltojen pH ja ravinnetila olivat viljavuusanalyyseiden mukaan tyydyttävää tai hyvää tasoa, joukkoon mahtui joukko lohkoja, joissa happamuus, ravinnepitoisuudet tai -suhteet olivat heikolla tasolla.

Kattava viljavuustutkimus on jatkossakin lannoitussuunnittelun perusta vihannestuotannossa. Uudet analyysit, kuten kationinvaihtokapasiteetin, hehkuskevennyksen ja typen potentiaalisen mineralisaation määritykset tarjoavat lisää apua ravinnehuollon suunnitteluun viljelykierron aikana. Kokonaan uudentyyppisten analyyseiden, kuten tässä hankkeessa testatun PRS-analyyseiden, tulkinta vaatii laajempaa koetoimintaa.

Kasvianalyyseiden tulokset osoittavat, että pääosin kasvianalyyseiden tulkinnessa (Megalab™) käytetyt raja-arvot vaikuttavat olevan oikealla tasolla suhteessa Suomessa mitattuihin ravinnepitoisuuksiin. Joitakin poikkeamia kuitenkin esiintyi; esimerkiksi sipulinäytteissä pitoisuudet olivat usein matalampia kuin annetut ohjearvot, ja silti koepeltojen kasvustot eivät näyttäneet kärsivän ravinnepuutteista ja tuottivat hyvän sadon. On huomattava, että aineistossa olleiden sipulipeltojen lukumäärä oli varsin rajallinen.

Eri vihannesten N- ja S-pitoisuudet olivat kaikissa näytteissä riittävän pitoisuuden raja-arvon yläpuolella, kuten myös porkkanalla K-pitoisuus. Tuloksin raja-arvoja lienee mahdollista vielä tarkentaa, kun mittausaineistoa kertyy enemmän eri vihanneslajeilta pohjoisilta viljelyalueilta.

Viitteet

- Al Harbi, S.F., Ghoneim, A.M., Modaihsh, A.S. & Mahjoub, M.O. 2013. Effect of Foliar and Soil Application of Phosphorus on Phosphorus Uptake, Use Efficiency and Wheat Grain Yield in Calcareous Soil. *Journal of Applied Sciences* 13: 188–192.
- Berendsen, R.L., Pieterse, C.M.J. & Bakker, P.A.H.M. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science* 17: 478–486.
- Bergmann, W. 1983. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung und Diagnose. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. pp. 614. ISBN-3-437-30430-5.
- Bhatti, A. S. & Loneragan, J.F. 1970. Phosphorus Concentrations in Wheat Leaves in Relation to Phosphorus Toxicity. *Agron. J.* 62: 288–290. doi:10.2134/agronj1970.00021962006200020033x
- Bindraban, P.S., Dimkpa, C.O. & Pandey, R. 2020. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils* 56: doi:10.1007/s00374-019-01430-2.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P. & Ferrante, A. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture* 31: 1–17.
- Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J.W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil* 383: 3–41.
- Christensen, N. W., and T. L. Jackson. 1981. Potential for Phosphorus Toxicity in Zinc-Stressed Corn and Potato1. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 904-909. doi:10.2136/sssaj1981.03615995004500050017x.
- Colla, G., Roupael, Y., Di Mattia, E., El-Nakhel, C. & Cardarelli, M. 2015. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 1706-1715.
- De Mooy, C. J. & J. Pesek. 1969. Growth and Yield of Soybean Lines in Relation to Phosphorus Toxicity and Phosphorus, Potassium, and Calcium Requirements. *Crop Sci.* 9: 130–134. doi:10.2135/cropsci1969.0011183X000900020005x
- De Pascale, Roupael, Y. & Colla, G. 2017. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *European Journal of Horticultural Science* 82: 277–285.
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3–14.
- Eurofins. 2020. Viljavuustutkimuksen tulkinta. 2 s. Eurofins Agro. Mikkeli. https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2849228/viljavuustutkimuksentulkinta_01022019.pdf
- Fernández, V., Sotiropoulos, T & Brown, P. 2013. Foliar Fertilization. *Scientific Principles and Field Practices*. International Fertilizer Industry Association. 140 s. https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2013_foliar_fertilization_HR.pdf
- Foote, B. D. & R.W. Howell. 1964. Phosphorus tolerance and sensitivity of soybeans as related to uptake and translocation. *Plant Physiology* 59: 610-613.
- Green, D.G, Ferguson, W.S. & Warder, F.G. 1973. Accumulation of toxic levels of phosphorus in the leaves of phosphorus-deficient barley. *Canadian Journal of Plant Science* 53(2): 241–246. doi.org/10.4141/cjps73-045
- Gupta, U.C., & Chipman, E.W. 1976. Influence of iron and pH on the yield and iron, manganese, zinc and sulphur concentrations of carrots grown on sphagnum peat soils. *Plant and Soil* 44: 559–566.
- Hartikainen, H. 1992. Maaperä. Heinonen, R. (toim.) 1992. Maa, viljely ja ympäristö. 1–89. WSOY. Porvoo. 334 s.
- Huett, D.O. & Rose, G. 1988. Diagnostic nitrogen concentrations for cabbages grown in sand culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28: 401–409.
- Inthichack, P., Nishimura, Y. & Fukumoto, Y. 2013. Effect of potassium sources and rates on plant growth, mineral absorption, and the incidence of tip burn in cabbage, celery, and lettuce. *Hort. Environ. Biotechnol.* 53: 135–142.

- Jayaraj, J., Wan, A., Rahman, M. & Punja, Z.K. 2008. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. *Crop Protection* 27: 1360–1366.
- Johnson, D. & Gilbert, L. 2015. Interplant signalling through hyphal networks. *New Phytologist* 205: 1448–1453
- Johnstone, P.R., Hartz, T.K., Cahn, M.D. & Johnstone, M.R. 2005. Lettuce response to phosphorus fertilization in high phosphorus soils. *HortScience* 40: 1499–1503.
- Jones, J.B., Wolf, B., & Mills, H.A. 1991. *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Publishing Inc. USA: Jämtgård, S., Näsholm, T. & Huss-Danell, K. 2010. Nitrogen compounds in soil solutions of agricultural land. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 2325–2330.
- Keskinen, R., E. Ketoja, J. Heikkinen, T. Salo, R. Uusitalo & V. Nuutinen. 2016. 35-year trends of acidity and soluble nutrients in cultivated soils of Finland. *Geoderma Regional* 7: 376–387.
- Kinnunen, O., Mattila, T. & Rajala, J. 2018. Uusia menetelmiä maaperästä vapautuvan typen määrän arviointiin. Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti. Raportteja 188. 31 s.
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/274091/Raportteja188.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kivelä, Jukka; Chen, Lin; Muurinen, Susanna; Kivijärvi, Pirjo; Hintikainen, Veikko; Helenius, Juha. 2015. Effects of meat bone meal as fertilizer on yield and quality of sugar beet and carrot. *Agricultural and Food Science* 24 2: 68–83.
- Kopsell, D.E., Kopsell, D.A., Sams, C.E. & Casey Barckman, T. 2013. Ratio of calcium to magnesium influences biomass, elemental accumulations, and pigment concentrations in kale. *Journal of Plant Nutrition* 36: 2154–2165.
- Laakso, J., R. Uusitalo, J. Heikkinen ja M. Yli-Halla. 2017. Phosphorus in agricultural constructed wetland sediment is sparingly plant-available. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 180: 554–562.
- Lemola, R., R. Uusitalo, J. Hyväluoma, M. Sarvi & E. Turtola. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 209 s. ISBN 978-952-326-558-5.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-558-5>.
- Marschner, Petra (ed.) 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd Edition. Academic Press, pp. 672. ISBN 978-012-384905-2.
- Mattila, T. & Rajala, T. 2017. Mistä ja miten tunnistaa maan hyvän kasvukunnon? Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti. Raportteja 171. 36 s.
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/229450/Raportteja171.pdf?sequence=1>
- Meagy, M.J., Eaton, T.E. & Barker, A.V. 2013. Nutrient density in lettuce cultivars grown with organic or conventional fertilization with elevated calcium concentrations. *HortScience* 48: 1502–1507.
- Mengel, K & Kirkby, E. 2006. *Principles of plant nutrition*. 5th edition. Springer. 849 s.
- Merhaut, D.J. 2006. Magnesium. In Barker A.V. & Pilbeam D.J. (ed.). *Handbook of plant nutrition*. Boca Raton: CRC Press. p. 154. ISBN 9780824759049.
- Mortvedt, J., Cox, F., Shuman, L. & Welch, R. 1991. *Micronutrients in Agriculture*. Second Edition. The Soil Science Society of America Book Series, number 4, pp. 760. ISBN 0-89118-797-9.
- Niskanen, R. & Ramdane, D. 2003. Nutritional status of outdoor vegetables, and effect of calcium treatments. Department of Applied Biology, Horticulture. University of Helsinki. pp. 296.
- Paradiković, N., Teklić, T., Zeljković, S., Lisjak, M. & Špoljarević, M. 2019. Biostimulants research in some horticultural plant species – a review. *Food and Energy Security* 8:e00162.
<https://doi.org/10.1002/fes3.162>
<https://doi.org/10.1002/fes3.162>
- Pihala, J. 2011. Lannoitemenetelmävertailu kaalilla, perunalla ja porkkanalla. Hämeen ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Mustiala 28.4.2011. 71 s.
- Richardson, A. E. & Simpson, R. J. 2011. Soil Microorganisms Mediating Phosphorus Availability Update on Microbial Phosphorus. *Plant Physiology* 156: 989–996.
- Riley, H., E. Stubhaug, A.Ø. Kristoffersen T., Krogstad, G. Guren ja T. Tajet. 2012. P-gjødsling til grønnsaker: Evaluering og nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport Vol. 7, Nr. 68*. ISBN-13: 978-82-17-00929-0.

- Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R. & Cavagnaro, T.R. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy* 124: 37–89.
- Saarela, I. 2002. Phosphorus in Finnish soils in the 1900s with particular reference to the acid ammonium acetate soil test. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 257–271.
- Salo, T., Suojala, T., Kallela, M. & Pulkkinen, J. 2001. Vihannesten ravinteiden otto. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. *Sarja A* 91: 54–61.
- Scaife, A. & Turner, M. 1983. Diagnosis of mineral disorders in plants. Volume 2. Vegetables. Her Majesty's Stationery Office, London, pp. 96. ISBN 011-240804-4
- Shukla, D., C.A. Rinehart & S.V. Sahi. 2017. Comprehensive study of excess phosphate response reveals ethylene mediated signaling that negatively regulates plant growth and development. *Scientific Reports* 7: 3074.
- Sillanpää, M. 1961. Fixation of fertilizer phosphorus as a function of time in four Finnish soils. *Agrogeological Publications* 80: 1–22.
- Stubhaug, E., Riley, H. & Kristoferssen, A.Ø. 2015. P-gjødsling til brokkoli, blomkål, kålrot og isbergsalat. Nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport Vol. 10 Nr. 14*. ISBN-13: 978-82-17-01397-6.
- Suojala, T., Hoppula, K., Kankaanhuhta, K., Karhula, T., Muuttomaa, E., Outa, P., Peltonen, M., Pulkkinen, J., Tikanmäki, E. & Salo, T. 2004. Puutarhakasvien tihkukastelu ja kastelulannoitus avomaalla. *Maa- ja elintarviketalous* 46. 134 s.
- Suojala-Ahlfors, T. (toim.) 2017. Vihannesten ja mansikan tasapainoinen N- ja P-lannoitus. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2017*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 84 s.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-435-9>
- Valkama, E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91: 1–15.
- Valkama, E., P. Virkajärvi, R. Uusitalo, K. Ylivainio & E. Turtola. 2015. Meta-analysis of grass ley response to phosphorus fertilization in Finland. *Grass and Forage Science* 71(1): 36–53.
<https://doi.org/10.1111/gfs.12156>.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeological Publications* 63. Helsinki: Valtioneuvoston kirjapaino. 44 s.
- Webb, M. J. & Loneragan, J. F. 1988. Effect of Zinc Deficiency on Growth, Phosphorus Concentration, and Phosphorus Toxicity of Wheat Plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1676–1680.
doi:10.2136/sssaj1988.03615995005200060032x
- Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A. & Brown, P.H. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science* 7: 1–32.
- Yuan, W., Yuan, S., Liu, Z., Chen, L. & Qiu, Z. 2018. Effect of foliar application of CaCl₂ on lettuce growth and calcium concentrations with organic and conventional fertilization. *HortScience* 53: 891–894.

Liite 1.

Luken kokeiden viljavuustiedot ennen kokeen perustamista.

Vuosi	Koe- paikka	Koe	pH	Ca (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	S (mg/l)
2016	Piikkiö	Sipulin P-lannoitus	5,9	1757	5	357	384	12
2016	Piikkiö	Kaalin P-lannoitus	5,8	1754	6	392	350	16
2016	Piikkiö	Salaatin N- ja Ca-lannoitus	6,8	1800	19	160	200	6
2016	Mikkeli	Sipulin P-lannoitus	6,2	1500	12	158	126	7
2016	Mikkeli	Kaalin P-lannoitus	6,2	1621	9	145	126	7
2017	Piikkiö	Salaatin P-lannoitus	6,2	3025	6	281	473	14
2017	Piikkiö	Salaatin Ca-lannoitus	6,2	1450	15	140	195	5
2018	Piikkiö	Salaatin P-lannoitus	5,8	1912	6	363	312	26
2018	Piikkiö	Salaatin Ca-lannoitus	6,0	1100	16	140	160	5

Tilakokeiden peltomaiden viljavuustiedot ennen kokeen perustamista (kaalikokeissa sadonkorjuun aikaan).

Vuosi	Koepaikka	Koe	pH	Ca (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	S (mg/l)
2016	Pohjois-Savo	Porkkanan P-lannoitus	5,9	1417	5	212	152	31
2016	Häme	Kaalin lehti-lannoitus	5,3	803	15	133	85	72
2017	Häme	Kaalin lehti-lannoitus	5,9	647	15	163	173	8
2018	Pohjois-Savo	Porkkanan P-lannoitus	6,5	1667	13	198	129	18

Liite 2.

Lantun kasvukauden aikaisten lehtinäytteiden ravinnepitoisuuden jakaumat. Lantun näytemäärä oli 12 kpl.

	Min	10 %	25 %	Mediaani	75 %	90 %
N, g/kg ka	26,6	31,2	31,45	33,95	34,8	35,4
P, g/kg ka	3,6	4,1	4,25	4,7	5,75	5,8
K, g/kg ka	28	28	30	33,5	36,5	38
Mg, g/kg ka	1,3	1,3	1,45	1,65	2,1	2,1
Ca, g/kg ka	6,5	6,8	7,75	8,75	9,15	9,2
S, g/kg ka	7,9	8,6	11,4	14	15	16
Mn, mg/kg ka	23	30	32	34,5	40,5	55
B, mg/kg ka	25	26	28,5	34,5	37,5	38
Cu, mg/kg ka	2,65	2,65	2,7	2,7	2,7	5,4
Zn, mg/kg ka	25	26	27,5	29,5	37	42
Fe, mg/kg ka	52	53	55	59,5	75	83

Mukulasellerin kasvukauden aikaisten lehtinäytteiden ravinnepitoisuuden jakaumat. Mukulasellerin näytemäärä oli 12 kpl.

	Min	10 %	25 %	Mediaani	75 %	90 %
N, g/kg ka	30,3	30,3	32,3	35,05	36,9	38,5
P, g/kg ka	3,22	3,22	3,58	3,77	4,01	4,17
K, g/kg ka	37,21	37,21	37,37	38,31	40,29	41,2
Mg, g/kg ka	3,1	3,1	3,5	3,73	4,03	5,24
Ca, g/kg ka	27,19	27,19	29,09	29,94	31,97	33,31
S, g/kg ka	15,21	15,21	15,22	16,35	17,11	21,22
Mn, mg/kg ka	46,9	46,9	49,5	63,25	70,3	75,5
B, mg/kg ka	35	35	36,4	39,5	45,4	45,7
Cu, mg/kg ka	5,7	5,7	5,8	6,25	7,1	13,7
Zn, mg/kg ka	39,7	39,7	45,5	49,9	56,2	56,8
Fe, mg/kg ka	309	309	404	475,5	534	613

Salaatin kasvukauden aikaisten lehtinäytteiden ravinnepitoisuuden jakaumat. Salaatin näytemäärä oli 36 kpl.

	Min	10 %	25 %	Mediaani	75 %	90 %
N, g/kg ka	28,5	31,1	35,35	41,1	44	45,3
P, g/kg ka	2,4	2,9	3,2	3,6	4,05	5,1
K, g/kg ka	34,78	45	47,5	61	91	96
Mg, g/kg ka	1,4	1,6	1,85	2,6	2,75	2,9
Ca, g/kg ka	2	3,3	4,7	5,3	8,16	12
S, g/kg ka	2,3	2,4	2,8	3,2	3,7	4
Mn, mg/kg ka	19	28	44	83	99	130
B, mg/kg ka	15	16	18,5	22,5	24	28
Cu, mg/kg ka	5,2	5,3	5,3	5,4	6,45	7,6
Zn, mg/kg ka	22,2	34	47	53,5	56	61
Fe, mg/kg ka	85	88	95,5	110	135	220



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000