



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 44/2017

Vihannesten ja mansikan tasapainoinen fosfori- ja typpilannoitus

Terhi Suojala-Ahlfors (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2017

Vihannesten ja mansikan tasapainoinen fosfori- ja typpilannoitus

Terhi Suojala-Ahlfors (toim.)

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2017



Suojala-Ahlfors, T. (toim.). 2017. Vihannesten ja mansikan tasapainoinen fosfori- ja typpilannoitus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 84 s.

ISBN: 978-952-326-434-2 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-435-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-435-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Terhi Suojala-Ahlfors (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2017

Julkaisuvuosi: 2017

Kannen kuva: Terhi Suojala-Ahlfors

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Terhi Suojala-Ahlfors¹⁾, Juho Hautsalo²⁾, Kalle Hoppula³⁾, Kati Hoppula³⁾, Timo Hurme⁴⁾, Antti Iho⁵⁾, Petri Kapuinen¹⁾, Pirjo Kivijärvi⁶⁾, Antti Miettinen⁵⁾, Anu Rätty⁴⁾, Tapio Salo⁴⁾, Risto Uusitalo⁴⁾ ja Mauritz Vestberg

¹⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

²⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Antinniementie 1, 41330 Vihtavuori

³⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Kipinäntie 16, 88600 Sotkamo

⁴⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Humppilantie 14, 31600 Jokioinen

⁵⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

⁶⁾Luonnonvarakeskus (Luke), Lönnrotinkatu 5, 50100 Mikkeli

Puutarhatuotanto avomaalla on hyvin intensiivinen maankäytön muoto. Suurin osa puutarhakasvien ravinnetarpeesta täytetään väkilannoitteilla. Lannoituksen suunnittelu pohjautuu osittain tutkimustuloksiin, osittain vuosien mittaan kertyneeseen kokemustietoon. Suunnittelun perustana on maasta tehty viljavuustutkimus.

Avomaan puutarhakasvien ympäristökorvausjärjestelmää valmisteltaessa todettiin tutkimustiedon puute vihannesten ja marjakasvien satovasteista fosfori- ja typpilannoitukseen. Tämän tutkimuksen tavoitteina oli:

1. määrittellä tärkeimpien vihanneslajien ja mansikan satovaste fosforilannoitukseen
2. arvioida fosforilannoituksen taloudellista optimia viljelijän kannalta
3. määrittellä vihannesten hyvään satoon ja laatuun tarvittava typpilannoitusmäärä ja sen oikea ajoitus
4. arvioida ympäristöohjelman lannoitusrajoja vihannesten ja mansikan sadontuoton sekä tuotannon aiheuttaman ravinnekuormitusriskin kannalta.

Tutkimushankkeessa tehtiin kenttä- ja astiakokeita vuosina 2014–2016. Kohdekasveina olivat tärkeimmät avomaalla viljeltävät vihannekset ja mansikka. Kenttäkokeissa verrattiin eri fosforilannoitusmäärien vaikutusta satoon, sadon laatuun ja kasvien ravinteiden ottoon. Osa kokeista tehtiin vihannestiloilla. Astiakokeissa tutkittiin mykorritsan merkitystä mansikan fosforitaloudessa. Lisäksi tarkasteltiin fosforilannoituksen taloudellista optimointia dynaamisen mallin avulla käyttäen esimerkkikasvina sipulia. Typpilannoitukseen liittyen selvitettiin keräkaalin ja jäävuorisalaatin typpilannoitustarvetta ja erilaisten menetelmien soveltuvuutta lisätyppilannoituksen tarpeen arviointiin.

Kokeissa fosforilannoituksen vaikutus kasvien satoon osoittautui odotettua pienemmäksi. Tulokset viittaavat siihen, että tutkittujen vihannesten fosforilannoituksen tarve on pienempi kuin maatalouden ympäristökorvausjärjestelmässä sallitut enimmäislannoitusmäärät. Maan fosforitilan vaikutusta vihannesten satotasoon ei pystytty tässä hankkeessa kattavasti selvittämään. Taloudellisen mallintamisen perusteella fosforivarantoon investoiminen lannoittamalla on todennäköisesti taloudellisesti perusteltua, jos maan fosforiluokka on matala. Toisaalta on myös tilanteita, jolloin fosforivarannon hyödyntäminen on perusteltua, eikä lannoitefosforin lisääminen peltoon ole taloudellisesti järkevää.

Mansikan fosforilannoituskokeissa saatujen tulosten perusteella on tarpeen arvioida nykyisiä fosforilannoitussuosituksia kriittisesti. Turpeesta ja hiekasta sekoitetussa kasvualustassa tai steriloidussa maassa tehdyissä astiakokeissa maa-analyysin fosforitaso 20 mg/l oli riittävä sadontuoton kannalta, mutta sienijuurta sisältävässä peltomaassa pitoisuus 5 mg/l riitti sekä astiakokeissa että

peltokokeessamme hyvään kasvuun ja sadontuottoon. Tulevissa suosituksissa olisi huomioitava sienijuurisympioosin merkitys ja korjattava suosituksia nykytasosta alaspäin.

Keräkaalin ja jäävuorisalaatin typpilannoitusosuudet olivat riittävät hyvän satotason saavuttamiseen. Maan liukoisen typen mittaustulokset seurasivat loogisesti lannoitusmääriä ja kasvuston typen ottoa kasvukauden alkupuolella mutta eivät myöhemmin kesällä. Lisälannoitustarpeen arviointi NDVI-arvon perusteella ei osoittautunut toimivaksi menetelmäksi tutkituilla lajeilla. Mallintamalla voitiin arvioida melko hyvin keräkaalin kuiva-ainesadon, typen oton ja typpipitoisuuden kehitystä.

Asiasanat: fosfori, typpi, lannoitus, mykorritsa, satovaste, ravinteet, talous, optimointi, vihannekset, mansikka, sipuli, kaalit, porkkana, mukulaselleri

Abstract

Terhi Suojala-Ahlfors¹⁾, Juho Hautsalo²⁾, Kalle Hoppula³⁾, Kati Hoppula³⁾, Timo Hurme⁴⁾, Antti Iho⁵⁾, Petri Kapuinen¹⁾, Pirjo Kivijärvi⁶⁾, Antti Miettinen⁵⁾, Anu Rätty⁴⁾, Tapio Salo⁴⁾, Risto Uusitalo⁴⁾ ja Mauritz Vestberg

¹⁾Natural Resources Institute Finland, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

²⁾Natural Resources Institute Finland, Antinniementie 1, 41330 Vihtavuori

³⁾Natural Resources Institute Finland, Kipinäntie 16, 88600 Sotkamo

⁴⁾Natural Resources Institute Finland, Humppilantie 14, 31600 Jokioinen

⁵⁾Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

⁶⁾Natural Resources Institute Finland, Lönnrotinkatu 5, 50100 Mikkeli

Horticultural production in open field is a very intensive sector of land use. Most of the nutrient demand of crops is fulfilled by mineral fertilizers. Fertilization is done according to soil test results, calibration of which is only partly based on research. Especially for phosphorus (P), only few research data exist, but the amounts applied are sufficiently large to meet the crop demand with certainty.

A lack of detailed knowledge on the yield responses of vegetables and strawberry to P and nitrogen (N) fertilization was noted when preparing the nutrient application limits in agri-environmental programme for agriculture and horticulture. This research aimed to:

1. determine yield responses to P fertilization of the most widely grown field vegetables and strawberry
2. estimate the farmer's economic optimum of P fertilization
3. determine the quantity and timing of N fertilization needed to obtain high vegetable yields with good quality
4. evaluate fertilization limits of the agri-environmental programme that aims to safeguard yield production of vegetables and strawberry and at the same time minimize the risk for nutrient load to the environment.

In this project, we performed field and pot experiments with the most widely grown vegetables species (onion, cabbage, carrot) and strawberry in 2014-2016. In the field experiments, the effect of different levels of P fertilization on the yield, quality and nutrient uptake of the crops was studied. Part of the experiments was performed on vegetable farms. In pot experiments, the importance of mycorrhizas to the P uptake of strawberry was studied. The economic optimization of P fertilization was analysed utilizing a dynamic model with onion-barley rotation. In regard to N fertilization, we studied the N demand of white cabbage and iceberg lettuce and evaluated the suitability of different methods to estimate the demand for N applications during the growing season.

The effect of P fertilization on crop yields was smaller than expected. The results indicate that P fertilization demand of the studied vegetables is smaller than the P levels allowed in the prevailing agri-environmental programme. The effect of the soil P status on the yield of vegetables could not be determined comprehensively in this study, because of too few study sites. The economic modelling suggested that it may be profitable to invest in the P reserves in soil at low-P soils.

P fertilization recommendations of strawberry should be evaluated critically. In pot experiments, performed in a peat/sand mixture or sterilized soil as growth substrates, ammonium acetate soil test P level of 20 mg P/l was sufficient for obtaining a good yield. However, in soil containing mycorrhiza soil test P level of 5 mg P/l was enough for good growth and yield in both pot and field experiments.

In future recommendations mycorrhiza symbiosis that lowers the critical soil test P level should be taken into account.

Present N fertilization recommendations for white cabbage and iceberg lettuce were sufficient for obtaining good yields. Measurements on the soluble soil N followed logically N fertilization rates and N uptake by plants during the early part of the growing season, but not at later growth stages. Decision on applying additional N during the growing season, i.e. using split N applications, on the basis of NDVI value did not give promising results in these crops. Modelling dry matter production, N uptake and N concentration of white cabbage was fairly successful.

Keywords: phosphorus, nitrogen, mycorrhiza, yield response, nutrients, economy, optimization, vegetables, strawberry, onion, cabbage, carrot, celeriac

Sisällys

1. Fosforista ja fosforilannoituksesta	9
2. Vihannesten lannoituskäytännöt ja nykysuositukset	11
3. Vihannesten fosforilannoitustutkimus	14
3.1. Menetelmät	14
3.1.1. Kenttäkokeet Lukessa	14
3.1.2. Kasvukausien sää vuosina 2014–2016	15
3.1.3. Tilakokeet	17
3.1.4. Havainnot ja mittaukset	17
3.1.5. Tilastollinen käsittely.....	19
3.2. Tulokset.....	19
3.2.1. Sadon määrä ja laatu.....	19
3.2.2. Kasvuston fosforipitoisuudet	26
3.2.3. Maanesteen fosforiseuranta.....	28
3.2.4. Fosforitaseet	31
3.2.5. Varastokestävyys.....	32
3.3. Tulosten tarkastelu	33
3.4. Johtopäätökset	36
4. Optimointimalli sipulin fosforilannoitukselle	38
4.1. Johdanto	38
4.2. Tutkimusaineisto ja satovasteet	38
4.3. Dynaaminen numeerinen optimointimalli.....	40
4.4. Johtopäätökset	41
5. Vihannesten typpilannoitustutkimus	43
5.1. Menetelmät	43
5.1.1. Lajikekokeet vuonna 2014	43
5.1.2. Keräkaalikokeet vuonna 2015	44
5.1.3. Jäävuorisalaattikoe vuonna 2016.....	46
5.1.4. Mallintaminen	47
5.2. Tulokset.....	48
5.2.1. Lajikekokeet 2014	48
5.2.2. Piikkiön koe 2015	50
5.2.3. Tilakoe	54
5.2.4. Jäävuorisalaattikoe 2016.....	56
5.3. Tulosten tarkastelu	61
5.4. Mallinnus	61
5.5. Johtopäätökset	63
6. Kasvianalyysi ravinnetilan kuvaajana	64
7. Mansikan lannoituskäytännöt ja nykysuositukset	67
8. Mansikan fosforilannoitustutkimus	68
8.1. Menetelmät	68
8.1.1. Kasvukausien sää Sotkamossa vuosina 2014–2016	69
8.2. Tulokset.....	70
8.2.1. Kenttäkoe Sotkamossa	70
8.2.2. Astiakokeet Laukaassa	73
8.3. Tulosten tarkastelu	74
8.4. Johtopäätökset	75

Esipuhe

Tämän tutkimuksen taustalla oli tarve saada tutkimukseen pohjautuvaa tietoa vihannesten ja marjakasvien satovasteista fosfori- ja typpilannoitukseen. Tietoa tarvitaan tarkennettaessa lannoituskäytäntöjä entistä kestävämpään suuntaan ja toisaalta ohjattaessa ravinteiden käyttöä mm. maatalouden ympäristöohjelmassa. Aikaisempaa tutkimustietoa etenkin fosforilannoituksen vaikutuksista on Suomen oloista saatavissa peltokasveista, mutta erittäin niukasti puutarhakasveista. Samoin kansainvälisiä julkaisuja puutarhakasvien fosforilannoituksesta on hyvin vähän verrattuna typpilannoituksesta tehtyyn tutkimukseen.

Vihannesten ja mansikan fosforilannoituksen ohella hankkeessa tarkasteltiin vihannesten typpilannoitusta, tavoitteena tarkentaa kasvukaudella annettavan lisälannoituksen määrää ja ajoitusta erilaisten menetelmien avulla.

Tutkimusta rahoittivat Maatilatalouden kehittämisrahasto (Makera) ja Yara Suomi. Esitämme parhaat kiitoksemme rahoittajille mahdollisuudesta toteuttaa tarpeelliseksi koettu tutkimus. Vuonna 2014 osa tilakokeista tehtiin yhteistyössä Etelä-Savon, Pohjois-Savon, Kaakkois-Suomen ja Hämeen ELY-keskusten rahoittaman EKOKas – Luomu- ja IP-kasvistuotannon kehittäminen -hankkeen kanssa. Vuonna 2016 osa tilakokeista tehtiin yhdessä Resurssitehokas vihannestuotanto -hankkeen kanssa, jota rahoittavat Varsinais-Suomen, Hämeen, Etelä-Savon ja Pohjois-Savon ELY-keskukset. Kiitos sujuvasta yhteistyöstä hanketoimijoille ja erityisesti viljelijöille, jotka ovat tarjonneet mahdollisuuden toteuttaa kokeita heidän pelloillaan.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Sini Wallenius (puheenjohtaja, MMM), Antero Nikander (MMM), Pertti Savela (ProAgria), Mikko Jaakkola (Varsinais-Suomen ELY-keskus), Pasi Mattila (Tike/Luke), Jaakko Laurinen (Raisio Oy), Juha Salopelto (AgriMarket), Aleksi Simula (Yara Suomi), Markku Yli-Halla (Helsingin yliopisto), Kimmo Oravuo (Kasviskartano Oy) ja Mika Virtanen (MTK). Lisäksi varajäsenenä ohjausryhmään osallistuivat Marja-Liisa Tapio-Biström (MMM), Terhi Taulavuori (ProAgria), Kaija Salmela (Varsinais-Suomen ELY-keskus), Anneli Partala (Tike/Luke), Aki Finer (Raisio Oy), Raimo Kauppila/Seija Luomanperä (Yara Suomi) ja Airi Kulmala (MTK). Lämpimät kiitokset ohjausryhmälle aktiivisesta osallistumisesta hankkeen seurantaan.

Tekijät

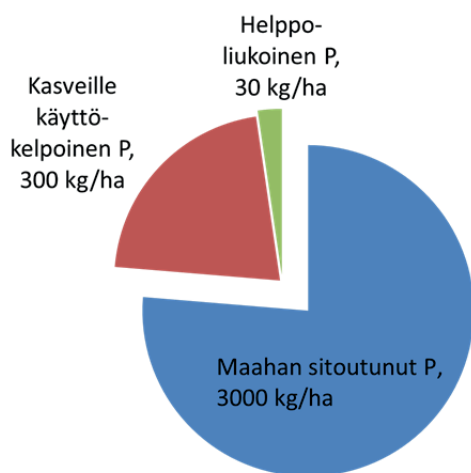
1. Fosforista ja fosforilannoituksesta

Risto Uusitalo

Fosfori on alkuaine, jonka pääasialliset tehtävät kasveissa liittyvät energia-aineenvaihduntaan, geneettisen informaation välittämiseen ja muiden ravinteiden liikkumisen säätelyyn kasvin sisällä. Elävissä kasveissa suurimmat fosforipitoisuudet ovat juurten ja verson kasvupisteissä sekä siemenissä. Fosforin puutteessa kasvin lehtipinta-ala jää pieneksi ja juurten kasvu on heikkoa. Vakava puute laskee satoa ja heikentää sadon laatua. Kasvien ylenmääräinen fosforin otto on harvinaisempaa, ja sen vaikutuksia havaitaan lähinnä hyvin niukkafosforisiin maihin sopeutuneilla kasveilla, joiden kasvua liika fosforin otto voi haitata. Solujen fosforipitoisuuden nousu kasvin optimialuetta korkeammaksi vaikuttaa ravinteiden keskinäiseen tasapainoon ja voi häiritä erityisesti hivenravinteiden normaalia toimintaa kasvissa.

Kasvit ottavat fosforia maanesteestä, jossa sen pitoisuus ja hetkellinen määrä hehtaaria kohti on hyvin pieni. Kiihkeän kasvun aikana kunakin hetkenä maanesteessä olevan fosforin määrä ei riittäisi kattamaan kasvien fosforinottoa edes vuorokaudeksi, ellei fosforia vapautuisi jatkuvasti maahiukkasten pinnoilta maanesteeseen. Kemiallinen tasapainoreaktio maahiukkasten pinnoille pidäytyneen ja maanesteeseen liunneen fosforin pitoisuuksien välillä pitää kuitenkin huolen siitä, että maanesteen fosforipitoisuus on melko vakiosuuruinen huolimatta kasvien fosforin otosta tai lannoitteiden lisäyksestä. Toki pitkäaikainen fosforitaseen ali- tai ylijäämä muuttaa maanesteen fosforipitoisuutta, mutta merkittävä muutos vaatii vuosia jatkuvia taseen ali- tai ylijäämiä.

Muokkauskerroksessa, jonka paksuus on noin 20 cm, on tyypillisellä peltohehtaarilla 3 000–4 000 kg fosforia (Kuva 1). Tästä määrästä vain muutama sata grammaa on maanesteessä, kun taas 300–400 kg/ha on siinä varannossa, joka ylläpitää maanesteen fosforipitoisuutta. Loput fosforista on enemmän tai vähemmän kasveille käyttökelpotonta varantoa, ellei katsanto ole satojen vuosien mittainen. Tosin tästä suuresta, melko pysyvästä varannostakin on havaittu vapautuvan vuosittain 200–300 g/ha, muun muassa mineraalien rapautumisen seurauksena (ks. Peltovuori 2006).



Kuva 1. Fosforimäärän suuruusluokat muokkauskerroksessa pellossa, jonka viljavuustutkimuksen P-luku on 10–15 mg/l maata.

Käytännössä fosforin kokonaismäärää tai kasveille käyttökelpoisen varannon todellista suuruutta maassa ei ole tarpeen tietää. Riittää, että viljavuustutkimuksessa määritetään tietty fosforin jae, jonka tulkinta on kalibroitu lannoituskokeiden avulla. Suomessa käytössä olevalla happamalla ammoni-umasetaattiliuksella saadaan maasta irti ainoastaan fosforin helppoliukoinen jae, joka on yleensä yhden prosentin luokkaa fosforin kokonaismäärästä tai kymmenesosan luokkaa kasveille käyttökelpo-

poisesta varannosta. Viljavuustutkimuksen P-luku on siten käsitettävä ainoastaan indeksilukuna, jonka avulla arvioidaan todennäköisyyttä sille, antaako vuosittainen fosforilannoitus sadonlisiä. Esimerkiksi Suomessa 1950-luvulta lähtien viljoilla ja nurmilla tehtyjen fosforilannoituskokeiden yhteenveto on osoittanut, että sadonlisät ovat todennäköisiä silloin, kun viljavuustutkimuksen P-luku alittaa savi- ja hiekkamailla arvon 6 mg/l, muilla kivennäismailla arvon 10 mg/l ja eloperäisillä mailla arvon 15 mg/l (Valkama ym. 2011 ja 2015). Näitä kriittisiä arvoja suuremmissa P-luvuissa viljojen ja nurmien satovasteet vuosittain lisättävälle fosforille ovat epätodennäköisiä. Vihanneksilla ja marjoilla vastaavia kriittisiä arvoja ei ole määritetty, koska fosforilannoituskokeita ei ole tehty näillä kasveilla Suomessa.

Kun fosforilannoituskokeiden tuloksia löytyy vihanneksille vain vähän, on todellisen fosforilannoitustarpeen arviointi hankalaa. Vihannesten on arveltu tarvitsevan huomattavan paljon enemmän fosforia kuin niiden sadossa korjataan pelloilta pois, koska kasvukautemme on lyhyt ja sen alkaessa maat ovat vielä kylmiä, mikä hidastaa fosforin vapautumista maanesteeseen. Joidenkin kasvien, kuten sipulien, juuristo on matala, minkä vuoksi näille tulee tarjoilla hyvän kasvun varmistava fosforivarrasto juurten ulottuville. Vihannekset ovat myös hinnaltaan arvokkaita kasveja, minkä vuoksi lannoitusteknologia ei ole katsottu olevan kriittinen menoaerä tuotannossa.

Jatkuvat fosforiylijäämät ja niiden myötä fosforin kertyminen maahan ovat kuitenkin yhteydessä maatalouden ei-toivottuihin ympäristövaikutuksiin. Maan fosforipitoisuuden kohotessa fosforia pidättävien maahiukkasten pintojen fosforikyllästys kasvaa, minkä seurauksena maanesteen fosforipitoisuus tasapainottuu aiempaa korkeammalle tasolle. Tämä tasapainon siirtymä korkeampaan pitoisuuteen kasvattaa myös pelloilta poistuvien salaoja- ja pintavaluntavesien liuenneen fosforin pitoisuutta. Veteen liuenut fosfori on vesistöihin päätyessään täysimääräisesti käyttökelpoista ravintoa planktonileville. Koska fosforin saatavuus on pintavesistöissä yleisesti leväkasvua rajoittava minimitekijä, liuenneen fosforin pitoisuuden kasvu edistää vesien rehevöitymistä. Rahallisesti yhden fosforikilon karkaaminen valumavesien mukana pelloilta pois on merkityksetöntä, mutta vesistöissä yksi kilo fosforia voi synnyttää jopa tuhat kiloa levien kuiva-ainetta (ks. Duarte 1992).

Suurten taseyliäämien takia maan fosforipitoisuudet ovat tyypillisesti viljavuusluokitteluasteikkojen yläpäässä alueilla, joilla on runsaasti vihannestuotantoa. Norjassa Bechmann ja Falk Øgaard (2010) vertailivat vihannestuotantoon ja viljantuotantoon keskittyviä alueita keskenään. Heidän tarkastelemallaan vihannestuotantoalueella maan fosforipitoisuudet olivat 2,5-kertaisia ja ojavesien fosforipitoisuudet kaksinkertaisia verrattuna kolmella viljantuotantoalueella dokumentoituihin pitoisuuksiin. Norjassa vihannestuotanto on lisäksi sijoittunut sateisemmille alueille, mikä kasvattaa hehtaarikohtaisia fosforikuormia edelleen; mainitussa tutkimuksessa hehtaarikohtainen fosforikuorma vihannestuotantoalueelta oli yli kuusinkertainen viljantuotantoalueisiin verrattuna. Suomessa vastaavaa vertailua ei liene tehty muutoin kuin MYTVAS2-hankkeen yhteydessä (ks. Turtola ja Lemola 2008). Viidellä MYTVAS-valuma-alueella tehtyjen tilahaastattelujen mukaan tilaluokan ”muut kasvin-tuotantotilat” pelloilla helpoliukoisen fosforin pitoisuudet olivat kaksinkertaisia viljantuotantotilojen peltoihin nähden ja korkeampia kuin kotieläintiloiksi luokiteltujen tilojen pelloilla.

Viitteet

- Bechmann, M. ja A. Falk Øgaard. 2010. Critical source areas of nutrient losses from agriculture in Norway. *Acta Horticulturae* 852: 63-72.
- Duarte, C.M. 1992. Nutrient concentration of aquatic plants: Patterns across species. *Limnology and Oceanography* 37(4): 882-889.
- Peltovuori, T. 2006. Phosphorus in agricultural soils of Finland – characterization of reserves and retention in mineral soil profiles. *Pro Terra* No. 26. ISBN 952-10-3284-7.
- Turtola, E. ja R. Lemola (toim.). 2008. Maatalouden ympäristötuen vaikutukset vesistökuormitukseen, satoon ja viljelyn talouteen v. 2000–2006 (MYTVAS 2). Maa- ja elintarviketalous 120. ISBN 978-952-487-168-6
- Valkama, E., R. Uusitalo ja E. Turtola. 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): 1-15.
- Valkama, E., P. Virkajärvi, R. Uusitalo, K. Ylivainio ja E. Turtola. 2015. Meta-analysis of grass ley response to phosphorus fertilization in Finland. *Grass and Forage Science* 71: 36-53.

2. Vihannesten lannoituskäytännöt ja nykysuositukset

Tapio Salo ja Risto Uusitalo

Vihannesten voimaperäisen viljelyn neuvontaa varten laadittiin Suomessa ensimmäiset oppaat 1960-luvulla (Puutarhaliitto 1967). Tällöin esimerkiksi keräkaalin lannoitukseen suositeltiin tyypeä 170–200 kg/ha ja fosforia 36 kg/ha. Maan fosforipitoisuuden tavoitearvoksi kaalin viljelyyn suositeltiin 65 mg/l. Viljavuuspalvelun ohjeissa 1970-luvun alussa sopivana fosforipitoisuutena avomaan vihannesten viljelyyn mainitaan 50–100 mg/l (Suhonen 1971). 1980-luvulla fosforilannoitustarve oli jo kiinnitetty kasvikohtaisesti maan fosforipitoisuuteen. Esimerkiksi kaalilla maan fosforipitoisuuden nousu 15 mg:sta 70 mg:aan litrassa vähensi suositellun fosforilannoituksen 70 kg:sta 20 kg:aan hehtaaria kohti (Viljavuuspalvelu 1989). Maan suositeltu fosforipitoisuus kaalikasveille oli tällöin 20–60 mg/l.

Nykyisin vihannesten lannoituksen suunnittelussa hyödynnetään viljavuusanalyysin tuloksia, eri kasveille annettuja lannoitussuosituksia (esim. <http://www.farmit.net/kasvinviljely/avomaan-vihannekset>) sekä ympäristökorvauksen ja nitraattiasetuksen asettamia rajoitteita typen ja fosforin käytön suhteen (taulukot 1 ja 2). Useimmille kasveille pääosa ravinteista annetaan ennen kylvöä tai istutusta, ja lähinnä tyypeä lisätään kasvukauden aikana. Maan liukoisen typen mittausta on käytetty apuvälineenä typen tarpeen arvioinnissa kasvukaudella, tuloksia on usein vaikea tulkita lannoituspäätöksiä tehtäessä. Markkinoille on viime vuosina tullut runsaasti uudenlaisia täydennyslannoitteita, mutta niiden käytön ajoittamiseen ei ole toimivia apuvälineitä.

Suomessa viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana tehdyt puutarhatuotannon lannoitustutkimukset ovat keskittyneet yleensä typpilannoituksen tai lannoitusmenetelmien optimointiin. Monissa tutkimuksissa on määritetty tärkeimpien vihannes- ja marjakasvien typen otto suhteessa satotasoihin (Salo 1999, Tahvonen ym. 2001, Suojala ym. 2004). Yhdessä kotimaisen ja kansainvälisen tutkimustiedon avulla on muodostettu kohtuullisen luotettava kuva vihannesten typpitarpeesta, joka on esim. ProAgrian WISU-ohjelmistossa kytketty tavoiteltuun satotasoon tärkeimmillä vihanneslajeilla. Typpilannoituksen optimointia vaikeuttavat maan orgaanisen typen (humus ja kasvijätteet) vapautuminen sekä suurien sateiden ja kastelun aiheuttama mahdollinen typen hävikki (huuhtoutuminen ja denitrifikaatio).

Typpilannoituksen jakamisen arvioinnissa on työkaluna jonkin verran käytetty maan liukoisen typen analyysiä, johon on myös Suomessa esitetty tavoitearvoja vihannesten kasvun eri vaiheissa (http://farmittest.netfactory.hu/sites/default/files/role_12/Kaalikasvien%20lannoitus%20taulukot.pdf). Maan liukoisen typen analytiikan tueksi käytetään useissa maissa laskentamallia tai monipuolisia taulukoita (www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf).

Viime vuosikymmenten aikana tehdyissä ja julkaistuissa tutkimuksissa (mm. Lehtinen 1984, Aura 1985, Salo 1999 ja Suojala ym. 2004) on tutkittu ensisijaisesti typpilannoituksen ajoitusta tai määrää. Vihannesten fosforilannoitusta ei ole Suomessa tutkittu juuri lainkaan. Fosforilannoitusta ohjaavat käytännössä ympäristöohjelman fosforilannoitusrajat (taulukko 2), jotka eivät perustu tutkittuihin satovasteisiin. Sallittu fosforilannoituksen määrä riippuu viljavuusluokasta. Suomessa maan fosforipitoisuuden tulkinta eli jako eri viljavuusluokkiin perustuu menetelmään, joka mittaa maassa liukoisena ja hyvin helposti liukenevassa muodossa olevaa fosforia. Ulkomailla käytössä olevat määrittämenetelmät ovat erilaiset, joten ulkomaisten tutkimusten tulokset eivät ole suoraan sovellettavissa suomalaisiin viljavuusluokkiin.

Taulukko 1. Vihannesten tyypilannoituksen enimmäismäärät ympäristösitoumuskaudella 2014-2020 (<http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/Documents/Ymp%c3%a4rist%c3%b6korvauksen%20sitoumusehtojen%20taulukot.pdf>, lainattu 27.12.2016).

Kasvi	Vähämultaiset ja multavat maat	Runsasmultaiset maat	Erittäin runsasmultaiset maat	Eloperäiset maat
kerä- ja ruusukaali	240	230	220	200
purjo	210	200	190	180
muut sipulikasvit, porkkana	120	115	110	100
muut juurekset	180	170	160	150
palkokasvit	55	50	45	35
kerä- ja lehtisalaatti (yksi sato)	130	120	110	100
kerä- ja lehtisalaatti (kaksi satoa)	190	180	165	150
muut vihannekset (ml. avomaankurkku)	160	150	140	125
siemenmausteet ja yrtit	90	80	70	50

Taulukko 2. Vihannesten fosforilannoituksen enimmäismäärät ympäristösitoumuskaudella 2014–2020 (<http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/Documents/Ymp%c3%a4rist%c3%b6korvauksen%20sitoumusehtojen%20taulukot.pdf>, lainattu 27.12.2016).

Kasvi	Huono/huononlainen	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea	Arveluttavan korkea
kaalit ja sipulit	110	80	60	40	25	10*
juurekset ja varasto-porkkana	100	75	55	35	30	10*
palkokasvit	50	35	25	20	15	10*
muut vihannekset	100	60	50	40	20	10*
yrtit ja siemenmausteet, muut kasvit	28	20	12	8		

* kasvuunlätövaiheen fosforilannoitusta voidaan antaa, jos istutus/kylvö tapahtuu ennen 15.5. Kohdentamisalueen III ulkopuolella 15.6. mennessä.

Fosforilannoituskokeita ja -suosituksia Norjassa

Norjassa tehtiin vuosina 2008–2013 mittavat koesarjat eri vihanneslajien fosforilannoituksesta. Seuraavassa esitetään lyhyt yhteenvedo kokeiden tuloksista, joiden perusteella fosforisuosituksia on tarkistettu alaspäin. Satovasteita on verrattu ilman fosforia viljeltyjen koejäsenten antamiin satoihin ja suositukset on tehty ”optimaalisessa” maan P-tilassa oleville maille.

Valkokaalin sadolle Riley ym. (2012) mittasivat 11 kokeessa keskimäärin 5-7 %:n tilastollisesti merkitsevän sadonlisän fosforilannoituksilla 30 ja 60 kg P/ha. Muovin alla kasvatetulla varhaiskaalilla näytti kuitenkin olevan pienempi fosforin satovaste kuin myöhään korjattavilla lajikkeilla. Varhaiskaalilla tehdyissä kahdessa kokeessa sato näytti kasvavan fosforilannoittamattomasta sadosta 5 %, kun fosforia annettiin 15 kg P/ha. Ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, eivätkä suuremmat lisäykset antaneet enempää sadonlisää. Myöskään sadon laatu tai aikaisuus ei parantunut yli 15 kg P/ha fosforilisillä. Vaikka myöhään korjattavien lajikkeiden sadon mukana poistuu enemmän ravinnetta kuin aikaisin korjattavassa sadossa, Riley ym. (2015) eivät nähneet tarpeelliseksi suositella myöhään korjattaville kasvustoille enempää kuin 30 kg P/ha. Kaalin laajan juuriston katsottiin varmistavan, että kasvi voi hyödyntää hyvin maahan kertynyttä fosforia. Aiempi suositus kaaleille oli 40 kg P/ha.

Kymmenessä sipulikokeissa Riley ym. (2015) eivät löytäneet tilastollisesti merkitseviä sadonlisää fosforilannoituksella, vaikka sadon määrä näytti olevan hieman (noin 5 %) suurempi yli 30 kg P/ha

lannoituksella. Suurten sipulien osuus kuitenkin kasvoi noin 10 % yli 30 kg P/ha lisäysmäärillä. Maan fosforitilalla ei näyttänyt olevan mitään vaikutusta fosforilannoituksen satovasteisiin. Verrattuna hajalevitykseen fosforin sijoitus istutusriviin näytti parantavan fosforin hyödyntämistä ja nostavan satoa 7–12 %. Riley ym. (2012) totesivat fosforin sijoittamisen antavan mahdollisuuden pienentää lisäysmääriä jopa 10–15 kg P/ha. Suositusta sipulille laskettiin Norjassa aiemmasta 60 kg P/ha määrästä hieman (58 kg P/ha), jos fosfori hajalevitetään, mutta selvemmin (tasolle 43 kg P/ha) sijoituslannoitusta käytettäessä.

Porkkanakokeissa (12 kpl) Riley ym. (2015) löysivät fosforilannoittamattomaan satoon nähden 6 %:n tilastollisesti merkitsevän sadonlisän 30 kg P/ha lannoituksella, kun maan P-tila oli ”optimi”. Jos maan P-tila oli tätä korkeampi, sadot näyttivät kasvavan lannoitustasolle 15 kg P/ha, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Varhaismyyntiin muovin alla kasvatetun porkkanan satomäärät kasvoivat 30 kg P/ha lannoitusmääriin asti, vaikka maan P-tila oli korkeampi kuin ”optimi”. Aiempaa suositusta (50 kg P/ha) laskettiin tasolle 40 kg P/ha.

Kahdeksassa parsakaalikokeessa Stubhaug ym. (2015) eivät löytäneet fosforille satovasteita. Alhaisimman P-tilan koemailla sato näytti kasvavan hieman (3 %), mutta sielläkään ei tilastollisesti merkitsevästi. Parsakaalille ja kukkakaalille kirjoittajat suosittivat ”optimissa” olevien maiden P-lisiä vähennettävän 40 kg:sta hehtaarilla tasolle 30 kg/ha ja edelleen tasolle 10–15 kg/ha ”optimia” korkeammassa maan P-luokassa. Aikaisin korjattaville pars- ja kukkakaalin sadoille suositus on 5 kg maittuja suurempi kaikissa maan P-luokissa.

Neljän lanttukokeen perusteella norjalaiset suosittelivat fosforilannoituksen vähentämistä 40 kg:sta hehtaarilla tasolle 25 kg/ha maan P-luokan ollessa ”optimi” ja asteittain 10 kg/ha tasolle tätä korkeimmassa P-luokassa. Fosforilannoitus näytti kasvattavan lanttujen kokoa, mutta tämä aiheutti myyntikelpoisen sadon määrän laskua. Aikaisin korjattaville kasvustoille he suosittelivat 5 kg:n lisäfosforin antamista kaikissa maan P-luokissa.

Myöskään seitsemässä jäävuorisalaatilla tehdyssä kokeessa eivät Stubhaug ym. (2015) havainneet tilastollisesti merkitseviä satoeroja, vaikkakin hienoista sadon kasvua mitattiin 45 kg P/ha tasolle asti. Kerän koko näytti kasvavan fosforilisäysten ansiosta, mikä mahdollistaa hieman aikaisemman sadonkorjuun. Uusi suositus puolitti fosforimäärän tasolle 20 kg P/ha.

Viitteet

- Aura, E. 1985. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 7: 1-61.
- Kivijärvi, P., Hintikainen, V., Tillanen, A., Lehtinen, H., Rahkonen, A., Kuivainen, E., Avikainen, H., Mäki, M., Inkeroinen, H., Pietikäinen, L., Leppänen, E., Kallella, M., Peltue, T. & Alitalo, V. 2015. Kasvisten lajike- ja lannoituskokeet. Tulokooste tilakokeista 2012–2014 Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 75/2015. 71 s.
- Lehtinen, S. 1984. Avomaavihannesten lannoitus- ja kastelukokeet 1978-1983. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 21/84. 62 s.
- Puutarhaliitto 1967. Vihannesviljely avomaalla. Puutarhaliiton opaskirjoja N:o 14. Helsinki. 159 s.
- 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.
- Salo 1999. Effects of band placement and nitrogen rate on dry matter accumulation, yield and nitrogen uptake of cabbage, carrot and onion. *Agricultural and Food Science in Finland* 8: 157-232.
- Stubhaug, E., H. Riley, ja A.Ø. Kristoffersen. 2015. P-gjødsling til brokkoli, blomkål, kålrot og isbergsalat. Nye anbefalinger. Bioforsk Rapport Vol. 10 Nr. 14. ISBN-13: 978-82-17-01397-6.
- Suhonen, I. 1971. Vihannesviljely avomaalla. Puutarhaliiton opaskirjoja N:o 27. Helsinki. 158 s.
- Viljavuuspalvelu. 1989. Viljavuustutkimuksen tulkinta avomaan puutarhaviljelyssä. Helsinki. 16 s.
- Suojala, T., Hoppula, K., Kankaanhuhta, K., Karhula, T., Muuttomaa, E., Outa, P., Peltonen, M., Pulkkinen, J., Tikanmäki, E. & Salo, T. 2004. Puutarhakasvien tiheystalutus ja kastelulannoitus avomaalla: Viljely, teknologia ja talous. *Maa- ja elintarviketalous* 46. 134 s.
- Tahvonen, R., Suojala, T. & Sironen, L. (toim.) 2001. Kasvukauden oloihin sopeutuva puutarhaviljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisu. Sarja A 91. 79 s.

3. Vihannesten fosforilannoitustutkimus

Terhi Suojala-Ahlfors, Risto Uusitalo, Pirjo Kivijärvi ja Timo Hurme

Vihannesten fosforilannoituksen tarvetta tutkittiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Piikkiön ja Mikkelin toimipaikoilla järjestetyissä kenttäkokeissa sekä vihannestiloilla Lounais- ja Itä-Suomessa. Tutkimuksen tavoitteina oli

1. tuottaa tieteellistä tutkimustietoa fosforilannoituksen ja maaperän fosforipitoisuuden vaikutuksista vihannesten satoon
2. tuottaa viljelijöille tietoa fosforilannoituksen taloudelliseen optimointiin
3. arvioida ympäristökorvausjärjestelmän lannoiterajoja koetulosten perusteella.

Tutkimus kohdistui erityisesti tärkeimpiin Suomessa viljeltäviin lajeihin, kuten sipuli, keräkaali ja porkkana.

3.1. Menetelmät

3.1.1. Kenttäkokeet Lukessa

Luken kenttäkokeiden koekasvit olivat keräkaali (varastolajike 'Lennox') ja sipuli (lajike 'Setton'). Mikkelissä kokeet sijaitsivat P-luvultaan välttävän/tyydyttävän viljavuusluokan peltolohkolla, jossa maalaji oli multava tai runsasmultainen karkea hieta (taulukko 3). Piikkiössä kokeet toteutettiin kahdella P-luvultaan erilaisella loholla. Matalan P-luvun loholla fosforin viljavuusluokka oli välttävä/tyydyttävä ja maalaji runsasmultainen hiuesavi. Korkean P-luvun loholla fosforin viljavuusluokka oli hyvä/korkea ja maalaji multava tai runsasmultainen karkea hieta. Kokeet sijaitsivat jokaisena vuonna samoilla peltolohkoilla, mutta niiden eri kohdissa.

Kokeissa verrattiin neljää eri fosforilannoitusmäärää, jotka vaihtelivat nolasta ympäristökorvauksen maksimiin tai sen ylittävään määrään (taulukko 4). Välttävän/tyydyttävän P-luokan lohkoilla suurin P-lannoitusmäärä oli 100 kg/ha ja korkean P-luvun loholla 30 kg/ha. Pelloilla oli lisäksi mukana starttilannoituskäsittely, jossa P-lannoitustasoon 20 kg/ha lisättiin istutuksen yhteydessä Yaran Ferticare 10-52-17 (N10, P 23, K 14) -lannoitetta 45 kg/ha, jossa tuli lisäksi fosforia 10 kg/ha. Tätä käsittelyä ei ollut Piikkiön kokeissa vuonna 2014. Sipulilla ja keräkaalilla käytettiin samoja P-lannoitusmääriä.

Lannoituskäsittelyt toteutettiin niin, että muita ravinteita kuin fosforia annettiin samat määrät kaikkiin käsittelyihin. Täten lannoitus koostettiin useista eri lannoitteista. Lannoitusohjelmat suunnitelti Yara Suomen asiantuntija. Lannoitteet levitettiin käsin erikseen jokaiseen koeruutuun ja muokattiin noin 10 cm:n syvyyteen. Kaliumin levitysmäärä oli peruslannoituksessa 120 kg/ha, ja lisälannoituksessa sipulille annettiin kaliumia 84 kg/ha ja kaalille 140 kg/ha. Typeä annettiin peruslannoituksessa molemmille kasveille 80 kg/ha, ja kesän aikana lisätypeä levitettiin sipulille 27 kg/ha ja kaalille 131 kg/ha (3-4 kertaan jaettuna).

Taulukko 3. Luken kokeiden koeruutujen fosforiluvut (mg/l) keväällä ennen lannoitusta.

Kasvi	Paikka	Pellon P-luokka	2014	2015	2016
sipuli	Piikkiö	välttävä/tyydyttävä	4,8-7,5	2,7-6,2	4,2-6,1
	Piikkiö	korkea	31-42	27-33	27-42
	Mikkeli	välttävä/tyydyttävä	6,3-7,8	6,5-8,2	8,5-15
keräkaali	Piikkiö	välttävä/tyydyttävä	4,7-7,6	3,4-5,3	5,0-6,8
	Piikkiö	hyvä/korkea	20-32	20-27	29-43
	Mikkeli	välttävä/tyydyttävä	5,3-9,0	6,1-8,7	6,8-13

Taulukko 4. Luken kenttäkokeiden koepaikat ja vertailut fosforilannoitusmäärät.

Kasvi	Paikka	Pellon P-luokka	P-lannoitustasot (kg/ha)				
			0	20	50	100	20+10 (startti)*
sipuli	Piikkiö	välttävä/tyydyttävä	0	20	50	100	20+10 (startti)*
	Piikkiö	korkea	0	5	15	30	
	Mikkeli	välttävä/tyydyttävä	0	20	50	100	20+10 (startti)
keräkaali	Piikkiö	välttävä/tyydyttävä	0	20	50	100	20+10 (startti)*
	Piikkiö	hyvä/korkea	0	5	15	30	
	Mikkeli	välttävä/tyydyttävä	0	20	50	100	20+10 (startti)

* Starttilannoituskäsittely Piikkiössä vain vuosina 2015 ja 2016.

Koemalli oli täydellisten satunnaistettujen lohkojen koe, jossa oli neljä lohkoa. Sipuliruudun koko oli 1,5 m × 6 m vuosina 2014 ja 2015 ja viimeisenä koevuonna 1,5 m × 5 m. Sato mitattiin koeruuden kahdesta keskimmaisesta rivistä 3-5 metrin matkalta. Koealueen reunoilla oli suojaruudut. Kaaliruutujen koko oli Piikkiössä 3 m × 5,4 m, jossa oli 45 tainta. Vuoden 2016 matalamman P-luokan kokeessa koeruutujen koko oli poikkeuksellisesti 3,6 m × 4,2 m, ja ruudussa oli 42 tainta. Mikkeliissä kaali-koeruutujen koko oli kaikkina koevuosina 3,6 m × 5,4 m, jossa oli 42 tainta. Kaalit istutettiin käsin 60 cm × 60 cm:n välein. Sato mitattiin ruudun keskimmaisista 20–21 taimesta.

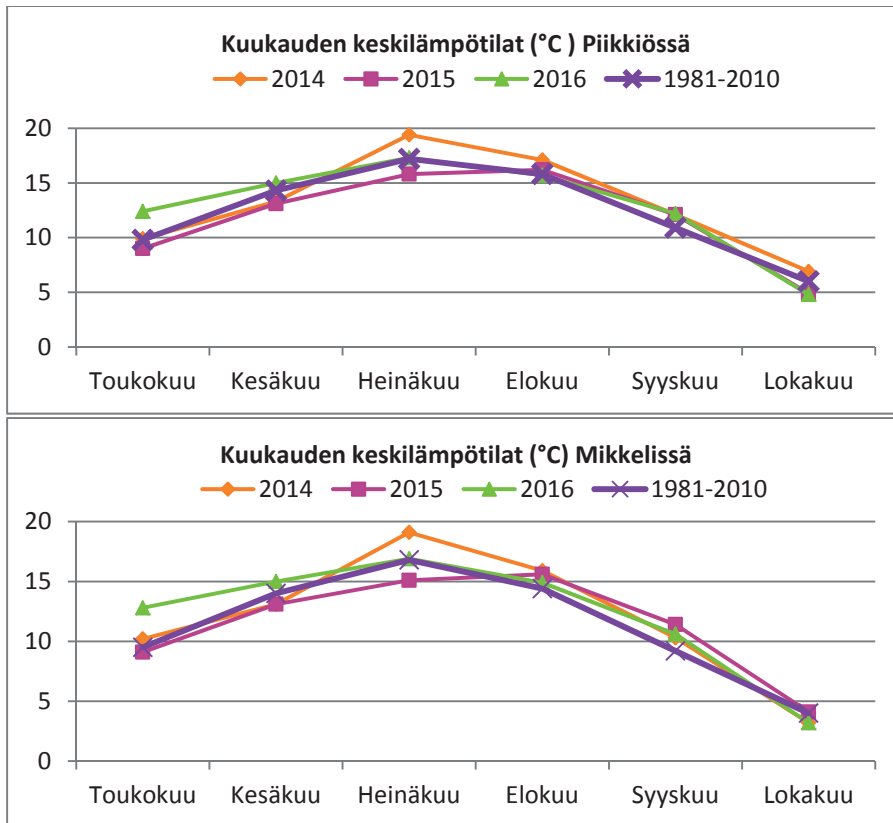
Sipulikokeet perustettiin toukokuussa (Piikkiössä istutuspäivät 8.-9.5.2014, 11.-13.5.2015, 10.-11.5.2016 ja Mikkeliissä 20.5.2014, 26.5.2015 ja 12.5.2016). Naattihometta vastaan lämpökäsitellyt ja peitatut istukkaat istutettiin neljään riviin 7 cm:n taimivälein. Rivien väli penkeissä oli 30 cm ja käytävän leveys 60 cm.

Kaalikokeet istutettiin Piikkiössä 26.-27.5.2014, 25.-26.5.2015 ja 24.-25.5.2016 ja Mikkeliissä 28.5.2014, 28.5.2015 ja 27.5.2016. Kaalit peitettiin viljelyn ajaksi hyönteisverkolla tuholaisien torjumiseksi. Verkko avattiin vain lisälannoituksia varten, ja samalla harattiin rikkakasveja. Kokeita kasteltiin tarvittaessa sadettamalla.

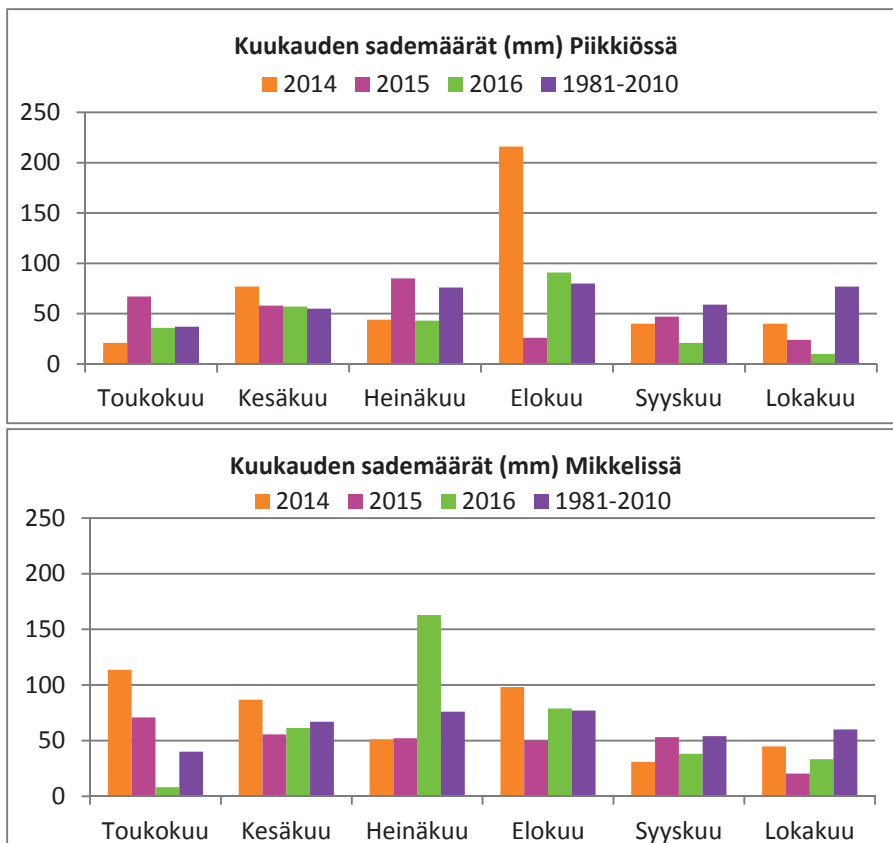
3.1.2. Kasvukausien sää vuosina 2014–2016

Kasvukausien 2014–2016 sää tiedot Piikkiössä ja Mikkeliissä on esitetty kuvissa 2-3. Kasvukaudella 2014 erityisesti heinäkuu oli selvästi keskimääräistä lämpimämpi. Kesällä 2015 kesä- ja heinäkuu olivat vertailukauden keskiarvoja viileämpiä, mutta elo- ja syyskuu lämpimiä. Kasvukauden 2016 lämpötilat olivat lähellä keskimääräisiä arvoja, mutta toukokuu oli tavanomaista lämpimämpi.

Sademääriltään kasvukaudet vaihtelivat paljon. Toukokuu 2014 oli Mikkeliissä sateinen, mikä viivytti istutuksia, ja myös kesäkuussa satoi melko runsaasti. Sen sijaan Piikkiössä sademäärä oli kasvukautena 2014 muuten vähäinen, mutta elokuussa satoi yli 200 mm. Kasvukauden 2015 sademäärät olivat lähellä keskimääräisiä, tosin Piikkiössä elokuu oli erityisen kuiva. Kasvukauden 2016 sademäärät vaihtelivat huomattavan paljon maan eri osissa: Piikkiössä koko kasvukausi ja erityisesti syyslokakuu olivat vähäsateisia, mutta Mikkeliissä sadetta saatiin kuivan toukokuun jälkeen runsaammin; etenkin heinäkuussa satoi keskimääräistä selvästi enemmän (yli 160 mm). Molemmilla koepaikoilla syksyt olivat varsin kuivia.



Kuva 2. Kuukausittaiset keskilämpötilat ja vertailuarvot vuosilta 1981–2000 Ilmatieteenlaitoksen sääasemilla Luke Piikkiössä ja Mikkelin lentokentällä.



Kuva 3. Kuukausittaiset sadesummat ja vertailuarvot vuosilta 1981–2000 Ilmatieteen laitoksen sääasemilla Luke Piikkiössä ja Mikkelin lentokentällä.

3.1.3. Tilakokeet

Tilakokeissa tutkittiin fosforilannoituksen vaikutusta vihannesten satoon vertaamalla ilman fosforilannoitusta viljeltyjä koeruutuja viljelijän loholla käyttämään fosforilannoitukseen. Ensimmäisen vuoden sellerikokeissa vertailtavana oli kaksi eri fosforilannoitustasoa. Tilakokeita järjestettiin porkkana-, mukulaselleri- ja keräkaaliviljelmillä (taulukko 5).

Fosforilannoittamattomat nollaruudut sijoitettiin kolmeen eri kohtaan peltolohkoa, ja nollaruudun rinnalla oli normaalisti lannoitettu verranneruutu. Nollaruudut lannoitettiin käsin hajalevittämällä niin, että niille annettiin samat määrät muita pääravinteita kuin verranneruuduille. Hivenravinteiden määriä ei aina pystytty tasaamaan verranneruutujen kanssa. Joissain tapauksissa myös verranneruudut lannoitettiin käsin viljelijän käyttämällä lannoitteilla, mutta useimmiten viljelijä lannoitti ne itse oman käytäntönsä mukaisesti. Nollaruudut peitettiin tarvittaessa pressulla kevätlannoituksen ajaksi, jottei niille joutunut pellon muita lannoitteita. Koeruutujen koko vaihteli kasveittain ja pelloittain 15 ja 70 neliömetrin välillä. Viljelijät hoitivat koeruutuja normaalien viljelykäytäntöjensä mukaisesti.

Taulukko 5. Tilakokeet ja niissä vertailut fosforilannoitusmäärät.

Kasvi	Maakunta	Pellon P-luokka	P-lannoitustasot (kg/ha)	
2014				
keräkaali	Satakunta	korkea	0	30
porkkana	Satakunta	arv. korkea	0	20
porkkana	Häme	korkea	0	25
porkkana ¹⁾	Pohjois-Savo	hyvä	0	28
porkkana ¹⁾	Pohjois-Savo	hyvä-korkea	0	27
mukulaselleri	Varsinais-Suomi	välttävä	30	76
2015				
varhaiskaali	Varsinais-Suomi	korkea-arv.korkea	0	10
porkkana	Varsinais-Suomi	välttävä	0	40
porkkana	Etelä-Savo	tyydyttävä	0	20
mukulaselleri	Varsinais-Suomi	hyvä-korkea	0	30
2016				
varhaiskaali	Varsinais-Suomi	korkea ²⁾	0	38
porkkana	Varsinais-Suomi	välttävä-tyydyttävä	0	23
porkkana ³⁾	Pohjois-Savo	välttävä	0	46
mukulaselleri	Varsinais-Suomi	hyvä	0	35

¹⁾ toteutettu yhteistyössä EKOkas-hankkeen kanssa

²⁾ lannoitus suunnittelun pohjana olleessa viljavuusanalyysissä P-luokka hyvä

³⁾ toteutettu yhteistyössä Revi-hankkeen kanssa

3.1.4. Havainnot ja mittaukset

Maa-analyysit

Kaikissa kokeissa otettiin ennen kevätlannoitusta maanäytteet erikseen jokaisesta koeruudusta muokkauskerroksen syvyydeltä. Sadonkorjuun jälkeen otettiin uudet maanäytteet koeruuduittain. Näytteistä analysoitiin Eurofins Viljavuuspalvelussa viljavuusanalyysin perustutkimuspaketin sisältämät ominaisuudet (pintamaan maalaji, multavuus, johtoluku, happamuus, Ca, P, K, Mg ja S) ja osasta kevään näytteitä myös hivenravinteet (B, Cu, Mn, Zn).

Sipulikokeissa seurattiin viikottaisilla 0-7 cm:n syvyydeltä otetuilla maanäytteillä maanesteen liukoisin fosforin pitoisuutta. Näytteet otettiin sipulirivien välistä koejäsenistä, joihin fosforia ei lisätty lainkaan (P0-käsittely) ja korkeimman fosforitason koejäsenistä (P30- tai P100-käsittelyt). Näytteet otettiin mainittujen käsittelyjen kaikista neljästä kerranteesta ja analysoitiin erikseen. Maat pakastet-

tiin välittömästi näytteenoton jälkeen ja pidettiin pakastettuina analyysiin asti. Maat otettiin sulamaan 16 tuntia ennen määrittämisen tekemistä huoneenlämpöön. Kustakin maanäytteestä otettiin 25 ml:n osanäyte, johon lisättiin 50 ml vettä. Lietosta ravisteltiin voimakkaasti yhden minuutin ajan, minkä jälkeen ne sentrifugoitiin (3000 g:n voimalla) 10 minuuttia ja erottunut neste suodatettiin 0,2 µm:n suodatinkalvon läpi. Suodoksen fosforipitoisuus mitattiin molybdaatti-askorbiinihappomenetelmällä.

Ravinneanalyysit kasveista

Kasvustoista otettiin kesällä lehtinäytteitä. Sipulista näytteet otettiin 5-lehtivaiheessa kesäkuun loppupuolella, keräkaalista kerimisen alkaessa heinäkuussa tai elokuun alussa ja porkkanasta lehdistön ollessa noin 15 cm korkea heinäkuussa. Selleripelloilta kasvinäytteitä otettiin vain vuonna 2016 heinäkuussa. Sipuli-, porkkana- ja sellerikokeissa näytteet otettiin koeruutukohtaisesti. Keräkaalissa näytteet otettiin käsittelyittäin (1 näyte/käsittely) vuosina 2014–2015 ja koeruutukohtaisesti vuonna 2016. Mikkelin keräkaalikokeesta näytteitä ei otettu vuonna 2016 kaalikoivioitusten takia.

Kasvustonäytteet analysoitiin pääosin Yaran laboratoriossa Englannissa, mutta osa lähetettiin Viljavuuspalveluun. Satonäytteiden määritykset tehtiin Luke Jokioisten laboratoriossa lukuun ottamatta osaa vuoden 2014 näytteistä, joiden analyysit tehtiin Viljavuuspalvelussa. Yaran laboratoriossa näytteen fosfori liuotettiin mikroaaltolahotuksessa typpihapon kanssa. Luken laboratoriossa näyte hajotettiin märkäpoltossa typpihapon avulla. Viljavuuspalvelussa näyte poltettiin 550 °C, ja polton jälkeen tuhka liuotettiin suolahappoon. Kaikissa laboratoriossa fosforipitoisuus määritettiin suodatetusta uutoliuoksesta plasmaemissiospektrometrillä (ICP-OES). Kaikki menetelmät ovat yleisesti käytössä kasvinäytteiden kokonaisfosforin määrityksessä, ja niiden tulokset ovat keskenään samaa tasoa.

Kasvu, sato ja varastointikestävyys

Sipulikokeissa havainnointiin kasvua kesäkuun alkupuolella laskemalla lehtien lukumäärä ja mittamalla lehdistön korkeus 16 kasvista/ruutu. Kasvuston tuleentumista seurattiin heinä-elokuussa laskemalla 60 havaintokasvista/ruutu niiden sipuleiden määrä, joiden lehdistö oli taittunut maahan sipulin ”niskasta”.

Sipulisato korjattiin elo-syyskuussa, kun kasvusto oli tuleentunut eli kasvien naatit pääosin kaatuneet maahan. Sipulit nostettiin naatteineen ja kuivattiin lavakuivurissa. Sato punnittiin heti sadonkorjuun jälkeen naatteineen sekä kuivauksen ja kauppakunnostuksen jälkeen. Kauppakunnostettaessa poistettiin kuivat naatit ja irtonaiset kuoret sekä lajiteltiin tautien vioittamat sipulit erilleen. Tuloksista laskettiin kokonais- ja kauppakelpoinen sato pinta-alaa kohti sekä sipulien keskipaino. Korjuun yhteydessä otettiin 15 sipulia joka ruudusta kuiva-aine- ja ravinnemäärityksiin. Näistä eroteltiin sipuliosat ja naatit, ja molemmista määritettiin tuore- ja kuivamassat (kuivaus 60 asteessa). Kuivat näytteet lähetettiin ravinneanalyysiin Luken Jokioisten laboratorioon.

Kaalikokeissa sadonkorjuu ajoittui syys-lokakuun vaihteeseen. Korjuun jälkeen sato lajiteltiin ja punnittiin. Tuloksista laskettiin kokonais- ja kauppakelpoinen sato pinta-alaa kohti sekä kerien keskipaino. Korjuun yhteydessä otettiin neljä kasvia joka ruudusta kuiva-aine- ja ravinnemäärityksiin. Näistä eroteltiin kerät ja muut maanpäälliset osat, ja molemmista määritettiin tuore- ja kuivamassat (kuivaus 60 asteessa). Kuivat näytteet lähetettiin ravinneanalyysiin Luken Jokioisten laboratorioon.

Tilakokeissa sadonkorjuu ajoitettiin hieman ennen viljelijän tekemää sadonkorjuuta. Koeruutuihin merkittiin näytealat, joilta nostettiin sato kokonaisuudessaan. Keräkaali- ja sellerikokeissa sato punnittiin saman tien pellolla. Porkkanakokeissa sato lajiteltiin tarkemmin noston jälkeen ja punnittiin lajittelun jälkeen. Sadonkorjuun yhteydessä otettiin näytteet ravinneanalyysiin sadosta ja muista maanpäällisistä kasvinosista. Näytteet kuivattiin ja toimitettiin ravinneanalyysiin Luken Jokioisten laboratorioon.

Piikkiön sipulikokeiden sato varastoitettiin kylmävarastossa säilyvyyden selvittämiseksi. Jokaisesta koeruudusta varastoitettiin 8-10 kg:n erä sipuleita verkkosäkeissä noin 0-1 asteen lämpötilassa. Varastotulos arvioitiin helmi-maaliskuussa lajittelemalla erikseen kauppakelpoiset ja pilaantuneet sipulit.

Samoin useimmista porkkanakokeista otettiin näytteet varastointikokeisiin. Porkkanat varastoitiin kudotuissa PP-säkeissä (8-10 kg/ruutu) joko Luken varastossa Piikkiössä tai tilan omassa varastossa. Varastointitulokset analysoitiin kerran talven aikana helmi-maaliskuussa.

3.1.5. Tilastollinen käsittely

Fosforilannoituskokeiden tulokset analysoitiin SAS 9.4 -ohjelmistolla koekohtaisesti. Luken kenttäkokeiden tilastollisissa analyysissa aineistoihin sovitettiin satunnaistettujen täydellisten lohkojen koeasetelman mukainen malli, jossa kiinteänä selittävänä muuttujina oli fosforilannoitusmäärä (kategorinen muuttuja) ja satunnaistekijänä lohko. Mikäli fosforilannoituksen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä, tarkasteltiin eri käsittelyiden eroja nollakäsittelyyn verrattuna.

Tilakokeiden aineisto käsiteltiin kasveittain (porkkana ja mukulaselleri) erikseen, mutta kaikki koevuodet ja -paikat otettiin mukaan samaan analyysiin. Käytetty tilastollinen malli ottaa huomioon, että yksittäiset kokeet oli toteutettu satunnaistettujen täydellisten lohkojen kokeina, ja mahdollistaa usean kokeen analysoinnin yhdessä (koesarjana). Kiinteitä selittäviä muuttujia olivat fosforilannoitus, koe (paikan ja vuoden yhdistelmä) ja näiden yhdysvaikutus. Satunnaistekijänä oli lohko (kunkin kokeen sisällä).

Tilastollisella analyysillä tutkittiin myös kesän aikaisen kasvianalyysin fosforipitoisuuden yhteyttä satoon tai sadon fosforin ottoon kasveittain, mutta ottaen koevuodet ja -paikat samaan analyysiin (koesarjana). Näissä tarkasteluissa myös Luken kenttäkokeet analysoitiin koesarjana. Erona edellä mainittuihin tarkasteluihin oli myös se, että kategorisen fosforilannoitusmäärän sijasta kasvin fosforipitoisuutta käytettiin jatkuvana selittävänä muuttujana. Muilta osin käytettiin aiempaa vastaavaa lähestymistapaa eli huomioitiin satunnaistettujen täydellisten lohkojen koeasetelma (lohko satunnaistaikutuksena) ja analysoitiin aineisto koesarjana, jolloin tilakokeiden osalta malliin otettiin mukaan koe (paikan ja vuoden yhdistelmä) ja sen yhdysvaikutukset sekä kenttäkokeiden osalta vuosi ja koepaikka sekä niiden yhdysvaikutukset.

3.2. Tulokset

3.2.1. Sadon määrä ja laatu

Sipuli

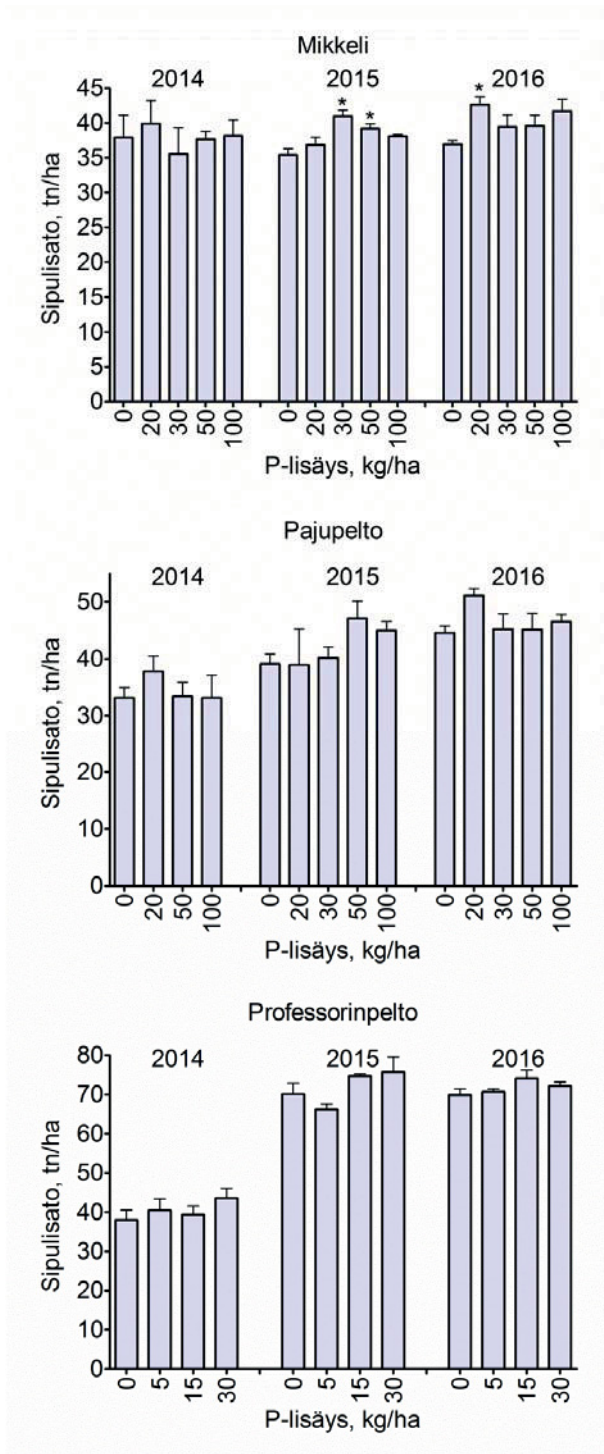
Luken eri koepaikoilla tehdyistä yhdeksästä yksittäisestä kokeesta (kolme koepaikkaa, kolme vuotta) laskettu P0-koejäsenten keskiarvosato oli sipulilla 45 tn/ha ja keskimääräinen fosforilannoituksella saatu sadonlisä oli 2,6 tn/ha. Sipulille saatiin siten fosforia lisäämällä keskimäärin 6 %:n sadonlisä. Suurimmat sadonlisät saatiin Piikkiön savimaalla (Pajupelto), jossa eri fosforilisäyksillä saatiin 7–10 % enemmän satoa kuin P0-koejäsenestä. Mikkelin hietamaalla kolmen vuoden sadonlisät olivat keskimäärin 5-8 % ja Piikkiön hiedalla (Professorinpelto) korkeintaan 7 % (-3:sta +7 %:iin).

Yksittäisinä koevuosina tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) P0-koejäsentä suurempia satoja saatiin fosforilannoitetuilla koeruuduilla ainoastaan Mikkelin kokeissa vuosina 2015 ja 2016 (kuva 4, taulukko 6). Mikkelin kokeiden P0-koejäsenten sipulisato pysyi samalla tasolla 35–38 tn/ha jokaisena koevuotena. Vuoden 2014 satovasteet fosforilannoitukselle jäivät Mikkelissä pieniksi (-6:sta +5 %:iin) eivätkä millään lisäysmäärällä poikenneet tilastollisesti merkitsevästi P0-koejäsenen sadosta. Merkitsevät satovasteet saatiin vuonna 2015 fosforilisäyksillä 30 ja 50 kg P/ha (16 ja 11 %) ja vuonna 2016 lisäyksellä 20 kg P/ha (15 %). Vuonna 2016 Mikkelissä saatu (13 %:n) sadonlisä fosforimäärällä 100 kg P/ha oli lähes tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,054$).

Piikkiön savimaalla (Pajupelto) satomäärissä oli huomattavaa vaihtelua siten, että P0-koejäsenen sato asettui eri vuosina 33 ja 45 tn/ha välille. Tilastollinen testi ei tunnistanut eroja sadon määrissä lannoituskäsittelyjen välillä, mikä johtui suurehkosta käsittelyjen sisäisestä vaihtelusta. Fosforilisäys 20 kg P/ha tuotti kuitenkin kahtena vuonna (2014 ja 2016) suurimmat satomäärät (keskimääräinen

sadonlisä 14 ja 15 %), kun taas vuonna 2015 suurin sadonlisä (20 %) saatiin fosforilisäyksellä 50 kg P/ha.

Piikkiön hietamaalla (Professorinpelto) sipulisadon määrä P0-koejäsenissä vaihteli huomattavasti: vuonna 2014 sato oli 38 tn/ha, mutta seuraavina vuosina noin 70 tn/ha. Vuoden 2014 P30-käsittelyn sadonlisä oli tilastotestin mukaan lähes merkitsevä ($p=0,076$). Sato oli tällöin 30 kg P/ha lannoitusmäärällä 15 % suurempi kuin P0-käsittelyssä. Kahtena seuranneena vuotena sadonlisät (6-7 %) olivat suurimpia P15-lannoitustasolla.



Kuva 4. Sipulin kuivattu sato Luken koepaikoilla vuosina 2014–2016. Tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) P0-käsittelyä suuremmat sadot on merkitty tähdellä. Virhejanat näyttävät keskiarvon keskivirheen suuruuden.

Taulukko 6. Fosforilannoituksen antamien sadonlisien tilastollinen merkitsevyys (p -arvot) Luken sipulikokeissa. Eri fosforilannoitusportailta saatua satoa on verrattu P0-käsittelyn satomäärään. Tilastollisesti lähes merkitsevät sadonlisät on lihavoitu ja erittäin merkitsevät sadonlisät lihavoitu ja kursivoitu.

	Fosforilannoituskäsittelyjen tuottamien sadonlisien tilastollinen merkitsevyys (p-arvo) verrattuna P0-käsittelyyn			
	P20	P30	P50	P100
Mikkeli				
2014	0,792	0,688	1,000	1,000
2015	0,547	0,001	0,016	0,097
2016	0,021	0,424	0,388	0,054
Piikkiö, Pajupelto	P20	P30	P50	P100
2014	0,544	-	1,000	1,000
2015	1,000	0,996	0,240	0,418
2016	0,105	0,997	0,998	0,881
Piikkiö, Professorinpelto	P5	P15	P30	
2014	0,550	0,855	0,076	
2015	0,739	0,535	0,538	
2016	0,948	0,127	0,532	

Sipulin satovasteyhtälö

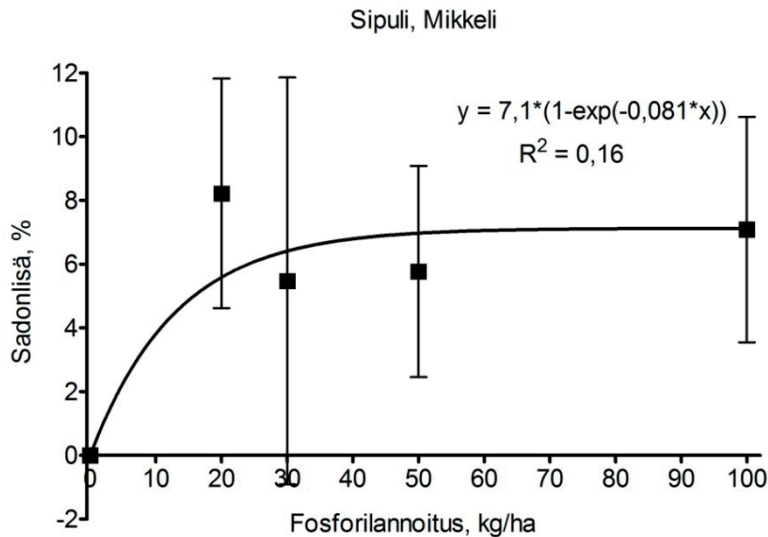
Tehtäessä yhteenvedoa useamman vuoden lannoituskokeista on vakiintunut käytäntö sovittaa tulokset satovastefunktioiden muotoon. Fosforilla ei (joitakin kasveja lukuun ottamatta) ole havaittu suoranaisia myrkyvaikutuksia, eivätkä sadot pääsääntöisesti käänny laskuun fosforilannoituksen lisäämisen vuoksi. Fosforikokeisiin soveltuva satovastefunktio noudattaa siten niin sanottua vähenevien rajatuottojen lakia. Tämän muotoisissa yhtälöissä satovaste (silloin kun sitä esiintyy) ensin kasvaa, kun fosforia lisätään nollassa, mutta satovaste tasaantuu sen jälkeen, kun joku muu kasvutekijä (viimeisenä kasvin geneettinen satopotentiali) alkaa rajoittaa enempää sadonmuodostusta. Sadon kasvun tasaantumispisteessä kasveilla on jo ulottuvillaan se määrä fosforia, jonka ne pystyvät hyödyntämään.

Satovastefunktiot kirjoitetaan yleisesti Mitscherlichin yhtälön muotoon: $y = a \cdot (1 - \exp(-k \cdot x))$. Mitscherlichin yhtälössä sadon (tai sadonlisän) maksimitasoa edustaa termi "a". Satovaste voidaan laskea sadon todellisina määrinä (kg/ha) tai sadonlisinä suhteessa P0-koejäsenen, mikä kertoo prosentuaalisen sadonlisäyksen verrattuna ilman fosforilisäystä saatuun satoon. Seuraavissa kappaleissa käytämme suhteellisia sadonlisäyksiä, joiden avulla voidaan arvioida lannoituksen kannattavuutta sato-tasosta riippumatta.

Sipulin satovasteyhtälö on kuvassa 5 laskettu Mikkelin kokeiden perusteella, koska ainoastaan tällä koepaikalla fosforilannoitus tuotti tilastollisesti merkitseviä satovasteita. Mikkeliissä satovasteen maksimitaso on kaikkien kolmena vuotena tehtyjen kokeiden mukaan lasketun mallin perusteella 7,1 % suurempi kuin P0-koejäsenen sato. Kun Mikkelin hietamaan P-luokka on "välttävä", sallii ympäristökorvausjärjestelmä lannoituksen 80 kg P/ha. Kuvasta 5 voidaan todeta, että lannoitustasolla 80 kg P/ha satovasteita ei enää esiinny. Kokeessa mitattujen satojen perusteella jo 20 kg P/ha on antanut täyden sadon (mitattu keskimääräinen satovaste P20-koejäsenissä oli 8 %), mutta mallin mukaan tarvittaisiin noin 30 kg P/ha lannoitus antamaan lähes kaiken (95 %) siitä sadonlisästä mitä fosforilannoituksen avulla on odotettavissa. Jos sipulisadosta saataisiin tuloa 300-750 eur/tn¹, kuvan 5 mu-

¹ Sadon hinnan vaikutus kannattavan lannoitusmäärän laskennassa on näin korkeilla sadon hinnoilla suhteellisen pieni. Lannoituksen kannattavuuslaskelma riippuu voimakkaammin satovastekäyrän muodosta.

kaisella satovasteella saadaan lannoitefosforikilon ostohinta (noin 2 eur/kg) katettua noin 40-50 kg P/ha lannoitustasolla, minkä jälkeen lannoite alkaa maksaa enemmän kuin siitä sadonlisän kautta saatava lisätulo.



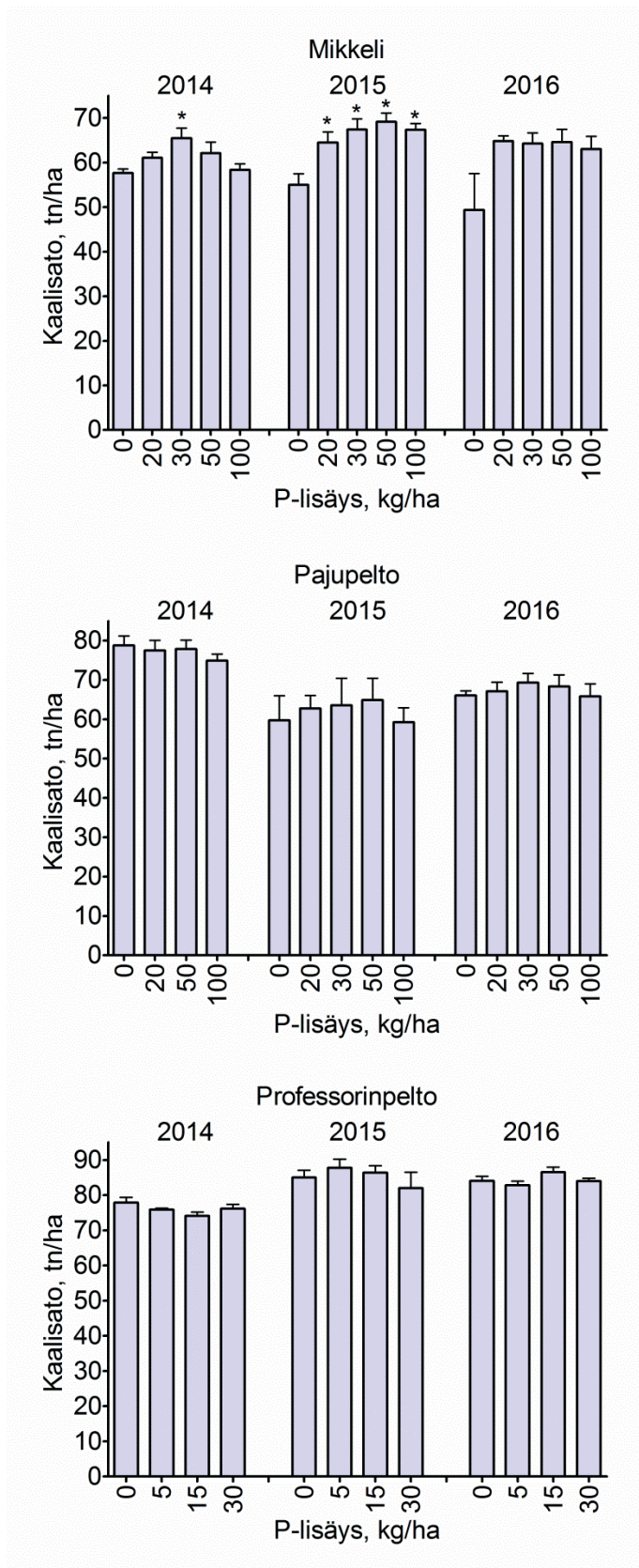
Kuva 5. Mitscherlichin yhtälön mukainen sipulin satovaste Mikkelin kokeissa. Y-akselilla on fosforilisäyksillä saatu sadonlisä suhteessa P0-koejäsenen satoon. Yhtälön luku 7,1 on fosforilannoituksen antama sadonlisän maksimi (7,1 %:n lisäys), ja luku -0,081 kuvaa käyrän nousun jyrkkyyttä ennen satovasteen tasaantumista. Fosforilannoitus selitti 16 % aineistossa esiintyvistä vaihtelusta.

Keräkaali

Luken koepaikoilla keräkaalin keskisato P0-koejäsenissä koko koeaikana oli keskimäärin reilut 68 tn/ha ja fosforilisäyksillä saatiin keskimäärin 3,6 tn/ha sadonlisää, eli noin 7 %:n satovaste. Koepaikoista Mikkeliissä eri fosforilisäyksillä saatiin kolmen vuoden keskiarvoina 16–22 % sadonlisät, kun taas Piikkiön kokeissa fosforilannoitettujen koejäsenten sadot olivat keskimäärin samansuuruisia kuin P0-koejäsenissä (satovasteen vaihtelu kolmen vuoden keskiarvoina -3 ja +3 %:n välillä).

Mikkelin kokeissa kaalin sato P0-koejäsenissä vaihteli vuosittain 49–58 tn/ha välillä. Tällä koepaikalla tilastollisesti merkitseviä sadonlisä löydettiin jokaisena koevuotena. Vuoden 2014 suhteellinen sadonlisä oli eri lisäysten keskiarvona 7 %, ja suurin suhteellinen sadonlisä (13 %) saatiin P30-käsittelystä, jossa oli ainoa tilastollisesti merkitsevästi suurempi sato vuoden 2014 kokeessa. Vuonna 2015 kaikki fosforilisäykset antoivat tilastollisesti merkitsevästi suuremman sadon kuin P0-käsittely. Vuoden 2015 keskimääräinen satovaste fosforille oli 22 % ja suurin sadonlisä (26 %) tuli 50 kg P/ha lisäyksellä. Vuoden 2016 keskimääräiset sadonlisät olivat tilastotestin mukaan lähes merkitseviä ($p=0,068-0,081$) 20–50 kg P/ha lannoitustasoilla, noin 30 %:n satovasteella. Suurin sato, 31 %:n satovasteella, saatiin P20-käsittelystä. Satoero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä, koska yksittäisten P0-ruutujen satomäärät vaihtelivat poikkeuksellisen paljon. Vaihtelun osasyynä olivat rikkakasvi- ja tuholaisongelmat kahdessa P0-ruudussa.

Piikkiön savimaalla P0-koejäsenien satotaso vaihteli vuosittain välillä 60–79 tn/ha ja hietamaalla välillä 78–85 tn/ha. Kummallakaan Piikkiön maalla eivät fosforia saaneet koejäsenet tuottaneet tilastollisesti merkitsevästi suurempia kaalisatoja kuin P0-käsittely kolmena koevuonna (kuva 6, taulukko 7). Vuonna 2014 Piikkiön molemmilla mailla kaikki fosforilisäykset antoivat pienempiä satoja kuin P0-käsittely. Seuraavina vuosina satovasteet olivat savimaalla korkeintaan 9 %, mutta suurin fosforilisäys (100 kg P/ha) antoi savimaalla jokaisena koevuotena pienemmän sadon kuin P0-käsittely. Vuosien 2015 ja 2016 Piikkiön hietamaan kokeissa puolet fosforilannoitettujen koejäsenten sadoista oli korkeintaan 3 % suurempia kuin P0-koejäsenen sadot, kun taas puolet fosforilannoitetuista sadoista olivat P0-käsittelyn satoja pienempiä.



Kuva 6. Keräkaalin sato Luken koepaikoilla vuosina 2014–2016. Tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) P0-käsittelyä suuremmat sadot on merkitty tähdellä. Virhejanat näyttävät keskiarvon keskivirheen suuruuden.

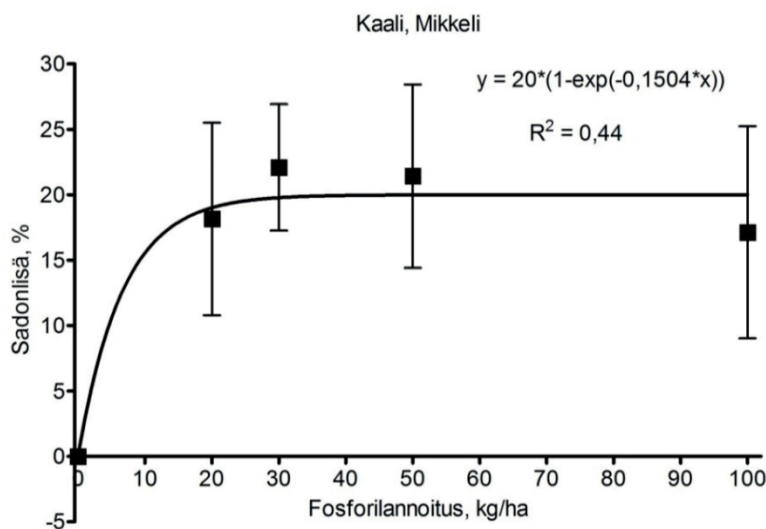
Taulukko 7. Fosforilannoituksen antamien sadonlisien tilastollinen merkitsevyys (p -arvot) Luken koepaikkojen kaalikokeissa. Eri fosforilannoitusportaita saatuja satoja on verrattu P0-käsittelyn satomääriin. Tilastollisesti lähes merkitsevät sadonlisät on lihavoitu ja erittäin merkitsevät sadonlisät lihavoitu ja kursivoitu.

	Fosforilannoituskäsittelyjen tuottamien sadonlisien tilastollinen merkitsevyys (p -arvo) verrattaessa P0-käsittelyyn			
Mikkeli	P20	P30	P50	P100
2014	0,482	0,024	0,268	0,996
2015	0,027	0,005	0,002	0,005
2016	0,068	0,081	0,074	0,117
Piikkiö, Pajupelto	P20	P30	P50	P100
2014	0,947	-	0,983	0,448
2015	0,940	0,878	0,728	1,000
2016	0,966	0,404	0,668	1,000
Piikkiö, Professorinpelto	P5	P15	P30	
2014	0,490	0,092	0,598	
2015	0,779	0,962	0,731	
2016	0,671	0,236	1,000	

Keräkaalin satovasteyhtälö

Koska kaalin satomäärä fosforia saaneilla ruuduilla oli P0-käsittelyä tilastollisesti merkitsevästi suurempi ainoastaan Mikkelin kokeissa, myös kaalin satovasteyhtälö on johdettu ainoastaan Mikkelin tuloksista (kuva 7). Kolmen vuoden sadonlisien perusteella tehdyn mallin mukainen maksimisatovaste oli 20 %. Kokeessa suurin mitattu sato on saatu P30-käsittelyllä, jossa sadonlisä oli kolmen vuoden aikana keskimäärin 22 %.

Kuvan 7 satovasteen perusteella laskettuna Mikkelin hiedalla suhteellisesta sadonlisästä 95 % tuli noin 20 kg P/ha lannoituksella. Tämä lannoitusmäärä antoi siten Mikkelin maalla käytännössä täyden kaalisadon, vaikka kyseiselle maalle voi ympäristökorvauksen fosforirajojen mukaan ("välttäväsä" fosforiluokassa) lisätä 80 kg P/ha. Olettaen, että kaalin tuottajahinta on 300-550 eur/tn, viljelijä saisi Mikkelin kokeiden sadonlisällä lannoitefosforin ostoon menevät rahat takaisin sadon lisätuotona, kun fosforin lisäsmäärät ovat korkeintaan 35-40 kg P/ha. Tätä suuremmilla fosforilisäyksillä lisätuotto ei enää kata lisälannoituksen kustannusta.



Kuva 7. Mitscherlichin yhtälön mukainen kaalin satovaste Mikkelin kokeissa. Vasteena on fosforilisäyksillä saatu sadonlisä suhteessa P0-koeyäsenen satoon.

Tilakoheet

Porkkana

Porkkanakokeita tehtiin yhdessä viljelijöiden kanssa kolmen vuoden aikana yhteensä 8 kappaletta. Kokeissa vertailtavia aloja rajattiin kullekin lohkolle 6 kappaletta, joista kolmeen ei lisätty fosforia ja toiset kolme saivat viljelijän normaalin fosforilannoituksen, 20–46 kg P/ha. Kokeissa mukana olleiden lohkojen maan P-luku vaihteli välillä 5,3–145 mg/l. Porkkanan kokonaissato oli eri tiloilla 34–76 tn/ha. Fosforilannoituksen satovaste oli keskimäärin 2,1 tn/ha, eli 4 % suurempi kuin P0-ruutujen keskisato (taulukko 8). Satovasteet kokeittain on esitetty taulukossa 8. Sadon määrä ei riippunut maan P-luvusta tai annetun fosforilannoitteen määrästä. Kauppakelpoisen porkkanasadon määrä oli keskimäärin 77 % kokonaissadosta, ja seitsemässä kokeessa fosforilannoitus ei vaikuttanut lainkaan kauppakelpoisuuteen. Ainoastaan yhdessä kokeessa fosforilannoitetun sadon kauppakelpoisuus oli selvästi (lähes 12 %) suurempi kuin fosforilannoittamattoman sadon.

Taulukko 8. Porkkanan tilakokeiden maan P-tila, viljelijän käyttämä lannoitus, sadot ilman fosforilannoitusta (P0-käsittely) ja viljelijän lannoituskäytännöllä, sekä viljelijän lannoituksen vaste suhteessa P0-käsittelyyn.

Lohkon P-luku	Viljelijän P-lannoitus	Ei P-lisäystä (P0)	P-lannoitettu	P-lannoitettu suhteessa P0-käsittelyyn (P0=100)	
				Sato	Kauppakelp. sato
mg/l maata	kg P/ha	Porkkanasato, tn/ha			
145	20	63,0	69,4	110	98
47	25	35,8	39,6	111	102
27	27	44,1	42,5	96	tieto puuttuu
27	40	55,3	60,1	109	97
11,5	20	62,8	62,9	100	101
7,1	20	75,6	77,5	102	101
11,5	23	58,4	59,2	101	112
5,3	46	34,4	34,7	101	101

Mukulaselleri

Mukulasellerillä tehtiin kolme koetta. Vuonna 2014 vertailtavina lannoitusmäärinä olivat 30 ja 76 kg P/ha, vuonna 2015 vertailussa olivat käsittelyt P0 ja P40 ja vuonna 2016 käsittelyt P0 ja P35. Vuoden 2014 kokeessa fosforimäärän laskeminen alle puoleen ”välttävän” P-tilan lohkolle vähensi satomäärää 29,5 tn/ha:sta 5 %. Fosforilannoitus 40 kg P/ha antoi ”hyvässä” P-luokassa olevalta lohkolta vuonna 2015 noin 39 tn/ha sadon ja sen jättäminen kokonaan pois leikkasi satoa kolmanneksella noin 29 tn/ha tasolle. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0,12$), koska satomäärät vaihtelivat huomattavasti koeruutujen välillä. Vuoden 2016 kokeessa (”hyvän” P-tilan lohkolle) satovastetta fosforilannoitukselle ei havaittu noin 23–24 tn/ha satotasolla. Mukulasellerin kauppakelpoisuuteen fosforilannoitus ei vaikuttanut.

Keräkaali

Kaksi varhaiskaalilla tehtyä tilakoetta ”korkean” P-tilan lohkoilla antoi P0-käsittelyille saman sadon kuin 10 tai 36 kg P/ha lannoitukset. Myöskään varhaiskaalin kauppakelpoista osuutta (76-78 % vuonna 2015 ja 86-91 % vuonna 2016) fosforilannoitus ei nostanut.

Myöhään korjattavalla keräkaalilla tehtiin yksi tilakoe niin ikään ”korkean” P-tilan maalla, jossa lannoitusvertailuina olivat 0 ja 30 kg P/ha lisäykset. Satotasolla 74–76 tn/ha fosforilannoituksen vaikutus oli vähäinen (3 %:n sadonlisä).

3.2.2. Kasvuston fosforipitoisuudet

Sadonkorjuuvaiheessa määritettiin sato-osan ja muiden maanpäällisten osien kuiva-aine- ja ravinne-pitoisuudet, joiden perusteella voitiin laskea kasvuston ravinteiden otto. Tässä luvussa on esitetty eri kasvien fosforipitoisuudet käsittelyittäin. Liitteessä 1 esitellään kaikkien analysoitujen ravinteiden pitoisuudet ja ravinteiden otto kokeittain keskiarvoina.

Fosforilannoitus vaikutti sadon ja muun kasvuston fosforipitoisuuksiin, mutta vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä vain joissakin kokeissa. Sipulikokeissa tilastollisesti merkitseviä eroja ei havaittu (taulukko 9), paitsi korkean P-luokan kokeessa Piikkiössä vuonna 2014, jossa poikkeuksellisesti naattien fosforipitoisuus oli matalin korkeilla lannoitusmäärillä.

Keräkaalikokeissa lannoitus vaikutti selvemmin sadon ja ulkolehtien fosforipitoisuuksiin (taulukko 10). Kerän fosforipitoisuus oli yleensä alhaisin nollakäsittelyssä ja korkein isommilla lannoitusmäärillä. Samoin ulkolehtien fosforipitoisuus nousi fosforilannoitusta lisättäessä.

Aineistossa on huomion arvoista se, että kasvuston fosforipitoisuudet vaihtelivat huomattavasti eri vuosina, vaikka kokeet järjestettiin samoilla peltolohkoilla, ja maan ravinne-pitoisuudet olivat siten varsin samanlaiset eri vuosina. Kasvukauden sääolojen vaikutus kasvin ravinteiden ottoon oli siten huomattavan suuri.

Tilakokeissa ei havaittu fosforilannoituksen vaikuttaneen porkkanan tai mukulasellerin sato-osan fosforipitoisuuksiin (taulukot 11 ja 12). Sen sijaan porkkanan naattien fosforipitoisuutta fosforilannoitus lisäsi joillakin koepaikoilla (taulukko 11). Myös tilakokeissa silmiin pistävää oli pitoisuuksien vaihtelu niin koepaikoittain kuin vuosittain.

Taulukko 9. Sipulin ja naattien fosforipitoisuudet (% kuiva-aineesta) sadonkorjuuhetkellä eri lannoituskäsittelyissä eri vuosina. Tähdellä on merkitty käsittelyt, joissa pitoisuus poikkeaa P0-käsittelyn pitoisuudesta tilastollisesti merkitsevästi. P-arvo kuvaa lannoituksen vaikutuksen tilastollista merkitsevyyttä ($p < 0,05$ on tilastollisesti merkitsevä).

Paikka	P-lannoitus (kg/ha)	Sipuliosan P-pitoisuus (% ka)			Naattien P-pitoisuus (% ka)		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016
Piikkiö, välttävä P-luokka	0	3,41	2,03	2,72	2,36	2,35	2,71
	20	3,62	2,19	2,46	2,52	2,52	2,58
	20+10		2,18	2,60		2,25	2,55
	50	3,44	2,35	2,73	2,47	2,50	2,84
	100	3,58	2,26	2,64	2,36	2,28	2,51
	p-arvo	0,554	0,176	0,753	0,314	0,273	0,164
Mikkeli, välttävä P-luokka	0	2,40	2,00	2,54	1,88	2,12	2,76
	20	2,28	2,06	2,36	1,98	2,08	2,54
	20+10	2,33	1,97	2,43	2,18	2,04	2,70
	50	2,43	1,97	2,42	2,08	1,93	2,53
	100	2,25	2,11	2,43	2,00	2,08	2,72
	p-arvo	0,470	0,714	0,882	0,696	0,292	0,500
Piikkiö, korkea P-luokka	0	3,80	2,58	2,73	2,96	2,36	3,35
	5	3,99	2,42	2,67	3,06	2,24	2,98
	15	4,01	2,62	2,70	2,68*	2,43	2,87
	30	4,12	2,65	2,54	2,81	2,40	3,09
	p-arvo	0,173	0,573	0,162	0,004	0,817	0,200

Taulukko 10. Talvikaalin kerän ja ulkolehtien fosforipitoisuudet (% kuiva-aineesta) sadonkorjuuhetkellä eri lannoituskäsittelyissä eri vuosina. Tähdellä on merkitty käsittelyt, joissa pitoisuus poikkeaa P0-käsittelyn pitoisuudesta tilastollisesti merkitsevästi. P-arvo kuvaa lannoituksen vaikutuksen tilastollista merkitsevyyttä ($p < 0,05$ on tilastollisesti merkitsevä).

Paikka	P-lannoitus (kg/ha)	Kerän P-pitoisuus (% ka)			Ulkolehtien P-pitoisuus (% ka)		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016
Piikkiö, välttävä P-luokka	0	3,64	3,01	4,09	2,49	1,66	3,05
	20	3,22*	3,27	4,26	2,29	1,88	2,88
	20+10		3,11	4,21		1,78	2,87
	50	3,46*	3,31	4,41	2,42	1,96	3,16
	100	3,53	3,37	4,91	2,42	2,10	3,16
	p-arvo	0,001	0,006	0,078	0,785	0,174	0,682
Mikkeli, välttävä P-luokka	0	2,25	2,27	2,37	2,05	1,72	2,04
	20	2,38	2,49*	2,23	1,90	2,01*	2,17
	20+10	2,93*	2,54*	2,57	2,30	2,03*	2,52*
	50	3,23*	2,87*	2,37	2,78*	2,37*	2,31*
	100	3,10*	2,98*	2,64	2,58*	2,72*	2,65*
	p-arvo	<0,001	<0,001	0,249	0,002	<0,001	0,007
Piikkiö, korkea P-luokka	0	3,13	3,07	4,22	2,08	1,80	3,01
	5	3,19	3,29*	4,33	2,07	2,01*	3,25
	15	3,10	3,46*	4,25	2,12	2,04*	3,48*
	30	3,16	3,19	4,69	2,24	2,05*	3,22
	p-arvo	0,913	0,012	0,458	0,625	0,036	0,066

Taulukko 11. Porkkanan sato-osan ja lehtien P-pitoisuus sadonkorjuun aikaan eri tiloilla. Tähdellä on merkitty pitoisuudet, jotka poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi saman kokeen P0-käsittelyn pitoisuudesta.

Vuosi	P-lannoitus	Sadon P-pitoisuus (g/kg ka)				Lehtien P-pitoisuus (g/kg ka)			
		Tila 1	Tila 2	Tila 3	Tila 4	Tila 1	Tila 2	Tila 3	Tila 4
2014	0	2,10	3,57	1,73	2,33	1,90	2,54	1,97	1,67
	Normaali	2,03	3,53	1,87	2,43	1,93	2,95*	1,97	1,67
2015	0	1,91	2,10			2,06	1,96		
	Normaali	1,94	2,25			2,09	2,07		
2016	0	2,18	1,92			1,81	1,65		
	Normaali	2,33	1,78			1,82	1,84*		

Taulukko 12. Mukulasellerin sato-osan ja lehtien P-pitoisuus sadonkorjuun aikaan.

Vuosi	P-lannoitus (kg/ha)	Sadon P-pitoisuus (g/kg ka)	Lehtien P-pitoisuus (g/kg ka)
2014	30	5,56	1,96
	76	5,41	1,83
2015	0	7,15	2,40
	30	6,91	2,65
2016	0	6,04	2,46
	35	5,97	2,48

3.2.3. Maanesteen fosforiseuranta

Sipulikokeiden yhteydessä otettiin kasvukausien 2015 ja 2016 aikana viikoittain maanäytteet, joista uutettiin yhden minuutin ravistelulla veteen vapautuva fosfori. Uutto tehtiin pienellä vesimäärällä, maa:vesi -suhteella 1:2 (25 ml maata, 50 ml vettä). Tämän määrittelyn katsottiin kuvaavan maanesteen fosforipitoisuuden muutoksia kasvukauden edetessä. Tulokset on kuvissa 8-10 laskettu fosforin massaksi hehtaaria kohden olettamuksella, että mitattu pitoisuus kuvaa tilannetta 20 cm:n vahvuudessa muokkauskerroksessa. Maanesteen fosforin määriä seurattiin koejäsenistä, jotka eivät saaneet lainkaan fosforilannoitetta (P0-koejäsen), sekä kunkin kokeen suurimmasta fosforilannoitustasosta (P30- tai P100-koejäsen).

Koejäsenissä, jotka eivät saaneet fosforilannoitetta, maanesteen fosforin hetkellinen määrä oli pääsääntöisesti korkeimmillaan keväisin sipulin istutuksen aikaan. Fosforimäärä laski tyyppillisesti keskikesällä ja saavutti miniminsä usein kesäkuun lopun ja heinäkuun alun tienoilla, mutta useissa kokeissa kasvoi jälleen heinäkuun loppua kohti. Fosforilannoitettujen (30 tai 100 kg P/ha) koejäsenten maanesteen hetkellinen fosforimäärä oli pääsääntöisesti korkeimmillaan lannoituksen jälkeen, mutta lannoituksen aiheuttama nousu taittui laskuun yleensä kahdessa viikossa lannoituspäivästä. Yleisesti fosforilannoitettujen koejäsenten maanesteen fosforin minimi olivat kasvukaudella 2-5-kertaisia P0-koejäsenten kasvukauden minimimääriin verrattuna. Heinäkuun lopussa ja elokuun alussa maanesteen fosforin määrä kasvoi fosforilannoitetuissa koejäsenissä samaan tapaan kuin P0-koejäsenissä.

Kasvien fosforin otto on luonnollisesti suurinta nopean kasvun aikana. Esimerkiksi Salo ym. (2001) esittivät kahden vuoden sipulikokeissa kasvuston ottaneen heinäkuun aikana noin 20 kg:n fosforimäärän. Yhden vuorokauden aikaisen fosforin oton kirjoittajat laskivat olevan tällöin 400–500 g P/ha. Tämän hankkeen Piikkiön ja Mikkelin kahden vuoden seurannassa fosforilannoitettujen (30 tai 100 kg P/ha) koejäsenten maanesteen hetkellinen fosforin määrä laski alle 500 g P/ha tason ainoastaan satunnaisesti, joten niissä maanesteen fosforipitoisuus riitti varmasti kattamaan sipulin fosforin tarpeen nopeinkin kasvun aikana. Kaikissa P0-koejäsenissä, lukuun ottamatta Piikkiön hietamaata (jonka P-luku oli ”korkea”), maanesteen hetkellinen fosforipitoisuus oli tyyppillisesti kesäkuusta elokuuhun asti huomattavasti fosforilannoitettuja koejäseniä alhaisempi.

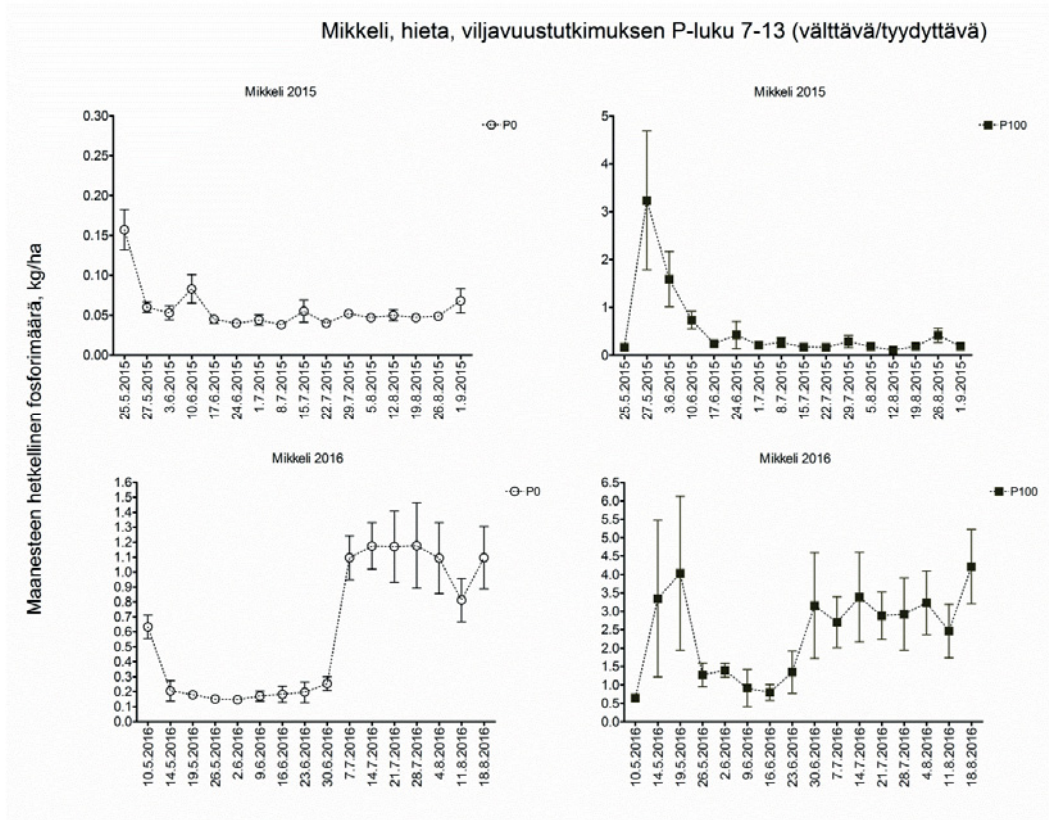
Näkyvätkö alhaiset maanesteen hetkelliset fosforimäärät kasvuston fosforin vajauksena P0-koejäsenissä? Erityisesti Piikkiön savimaan (Pajupelto) vuoden 2016 ja Mikkelin vuoden 2015 kokeet ovat tässä yhteydessä mielenkiintoisia, koska niiden maanesteen fosforin minimi ajoittuvat kesäkuulta heinäkuun alkuun, ja maista lyhyessä vesiutossa vapautuvat fosforimäärät olivat tällöin alle 50 g P/ha (kuvat 8-9).

Piikkiön savimaan P0-käsittelyn alhainen maanesteen fosforin minimi vuonna 2016 osui yhteen sen kanssa, että lannoitus lisäsi 2016 näytteenotossa keskikesän kasvustonäytteiden fosforipitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi (15–20 %). Koska kasvuston fosforipitoisuus lisääntyi lannoituksen vaikutuksesta saman verran myös Piikkiön hietamaan kokeissa, maanesteen fosfori ei kenties ollut syytä tähän vasteeseen (hietamaan P0-koejäsenen maanesteen fosforimäärä oli oletettavasti riittävällä tasolla; kuva 10). Lannoituksen aiheuttama kasvustonäytteiden pitoisuusvaste lienee siis jonkin muun tekijän aiheuttama. Mikkelissä maanesteen fosforiminimit eivät myöskään näyttäneet olevan yhteydessä keskikesän kasvuston fosforipitoisuuksiin, koska lannoituksen vasteet kasvuston fosforipitoisuuteen olivat päinvastaisia kuin maanesteen fosforiminimin tasot kahtena seurantavuotena.

Myöskään syksyllä korjatussa sipulisadossa ei löytynyt eroja, jotka liittyisivät maanesteen hetkelliseen fosforimäärään kesällä. Kun maanesteen fosforimäärien minimi olivat alhaisimmillaan, sipulin satovaste fosforilannoitukseen oli sekä Piikkiön että Mikkelin kokeissa pienempi kuin niinä vuosina, jolloin maanesteen fosforimäärä oli korkeammalla tasolla.

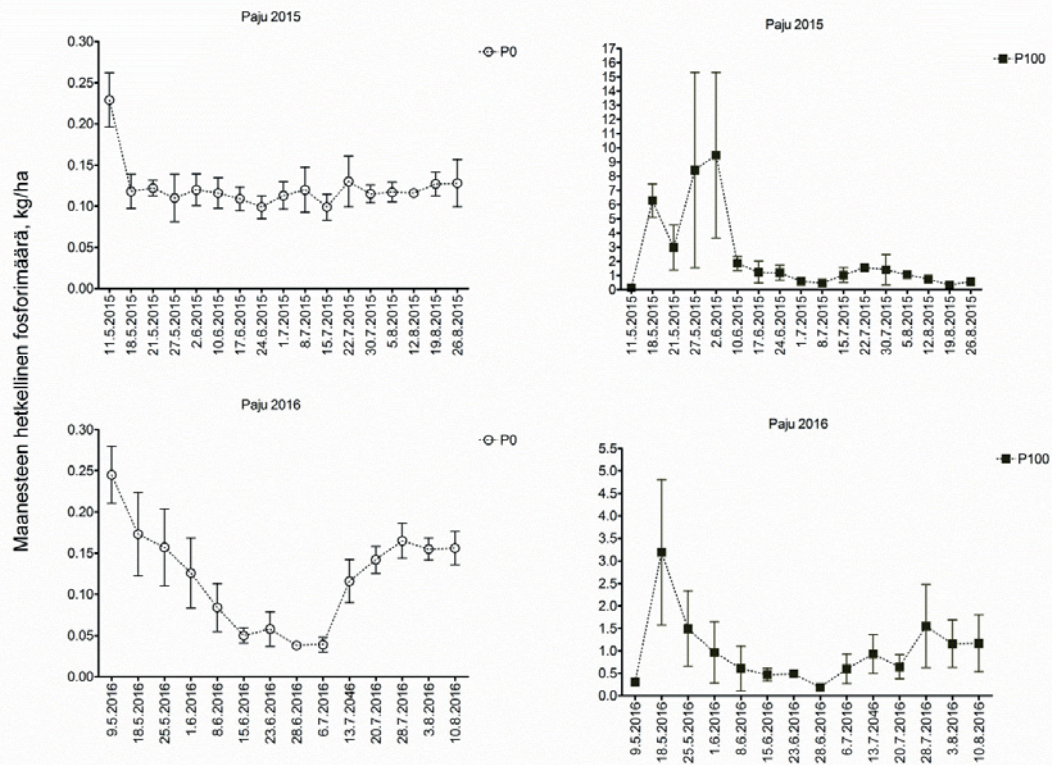
Tämän hankkeen kenttäkokeissa maanesteen hetkellisen fosforipitoisuuden erot lannoituskäsittelyjen välillä eivät siis osoittautuneet toimiviksi keinoiksi fosforin satovasteiden ennustamiseen, eivätkä ne korreloineet keskikesän kasvuston fosforipitoisuusvasteiden kanssa. Maanesteen fosfori-

pitoisuus on vahvasti puskuroitu muutoksia vastaan (kasvien fosforin otto), ja maa pyrkii pitämään maanesteen fosforipitoisuuden mahdollisimman tasaisena, jolloin kasvuston vuorokauden aikainen fosforitarve tulee tyydytettyä alhaisellakin maanesteen fosforipitoisuuden tasolla. Kokeissa mukana olleiden maiden puskurikyky fosforipitoisuuden muutoksia vastaan oli selvästi riittävää turvaamaan kasvuston fosforin saanti kriittisinä kasvujaksoina.



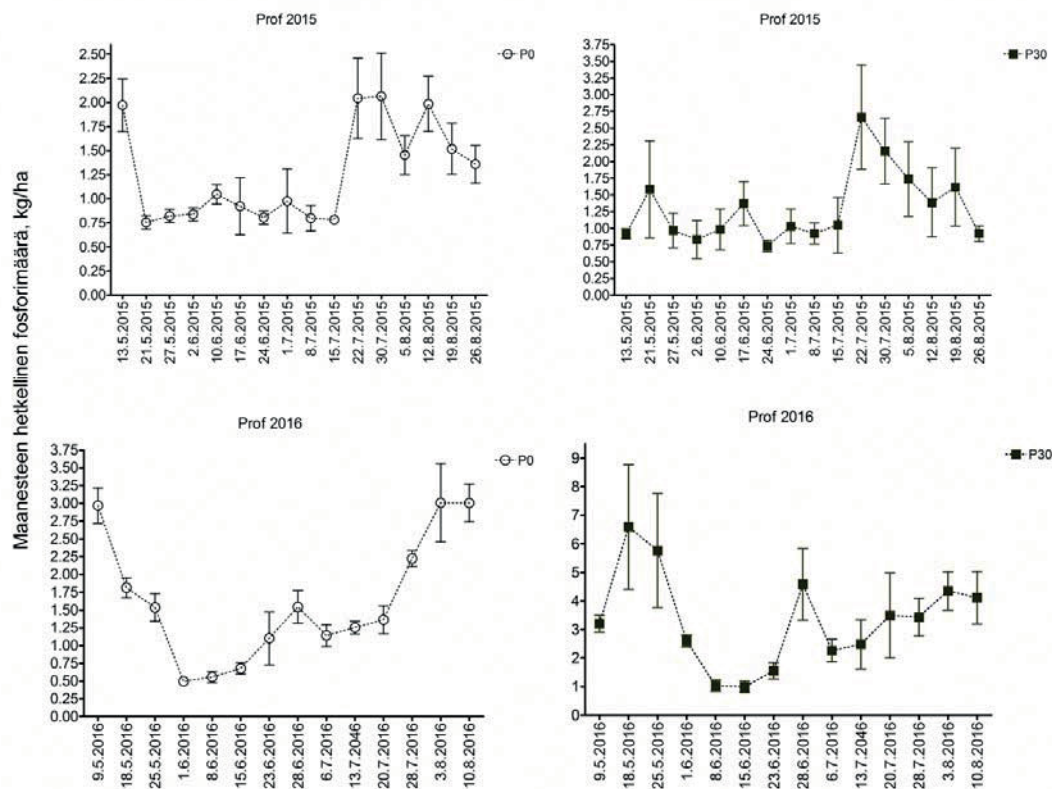
Kuva 8. Mikkelin hietamaan maanesteen hetkellinen fosforimäärä kasvukauden aikana laskettuna kiloiksi hehtaareilla.

Piikkiö, savimaa, viljavuustutkimuksen P-luku 6-7 (välttävä)



Kuva 9. Piikkiön savimaan (Pajupelto) maanesteen hetkellinen fosforimäärä kasvukauden aikana laskettuna kiloiksi hehtaarilla.

Piikkiö, hietä, viljavuustutkimuksen P-luku 30-40 (korkea)



Kuva 10. Piikkiön hietamaan (Professorinpelto) maanesteen hetkellinen fosforimäärä kasvukauden aikana laskettuna kiloiksi hehtaarilla.

3.2.4. Fosforitaseet

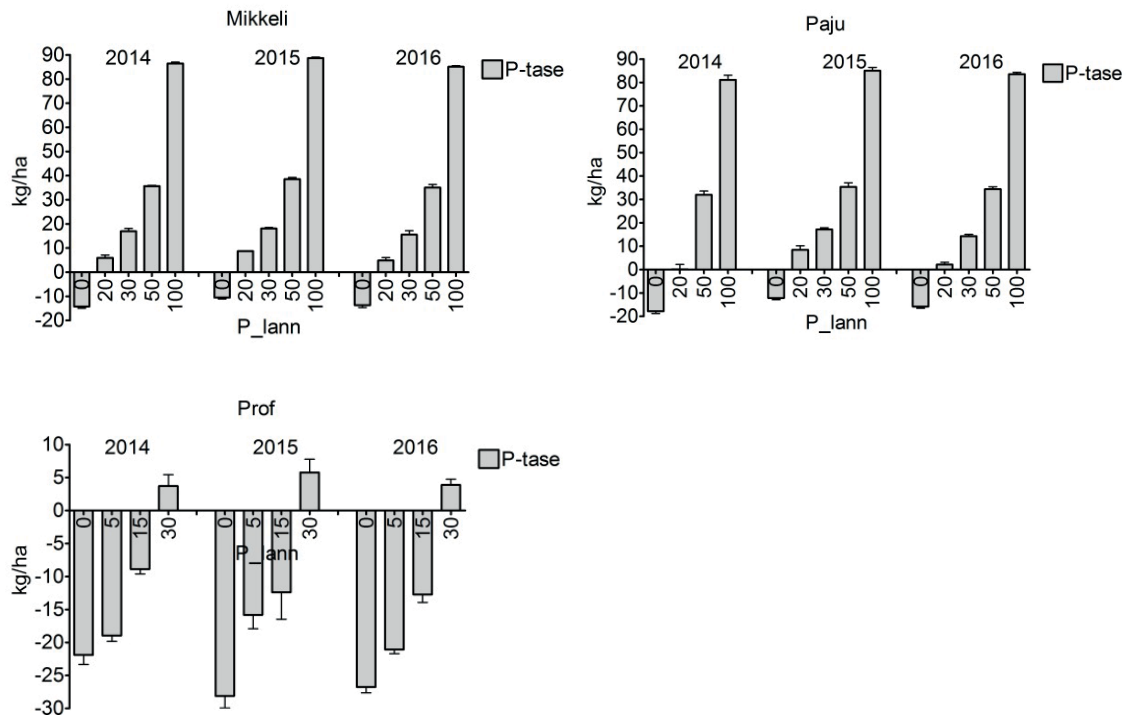
Fosforin peltotase lasketaan fosforilannoituksen ja pellolta sadon mukana poistuneen fosforimäärän erotuksena. Pitemmän aikaa alijäämäinen tase merkitsee peltoon kertyneiden fosforivarantojen käyttöä, kun taas ylijäämäiset P-taseet johtavat vähitellen maan fosforipitoisuuden ja viljavuustutkimuksen P-luvun kasvuun. Alhaiset P-luvut muuttuvat hyvin hitaasti kumpaankaan suuntaan, vaikka taseen ali- tai ylijäämä olisi 10 kg P/ha luokkaa. P-lukujen muutosvauhti kasvaa annetulla P-taseella sitä enemmän, mitä korkeampi on lähtötilanteen P-luku. Hyvin korkeat P-luvut jopa laskevat jonkin verran ylijäämäisellä taseella, koska suuri määrä fosforia maahiukkasten pinnoilla lisää fosforin kulkeutumista mineraalien rakenteen sisään, jolloin se muuttuu liukenemattomaan ja kasveille käyttökelvottomaan muotoon. Maatalouden ympäristöohjelmissa lannoitusrajat on asetettu siten, että alhaisemmissa maan P-luokissa on mahdollista saavuttaa selvästi ylijäämäisiä taseita ja korkeissa P-luokissa taseiden olisi oltava alijäämäisiä. Korkeiden P-lukujen mailla taseen rajoitukset ovat tähdänneet maan P-lukujen hitaaseen laskuun fosforin huuhtoutumisen hillitsemiseksi.

Luken sipulikokeissa, joissa maan P-luokka oli ”välttävä”, fosforitase oli ylijäämäinen lannoitusmäärästä 20 tai 30 kg P/ha alkaen (kuva 11). Lannoitusmäärillä 50 tai 100 kg P/ha taseyli jäämä oli yli 40 ja 80 kg P/ha. Piikkiön ”korkean” P-luokan sipulikokeissa tase oli pienillä lannoitusmäärillä selvästi alijäämäinen, ja vasta korkein lannoitusmäärä (30 kg P/ha) tuotti lievästi ylijäämäisen noin 5 kg P/ha peltotaseen. Ympäristöohjelman ehtojen mukainen lannoitus olisi tuottanut sipulikokeissa saaduilla satotasoilla ”välttävässä” P-tilassa (maksimilannoitus 80 kg P/ha) noin 65 kg P/ha taseyli jäämän ja ”korkeassa” P-luokassa (maksimilannoitus 25 kg P/ha) fosforin peltotase olisi ollut tasapainossa.

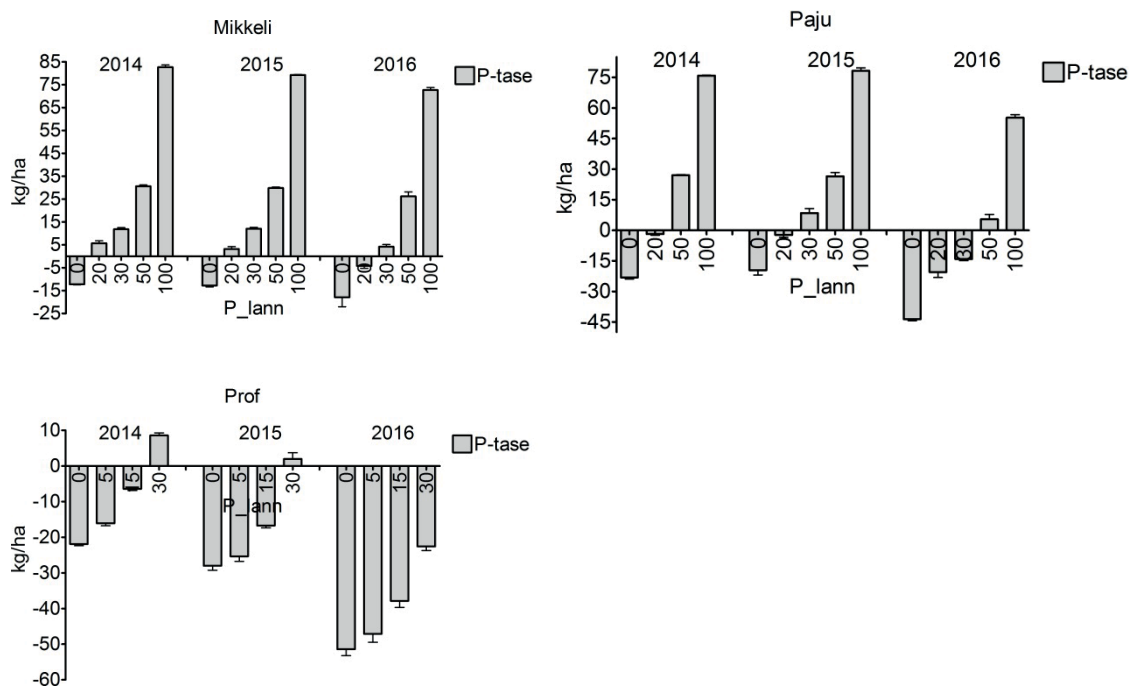
Keräkaalikokeissa ”välttävän” P-luokan maissa fosforitase oli ylijäämäinen lannoitusmäärästä 20, 30 tai 50 kg/ha alkaen (kuva 12). ”Korkean” P-tilan loholla korkein käytetty (30 kg P/ha) lannoitustaso tuotti kolmen vuoden keskiarvona 3 kg P/ha ylijäämäisen taseen, mutta tase oli vuonna 2016 alijäämäinen myös P30-käsittelyssä, koska satotaso oli korkea ja sen mukana poistui enemmän fosforia kuin lannoituksessa annettiin. Kolmen vuoden kokeissa saaduilla satomäärillä ympäristöohjelman sallima maksimilannoitus ”välttävässä” P-tilassa (80 kg P/ha) olisi ollut noin 55–60 kg P/ha ylijäämäisen ja ”korkeassa” P-luokassa (sallittu lannoitus 25 kg P/ha) 2 kg P/ha alijäämäinen.

Tilakokeissa fosforitaseet olivat ilman fosforilannoitusta viljellyissä ruuduissa 7–24 kg P/ha alijäämäisiä. Viljelijän käyttämällä fosforilannoitusmäärillä fosforin peltotaseet olivat ylijäämäisiä, porkkanapelloilla 4–36 kg/ha ja mukulaselleripelloilla 2–58 kg/ha.

Puutarhakasvien reilusti ylijäämäisiä fosforitaseita on perusteltu kasvien runsaalla fosforintarpeella. Tämän tutkimuksen kokeissa sadot eivät kuitenkaan kasvaneet merkittävästi taseen ylittävillä lannoitusmäärillä. ”Välttävässä” P-luokassa toteutetuilla Mikkelin kokeissa, joissa satovasteet olivat tilastollisesti merkitsevä (noin 7 % sipulilla ja 20 % kaalilla), 97 % maksimisadosta olisi saatu jo reilun 10 kg P/ha lannoituksella, jolloin tase olisi ollut selvästi (10–20 kg P/ha) alijäämäinen. Mikkelin maalla satovasteet päättyivät (kuvien 5 ja 7 yhtälöiden mukaan) kokonaan sipulilla silloin, kun fosforilannoitus oli 50 kg P/ha, ja kaalilla, kun lannoitus oli 40 kg P/ha. Sipulin saavutetuilla satotasoilla taseyli jäämä olisi satovasteen päättyessä noin 25 kg P/ha ja kaalilla noin 20 kg P/ha. Ympäristöohjelman maksimilannoitustason tuottamat yli 50 kg P/ha taseyli jäämät ovat siis vähintään kaksinkertaiset tämän koesarjan täyden sadontuoton varmistavaan tasoon nähden.



Kuva 11. Fosforin peltotaseet sipulikokeissa Piikkiössä ja Mikkelissä.



Kuva 12. Fosforin peltotaseet keräkaalikokeissa Piikkiössä ja Mikkelissä.

3.2.5. Varastokestävyys

Fosforilannoituskäsittelyillä ei ollut selvää vaikutusta sipulisadon säilyvyyteen (taulukko 13). Vuoden 2015 kokeissa Pajupellon sadossa varastokestävyys oli heikoin ilman fosforilannoitusta viljellyissä sipuleissa ja paras eniten fosforilannoitusta saaneissa sipuleissa. Ero oli kuitenkin vain muutamia

prosentteja, mutta tilastollisesti merkitsevä. Muissa sipulikokeissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja eri tavoin lannoitettujen sipuleiden välillä.

Porkkanakokeissa havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaikutus säilyvyyteen vuonna 2015, jolloin varastossa oli vain yhden tilakokeen satoa. Eroa ei havaittu fosforilla lannoitetun ja lannoittamattoman välillä, vaan vertailtaessa sijoituslannoitusta (kauppakelpoinen osuus varastoinnin jälkeen 57 %) ja hajalevitystä (kauppakelpoinen osuus 38 %). Sijoituslannoitusta saaneet porkkanat säilyivät paremmin kuin saman lannoituksen hajalevityksenä saanut sato. Hajalannoituksen saaneissa porkkanoissa typpipitoisuus oli korkeampi kuin sijoituslannoitetuissa, mikä voi olla yksi syy havaittuun eroon. Koska vertailua ei toteutettu kuin yhdellä paikalla, ei tuloksen yleistettävyyttä voi arvioida.

Taulukko 13. Kauppakelpoisen sipulisadon osuus (% varastoon viedystä määrästä) varastoinnin jälkeen eri vuosina Piikkiön kokeissa. Varastointitulokset analysoitu maaliskuussa.

Pellon P-luokka	P-lannoitus (kg/ha)	2014	2015	2016
Korkea	0	83	83	85
	5	83	89	87
	15	84	86	89
	30	80	87	85
<i>p-arvo</i>		0,578	0,396	0,331
Matala	0	79	88	90
	20	85	90	90
	20+10	-	91	90
	50	80	91	92
	100	87	93	91
<i>p-arvo</i>		0,08	0,055	0,376

3.3. Tulosten tarkastelu

Kenttäkokeet onnistuivat pääosin hyvin. Vuoden 2015 Piikkiön kokeissa muutamia koeruutuja jätettiin pois tulosten analysoinnista, koska ne kärsivät liiasta märkyydestä. Samoin vuoden 2016 Mikkelin keräkaalikokeessa oli P0-käsittelyn ruutujen välillä epätasaisuutta, mikä vähensi havaittujen erojen merkitsevyyttä. Tilakokeissa, varsinkin porkkanapelloilla, ongelmia aiheutui joissain tapauksissa kasvuston epätasaisuudesta, ja suurempi kerranteiden määrä olisi ollut tarpeen. Tilakokeissa saatiin kuitenkin tuloksia useilta koepaikoilta ja useilta vuosilta, joten ne antoivat hyvää tukea Lukessa tehtyjen kenttäkokeiden tuloksille.

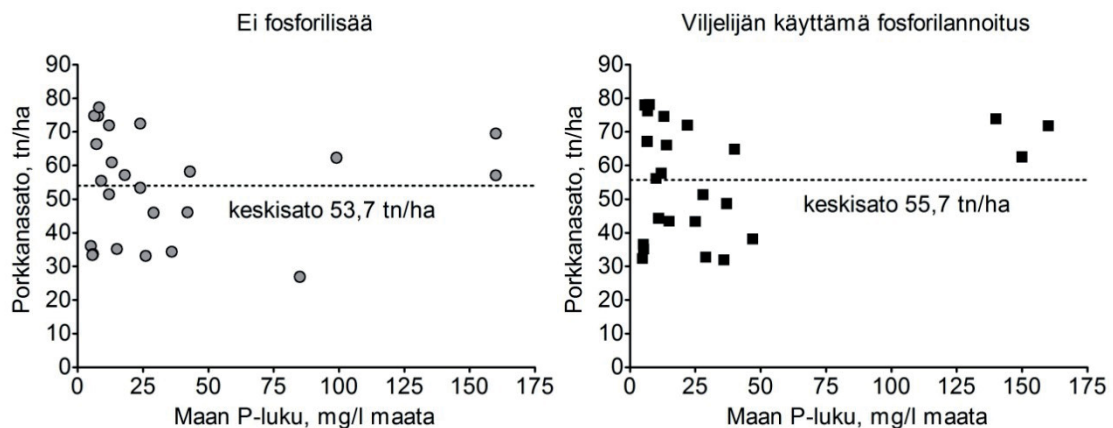
Fosforilannoituksen vaikutukset sipulin ja kaalin satomääriin ja sadon laatuun olivat koepaikkojen välillä ja kullakin koepaikalla eri vuosina vaihtelevia, mutta yleisesti varsin pieniä. Verrattaessa typpilannoituksen satovaikutukseen fosforilisäyksillä saatiin hyvin vähäinen sadonlisä. Esimerkiksi keräkaalikokeissa fosforilannoituksella saatiin lisättyä sadon määrää keskimäärin 3,6 tn/ha, kun taas typpilannoituksen nosto 100 kg N/ha:sta 230 kg N/ha:n kasvatti kaalisatoa 30-40 tn/ha (luku 5.2.2 jäljempänä).

Luken pelloilla tehtyjen kokeiden kolmen vuoden yhteenvedossa fosforilannoitus antoi selkeitä sadonlisäyksiä ainoastaan Mikkelin sipuli- ja kaalikokeissa. Piikkiön kokeissa ("korkean" P-luokan hiedalla ja "välttävän" P-luokan savimaalla) fosforin antamat satovasteet näille kasveille olivat satunnaisia eivätkä tilastollisesti merkitseviä. Myöskään tilakokeissa fosforin lisääminen ei pääosin tuonut merkittävää sadonlisää tai kauppalaadun paranemista porkkanalla, kaalilla tai mukulasellerillä. Tulokset olivat hyvin samanlaisia kuin Norjassa 2000-luvulla tehdyissä vihannesten fosforilannoituskokeissa (ks. luku 2). Aiempien vilja- ja nurmikokeiden koosteanalyseissä (Valkama ym. 2011, 2015) fosfo-

rilannoituksen on todettu antavan useimpina vuosina sadonlisää ainoastaan alhaisessa maan P-tilassa ("huonossa" tai "huononlaisessa" P-luokassa), mutta "tydyttävässä" ja sitä korkeammassa P-luokassa ainoastaan satunnaisesti.

Lannoitusmäärät, jotka tuottivat Luken kokeissa suurimmat sadonlisät, olivat huomattavasti pienempiä kuin ympäristökorvausohjelman sallimat maksimitasot. Mikkelin koepaikalla, jossa sipulilla ja kaalilla saatiin tilastollisesti merkitsevät sadonlisät kolmen vuoden jaksolla, sipulin keskisadot olivat suurimpia lannoitusportaalla 20 kg P/ha ja kaalisadot lannoitusportaalla 30 kg P/ha. Sovitetun satovasteyhtälön perusteella sadonlisän maksimista saavutettiin 97 % Mikkelin maan "välttävässä" P-luokassa fosforilannoituksella 10–12 kg P/ha. Jos fosforilisäyksiä tarkastellaan oletetun lannoitefosforin hinnan (2 eur/kg) ja sadon arvon (sipulilla 300-750 ja kaalilla 300-550 eur/tn) avulla, viljelijän kannattaa lisätä sipulille korkeintaan 40–50 kg P/ha ja kaalille 35-40 kg P/ha, jos satovasteet ovat yhtä suuria kuin Mikkelin kokeissa. Runsaamman lannoituksen mukana lisätty lannoitefosforikilo maksaa jo enemmän kuin sen antaman sadonlisän arvona saadaan lisätuloa. Kun "välttävän" P-luokan maalle saa ympäristökorvausohjelman mukaan lisätä 80 kg P/ha, fosforin käyttö maksimirajoituksen suuruisena ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Maan fosforitilan vaikutusta sadon määrään ei sipuli- ja kaalikokeista voida luotettavasti arvioida, koska kokeiden määrä on ollut pieni. Tilakokeissa porkkanalla tehtiin yhteensä 24 ruutuparilla vertailu, jossa koejäseninä olivat P0 (ei fosforia) ja viljelijän käyttämä fosforilisäys, ja tämän vertailun kaikkien koeruutujen satotulokset on esitetty kuvassa 13. Tilastotesti ei havainnut merkitsevää sato-trendiä maan P-luvun kasvaessa kummassakaan lannoituskäsittelyssä; testin *p*-arvot olivat P0-käsittelylle 0,803 ja viljelijän käyttämälle fosforilannoitukselle 0,269 (tilastollisesti merkitsevän trendin *p*-arvo alle 0,05). Maan P-luku selitti ainoastaan 0,3 % (P0-käsittely) ja 5,5 % (viljelijän fosforilannoitus) porkkanan satomäärän vaihtelusta tilakokeissa. Aiempien viljakokeiden yhteenvedossa sadontuotolla ja maan fosforitilalla on ollut savimailla ja eloperäisillä mailla jotenkuten havaittava yhteys, jos fosforilannoitus on jätetty kokonaan pois. Kuitenkin jos viljojen vuotuinen lannoituslisä on ollut 15 kg P/ha tai suurempi, mitään yhteyttä ei enää ole voitu todentaa (ks. Aakkula ja Leppänen, 2014). Meillä käytössä oleva maan fosforin uuttomenetelmä mittaa ainoastaan hyvin helppoliukoisen fosforin osuutta maassa, ja jo suhteellisen alhaisilla maan helppoliukoisen fosforin pitoisuuksilla kasvien käyttöön vapautuu puskurireaktioiden kautta riittävä määrä maahan pidättynyttä fosforia, jonka varantoa suomalainen maa-analyysi ei kerro. Yleisesti voidaan todeta muiden kasvitieteiden vaikuttavan satoon paljon voimakkaammin kuin maan fosforipitoisuuden tai fosforilannoituksen, ellei maan P-tila ole "huono" tai "huononlainen".



Kuva 13. Porkkanan sato vuosina 2014-2016 tilakokeiden koeruuduilla niiden maan P-luvun funktiona. Katkoviiva osoittaa kaikkien koeruutujen satokeskiarvon.

Vertailu muiden Pohjois-Euroopan maiden fosforisuositukseen

Vertailu muiden maiden fosforilannoitussuositukseen ei ole suoraviivaista, koska viljavuustutkimuksessa käytetään eri maissa erilaisia uuttomenetelmiä. Eri uuttomenetelmien antamien numeeristen tulosten (uuttuvien pitoisuuksien) välinen korrelaatio on yleensä korkeintaan keskinkertainen, erityisesti jos verrataan voimakkaasti fosforia maasta liuottavaa uuttoa ja helppoliukoisen fosforin määrittämiseen käytettävää menetelmää (Neyroud & Lischer 2003). Esimerkiksi Ruotsissa käytettävä ammoniumlaktaattiuttoa uuttoa maasta meillä käytössä olevaan ammoniumasetaattimenetelmään nähden kymmenkertaisen määrän fosforia, eikä tulosten korrelaatio ole kovinkaan hyvä. Kuitenkin jonkinasteinen maiden välinen vertailu on mahdollinen, kun viljavuusluokkien tulkinnan voidaan olettaa eri maissa lähtevän siitä, että maan fosforipitoisuuden ollessa riittävän korkea vuosittain lisättävällä fosforilla ei enää saada satovasteita muutoin kuin satunnaisesti. Tällöin viljelymaan voidaan katsoa olevan ”tydyttävässä” tai ”optimaalisessa” fosforitilassa.

Tällä perusteella tehdyssä pohjoiseurooppalaisessa vertailussa vihannesten fosforilannoitussuositukset (tai Suomessa suurimmat ympäristöohjelmissa sallitut lisäykset) ovat pitkään olleet korkeimpia Suomessa ja Norjassa, joissa fosforilannoitusta on suositeltu vuoteen 2012 asti tehtäväksi suunnilleen samalla tavoin (taulukko 14). Norjassa lannoitusrajoja kuitenkin tarkistettiin keskimäärin noin 40 % alaspäin vuonna 2012, kun vuosina 2008–2011 tehtyjen 55 kenttäkokeen tulokset osoittivat keräkaalin, porkkanan ja sipulin satovasteiden jäävän aiemmin luultua vähäisemmiksi (Riley ym. 2012). Vuosina 2011–2013 norjalaiset täydensivät koesarjojaan 19 uudella kokeella, joissa viljeltiin parsakaalia, kukkakaalia, naurista ja jäävuorisalaattia (Stubhaug ym. 2015). Näillekin kasveille päädyttiin suosittamaan aiempaa pienempää fosforilannoitusta. Norjalaisten nykyiset fosforisuositukset ovat kaalikasveilla 30–50 % alempia, juureksilla ja porkkanalla 10–35 % alempia ja sipulilla suunnilleen samansuuruisia kuin meillä tänä päivänä käytössä olevat ympäristökorvauksen maksimirajat.

Ruotsissa fosforilannoituksen osalta pyritään yleisesti P-taseen tasapainon pitävään lannoitukseen, kun maan P-tila on keskimmaisessa luokassa (P-AL Klass III; vastannee suomalaisen luokituksen ”tydyttävää” P-luokkaa) (Albertsson ym. 2016). Tasapainoisen fosforilannoituksen katsotaan tällöin vastaavan taloudellisesti järkevää lannoitusta. Tavoitetasoa korkeammassa maan P-luvuissa lannoitusta suositellaan säättämään niin, että P-tase on negatiivinen, ja matalammassa P-luvuissa sallitaan positiiviset P-taseet. Erityisiä vihanneksille kohdennettuja lannoitussuosituksia tulee Ruotsissa lähinnä lannoitteiden myyjiltä, ja tällöin suositellaan askelta korkeampaa P-luokkaa (P-AL Klass IVA) kuin esimerkiksi viljoille. Marmolinin ja Björkholmin (2014) tekemän vertailun mukaan ruotsalaiset fosforisuositukset vihanneksille ovat pääosin jonkin verran alhaisempia kuin meillä, valkokaalille puolet Suomen maksimirajoista (taulukko 14).

Tanskassa fosforilannoitusrajoitukset ovat tähän saakka tulleet kiertoteitse nitraattidirektiivin lannanlevitysrajoitusten välityksellä, minkä lisäksi joillakin erityisen herkkinä pidetyillä alueilla on lisärajoituksia lannan levitykselle. Tanskalainen järjestelmä on kuitenkin parhaillaan muutoksessa, ja vuoden 2017 aikana on suunniteltu otettavaksi käyttöön suoraan fosforin lisäystä rajoittava fosforikatto. Vihannesten fosforilannoitussuositukset (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016) on tehty ”normaalissa P-tilassa” olevien maiden lannoitukseen. Kaalille ja sipulille suositellaan tällaisilla mailla kolmanneksen pienempää fosforilannoitusta kuin Suomessa ”tydyttävässä” P-luokassa (taulukko 14), vaikka satotaso Tanskassa on korkeampi. Saksassa ja Englannissa suositukset ovat edelleen alhaisempia, sipulille ja kaalille reilun kolmanneksen ja porkkanalle vajaa puolet Suomessa sallitusta fosforilannoituksesta.

Taulukko 14. Eräiden pohjoisen Euroopan maiden lannoitusosuudet (P kg/ha) maan ”tydyttävässä” tai ”optimaalisessa” fosforitilassa.

Kasvi	Suomi	Ruotsi	Tanska	Norja, vanha	Norja, uusi ^a	Saksa	Englanti
Sipuli	60	40	40	60	43-58 ^b	22	22
Kaali	60	25	40	40	30	26	22
Porkkana	55	45	35	50	40	31	22

^a Norjassa uudet suositukset annettiin 2012^b Pienempi määrä sijoituslannoitusta käytettäessä

3.4. Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa tehtyjen kenttäkokeiden tulokset viittaavat melko selvästi siihen, että tutkittujen vihannesten todellinen fosforintarve on huomattavasti pienempi kuin maatalouden ympäristöohjelman fosforilannoitustaulukkoihin kirjatut enimmäismäärät. Kokeissa saaduilla sipulin ja kaalin kohdalla hyvillä satotasoin (45-50 tn/ha sipulisato ja 70-80 tn/ha kaalisato) taloudellisesti kannattavan fosforilisäyksen yläraja oli tässä tutkimuksessa vain noin puolet ympäristöohjelmassa sallitusta maksimilisäyksestä, jos fosforilisäyksillä saatiin yhtä selkeä satovaste kuin Mikkelin kokeissa. Sipuli- ja kaalikokeissa satomaksimiin ylettiin ”välttävissä/tydyttävässä” maan P-luokassa P-taseen tasapainottavalla fosforilannoituksella. Hyvin usein fosforin merkitystä sadonmuodostuksen tekijänä liioitellaan, ja sen puute on usein mainittu syy satomäärien jäämiseen tavoitellusta. Käytännössä muut kasvutekijät kuin fosforilannoitus määräävät satotason, kun maan viljavuustutkimuksen P-luku on ”tydyttävä” tai sitä korkeampi. Tämä on aiemmin todettu viljojen ja nurmien osalta ja se näyttäisi pitkälti pätevän myös tässä työssä tutkituille vihanneksille.

Fosforilannoitusosuuksia laskettiin Norjassa, osin huomattavastikin, vuonna 2012, kun lannoituskokeiden sarjassa ei löydetty sellaisia satovasteita kuin oli aiemmin oletettu. Aiempien oletusten ja todellisuuden suhde näyttää olevan myös Suomessa samanlainen, eikä vihannesten sadontuotto näytä vaativan kasvien fosforin ottoon nähden moninkertaisia lisäyksiä ”välttävä/tydyttävä” -viljavuusluokissa. Nykyisten rajojen mukaan lannoitettaessa taseylijäämät ovat huomattavia, ja lannoitus on viljelijälle taloudellisesti kannattamattoman runsasta. Jos lannoituksen muuttamisessa halutaan edetä varovasti, fosforilannoitusosuuksien pohja voisi meillä olla samanlainen kuin Norjan nykyosuudet. Satotason mukainen korjaus lannoituksessa on suositeltavaa myös vihanneksilla, joilla korjauksen laskenta fosforitaseiden mukaisesti lienee mahdollista tehdä tarkemmin kuin viljoilla tai nurmilla. Tarkempien suositusten tekeminen tähän päivään mennessä kertyneellä kotimaisella tutkimustiedolla on mahdotonta, mutta tämän hankkeen tulokset muodostavat hyvän alun tulevaisuuden työlle.

Maan P-tilan vaikutusta vihannesten satotasoon ei pystytty tässä hankkeessa kattavasti selvittämään. Luken kokeet tehtiin kolmella loholla, joista kahden viljavuusluokka oli yhteneväinen. Hieta- maiden kokeita oli kahdella loholla ja savimaiden kokeita vain yhdellä loholla. Tutkittavia kasveja oli näissä kokeissa kaksi. Luken kenttäkokeiden kasvit oli valittu niin, että niiden juuristot ovat keskenään erityyppisiä, mikä antoi mahdollisuuden eroavien väestöjen havaitsemiseen. Tilastollisesti merkitseviä satovasteita ei kuitenkaan havaittu kuin yhdellä loholla, samantyyppisesti molemmilla tutkituilla kasveilla. Porkkanalla tehty tilakokeet (on/off -fosforilisäykset), joista saatiin 24 yksittäistä satohavaintoparia, eivät osoittaneet maan P-luvun vaikuttavan merkittävästi satotasoon P0-ruuduilla tai fosforilannoitetuilla koeruuduilla. Näissä kokeissa satojen hajonta oli suurta tilojen välillä, mikä osoittaa kasvupaikan muiden ominaisuuksien (ja viljelykäytäntöjen) summan määräävän satotason. Tulevaisuudessa maan P-tilan vaikutusta tulisi edelleen selvittää, koska tarkat lannoitusosuudet voivat perustua ainoastaan kattavaan aineistoon erityyppisiltä mailta.

Sadon kauppalaatuun ja säilyvyyteen fosforilannoituksella oli niin ikään vähäinen vaikutus silloin kun vaikutuksia ylipäättään havaittiin. Laatutekijöiden kannalta fosforilannoituksen tarkentamiselle ei näin ollen ole esteitä. Käytännössä pääosalla tutkimuksessa mukana olleista tiloista fosforilannoitus on jo tänä päivänä vähäisempää kuin ympäristöohjelmat sallivat, eikä tilojen käytäntöihin näissä tapauksissa tule muutospaineita. Tuotannon kannattavuuden varmistamiseksi tarkka tutkimukseen perustuva tieto fosforilannoituksen vaikutuksista sadon määrään ja laatuun on kuitenkin kaikkien tilojen etu.

Viitteet

- Aakkula, J. ja J. Leppänen (toim.). 2014. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYTVAS 3): loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja, Nr. 3.
- Albertsson, B., K. Börling, P. Kvarmo, U. Listh, J. Malgeryd ja M. Stenberg. 2016. Rekommendationer för gödsling och kalkning 2017. Jordbruksinformation 24 - 2016. Jordbruksverket.
http://www2.jordbruksverket.se/download/18.4da45f4e158df6b017b49d79/1481272555089/jo16_24v2.pdf
- Marmolin, C. ja A-M. Björkholm. 2014. Växtnäringsrekommendationer till frilandsgrönsaker. Hushållningssällskapet, Rapport TT65.
http://194.47.52.113/janlars/tillvaxttradgard.slu.se_itj/uploads/dokument/Rapport%20TT65.pdf
- Miljø- og Fødevareministeriet. 2016. Vejledning om gødsnings- og harmoniregler. NaturErhvervstyrelsen. ISBN 978-87-7120-796-5.
- Neyroud, J.-A. ja P. Lischer. 2003. Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166: 422-431.
- 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.
- Salo, T., T. Suojala, M. Kallela ja J. Pulkkinen 2001. Vihannesten ravinteiden otto. *Maatalouden tutkimuskeskusten julkaisuja. Sarja A 91*. s. 54-61.
- Stubhaug, E., H. Riley, ja A.Ø. Kristoffersen. 2015. P-gjødsling til brokkoli, blomkål, kålrot og isbergsalat. Nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport Vol. 10 Nr. 14*. ISBN-13: 978-82-17-01397-6.

4. Optimointimalli sipulin fosforilannoitukselle

Antti Miettinen ja Antti Iho

4.1. Johdanto

Fosfori on kasvintuotannossa välttämätön ravinne, jonka puute alentaa satoja. Vuotuisen fosforilannoituksen lisäksi fosforin satovaikutus riippuu keskeisesti maaperään kertyneestä kasveille potentiaalisesti käyttökelpoisesta fosforivarannosta. Tästä syystä viljelijän fosforilannoituspäätöksiä on mielekästä tarkastella pidemmällä aikavälillä. Satovaikutuksen lisäksi viljelijän päätöksiin vaikuttavat myös lannoitefosforin ja lopputuotteiden hinnat sekä viljelijän suunnitteluhorisontin pituus ja aikaprefereenssin aste (diskonttokorko). Sipulinviljelyn lannoituspäätöksiä mallinnettaessa on lisäksi huomioitava kasvinvuorotus, koska tuholaiden ja tautien vuoksi sipulia ei voi viljellä monta vuotta peräkkäin samalla peltolohkolla.

4.2. Tutkimusaineisto ja satovasteet

Tarkastelimme vuosina 2014–2016 Piikkiöstä ja Mikkelistä kerättyä sipuliaineistoa. Joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta (Mikkeli vuosina 2015 ja 2016) kasvukauden aikana annetulla fosforilannoituksella ja kauppakelpoisella sipulisadolla ei tuntunut olevan yhteyttä. Tästä syystä heräsi kysymys, kannattaako viljelijän lannoittaa fosforilla lainkaan, jos lannoitus ei lisää sipulisatoa.

Peltomaan fosforivarannolla näyttää kuitenkin olevan vaikutusta sipulisadon määrään. Jos kauppakelpoinen sipulisato on suurempi korkeissa fosforiluokissa, fosforivarantoon investoiminen lannoittamalla saattaa olla taloudellisesti perusteltua, mikäli peltolohko on viljelijän hallinnassa ja viljelijän suunnitteluhorisontti on useamman vuoden mittainen. Toisaalta voi myös olla tilanteita, jolloin lannoittaminen ei ole taloudellisesti järkevää, vaan jo kartutetun fosforivarannon hyödyntäminen saattaa olla taloudellisesti perusteltua. Tällainen tilanne on mahdollinen esimerkiksi silloin, jos pellon vuokrasopimus on päättymässä, eikä viljelijä ole vuokraamassa samaa peltolohkoa uudelleen.

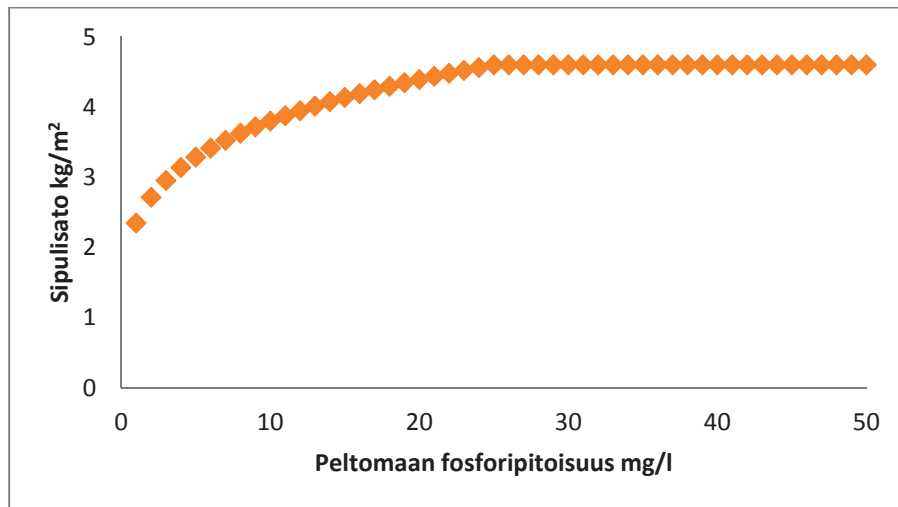
Kerätyn tutkimusaineiston (kauppakelpoinen sipulisato ilman fosforilannoitusta) perusteella vaikuttaa siltä, että kun fosforilannoitusta ei anneta lainkaan, niin logaritmoitua kauppakelpoisen sipulisadon suuruutta, $\ln(Ssato)$, voidaan selittää regressiomallilla (taulukko 15), jossa selittävinä muuttujina ovat vakiotermit, logaritmoitu peltomaan P-luku, $\ln(P\text{-luku})$ sekä dummy-muuttujat (D2015 ja D2016) vuosien välisen vaihtelun vakioimiseksi ja dummy-muuttuja (DPiikkiö) kasvupaikkojen välisen vaihtelun vakioimiseksi.

Taulukko 15. Regressiomalli logaritmoidulle kauppakelpoiselle sipulisadolle, $\ln(Ssato)$.

Selitettävä muuttuja: $\ln(Ssato)$				
Selittävä muuttuja	kerroin	keskihajonta	t-testi	p-arvo
vakio	0,441	0,113	3,915	0,000
$\ln(P\text{-luku})$	0,209	0,040	5,231	0,000
D2015	0,441	0,079	5,543	0,000
D2016	0,388	0,079	4,892	0,000
DPiikkiö	0,205	0,070	2,912	0,007

Mallin vapausasteilla korjattu selitysaste ($AdjR^2$) on 0,69. 95-prosentin luottamusväli parametriestimaatille $\ln(P\text{-luku})$ on 0,127–0,290. Kun vuosivaihtelu ja kasvupaikan vaikutus on vakioitu, lisää fosforiluvun paraneminen yhdellä prosentilla kauppakelpoista sipulisatoa 0,2 prosenttia.

Peltomaan fosforipitoisuuden ja kaupakelpoisen sipulisadon välinen yhteys on esitetty kuvassa 14. Kuvassa ja laskelmissa on oletettu, että sipulisato saavuttaa maksimin silloin, kun P-luku on 25, eikä P-luvun kasvattaminen enää tätä suuremmaksi lisää sipulin satoa.



Kuva 14. Peltomaan fosforipitoisuuden (mg/l) ja kaupakelpoisen sipulisadon (kg/m²) välinen yhteys.

Sipulia ei voi viljellä kasvitautiriskin vuoksi useita peräkkäisiä vuosia samalla peltolohkolla. Sipulin välikasvina käytetään usein jotain kevätiljaa kuten ohraa. Ohra-aineisto saatiin MTT:n lannoituskokeista (Aakkula ja Leppänen 2014).

Toisin kuin sipulilla, ohralla maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus ei näytä vaikuttavan sadon suuruuteen. Näin ollen ohrasato on aina samalla (keskimääräisellä) tasolla peltolohkon fosforivarannosta riippumatta. Aineiston perusteella ohrasatoa saadaan (ilman fosforilannoitusta) vuosittain keskimäärin 3 722 kg/ha.

Tutkimusaineiston perusteella vaikuttaa siltä, että vuotuisella fosforilannoituksella voidaan lisätä ohrasatoa muissa fosforiluokissa paitsi korkeassa ja arveluttavan korkeassa fosforiluokassa. Kun fosforiluokka on huono tai huononlainen (P-luku alle 7 mg/l), niin yksi kilogramma lannoitefosforia per hehtaari lisää ohrasatoa 10,8 kg/ha. Jos fosforiluokka on välttävä, tyydyttävä tai hyvä (P-luku 7–35 mg/l), niin kilogramma lannoitefosforia peltohehtaarille levitettynä lisää ohrasatoa 8,8 kg/ha. Taulukossa 16 on havainnollistettu vuotuisen fosforilannoituksen vaikutusta ohrasadon määrään eri fosforiluokissa. Vuotuisella fosforilannoituksella (fosforin lisäyksellä) on suurempi vaikutus ohrasatoon silloin, kun maan fosforivaranto on pieni (alle 7 mg/l). Kun varanto on suuri (yli 35 mg/l), ei lannoittaminen lisää ohrasatoa.

Taulukko 16. Vuotuisen fosforilannoituksen (kg/ha) vaikutus ohrasadon (kg/ha) määrään eri fosforiluokissa.

Vuotuinen P-lannoitus (kg/ha)	Ohrasato (kg/ha) kun P-luku on		
	Alle 7 mg/l	7–35 mg/l	Yli 35 mg/l
0	3 722	3 722	3 722
1	3 733	3 731	3 722
2	3 744	3 740	3 722
3	3 755	3 749	3 722
4	3 765	3 757	3 722
5	3 776	3 766	3 722
6	3 787	3 775	3 722
7	3 798	3 784	3 722

4.3. Dynaaminen numeerinen optimointimalli

Viljelijän fosforilannoituspäätöksiä voidaan tarkastella dynaamisen numeerisen optimointimallin avulla. Siinä viljelijä maksimoi kasvinviljelystä saatavien katetuottojen nykyarvoa annetulla tarkasteluajanjaksolla, viljelykierrolla, hinnoilla, diskonttokorolla ja maa-analyysin fosforiluvun alkuarvolla valitsemalla vuosittain optimaalisen fosforilannoituksen määrän annettujen lannoitusrajoitteiden puitteissa. Seuraavan periodin fosforiluvun ennustamisessa hyödynnetään tutkimuksen Uusitalo ym. (2016) tuloksia. Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmistolla laadittu dynaaminen numeerinen optimointimalli on pyydettäessä saatavissa tämän luvun kirjoittajilta.

Taulukossa 17 on esitetty optimointimallin ratkaisu yhden hehtaarin suuruiselle esimerkkipelto-lohkolle, kun viljelijän suunnitteluhorisontti on 12 vuoden mittainen. Viljelykierto on sellainen, että yhden sipulivuoden jälkeen loholla viljellään kolme vuotta ohraa. Sipulin hinta on 0,60 €/kg ja rehuohran hinta 130 €/tonni. Lannoitefosforin hinta on 2 €/kg. Vuotuisen diskonttokoron suuruudeksi on oletettu 3 % ja viljavuusottoisen fosforin alkuarvoksi 9 mg/l. Laskelmassa on oletettu, että viljelijä on sitoutunut maatalouden ympäristökorvaukseen. Pellon maalaji on karkea hieta ja viljavuusluokka on välttävä, joten sipulinviljelyssä fosforilannoituksen enimmäismäärä on 80 kg/ha/v ja ohranviljelyssä 16 kg/ha/v.

Taulukko 17. Esimerkki taloudellisesti optimaalisesta fosforilannoituksesta 12 vuoden tarkasteluajanjaksolla kun fosforiluvun alkuarvo on 9 mg/l.

Vuosi	P-luku (mg/l)	P-lannoitus (kg/ha)	Sato (kg/ha)	Sadon mukana poistunut P (kg/ha)	P-tase (kg/ha)	Katetuotto (€/ha)	Diskontattu katetuotto (€/ha)	Viljelykasvi
0	9,0	80	37 174	15,9	44,1	22 184	22 184	sipuli
1	9,5	16	3 810	13,4	-3,4	475	462	ohra
2	9,3	16	3 810	13,4	-3,4	475	448	ohra
3	9,2	16	3 810	13,4	-3,4	475	435	ohra
4	9,0	80	37 203	16,0	44,0	22 202	19 726	sipuli
5	9,5	16	3 810	13,4	-3,4	475	410	ohra
6	9,4	16	3 810	13,4	-3,4	475	398	ohra
7	9,2	16	3 810	13,4	-3,4	475	387	ohra
8	9,1	0	37 229	16,0	-16,0	22 338	17 634	sipuli
9	8,8	0	3 722	13,1	-13,1	484	371	ohra
10	8,5	0	3 722	13,1	-13,1	484	360	ohra
11	8,3	0	3 722	13,1	-13,1	484	350	ohra

Taulukossa 17 raportoiduista tuloksista ilmenee, että viljelijän kannattaa aluksi investoida fosforivarantoon lannoittamalla niin paljon kuin ympäristökorvauksen mukaan on mahdollista ja kohottaa peltomaan viljavuusfosforin pitoisuutta. Kerrytettyä fosforivarantoa aletaan kuluttaa tarkasteluajan lopussa. Viimeisenä sipulivuotena peltoon ei enää lisätä fosforia, koska mallissa sipulisadon suuruus riippuu pelkästään fosforiluvun arvosta eikä vuotuisella sipulilannoituksella ole (estimointitulosten perusteella) vaikutusta sadon määrään. Investoiminen fosforivarantoon ei ole enää viimeisenä sipulivuonna taloudellisesti järkevää, koska suunnitteluhorisontti on 12 vuoden mittainen, ja viljelijä tietää, että hän ei enää pysty hyödyntämään viimeisenä sipulivuotena tehtyä investointia.

Myöskään ohraa ei kannata lannoittaa kolmena viimeisenä vuotena, vaikka ohrasato lannoittamisen myötä hieman lisääntysisikin. Ilman lannoitusta ohrasato on keskimääräisellä tasolla (3 722 kg/ha), mutta katetuotto (484 €/ha) on suurempi kuin silloin, jos peltoon olisi lisätty lannoitefosforia. Suurempi katetuotto johtuu siitä, että lannoituskustannukset jäävät pois silloin, kun lannoitefosforia ei lisätä lainkaan. Koska sipulinviljelystä hehtaarilta saatava katetuotto on huomattavasti suurempi kuin ohranviljelystä hehtaarilta saatava katetuotto, on tarkasteluajan alussa ohran lannoittaminen taloudellisesti perusteltua, vaikka ohranviljelystä saatava vuotuinen katetuotto näin hieman pie-

neneekin. Viljelijän kannattaa aluksi investoida fosforivarantoon, jotta hän saisi toisena ja kolmantena sipulivuotena mahdollisimman suuren sadon ja katetuoton sipulinviljelystä.

Taulukossa 18 on esitetty optimaalinen lannoitusstrategia silloin, kun muiden muuttujien arvot ovat ennallaan, mutta P-luvun alkuarvo on 33 mg/l. Viljelijän kannattaa nyt hyödyntää pellossa olevaa fosforivarantoa ja lannoittaa vain sen verran, että fosforiluvun arvo kolmantena sipulivuotena on 25 mg/l. Tämä johtuu siitä, että tehdyn oletuksen mukaan sipulisato jää pienemmäksi kuin 4,6 kg/m², jos fosforin pitoisuus maanäytteessä on pienempi kuin 25 mg/l (kuva 14).

Taulukko 18. Esimerkki taloudellisesti optimaalisesta fosforilannoituksesta 12 vuoden tarkasteluajanjaksolla kun fosforiluvun alkuarvo on 33 mg/l.

Vuosi	P-luku (mg/l)	P-lannoitus (kg/ha)	Sato (kg/ha)	Sadon mukana poistunut P (kg/ha)	P-tase (kg/ha)	Katetuotto (€/ha)	Diskontattu katetuotto (€/ha)	Viljelykasvi
0	33,0	0	46 022	19,7	-19,7	27 613	27 613	sipuli
1	31,7	1	3 729	13,1	-12,4	483	469	ohra
2	30,6	0	3 725	13,1	-12,8	484	456	ohra
3	29,6	1	3 734	13,2	-11,8	483	442	ohra
4	28,7	0	46 022	19,7	-19,7	27 613	24 534	sipuli
5	27,5	2	3 739	13,2	-11,2	482	416	ohra
6	26,7	2	3 739	13,2	-11,3	482	404	ohra
7	25,8	2	3 737	13,2	-11,5	482	392	ohra
8	25,0	0	46 021	19,7	-19,7	27 613	21 798	sipuli
9	24,0	0	3 722	13,1	-13,1	484	371	ohra
10	23,2	0	3 722	13,1	-13,1	484	360	ohra
11	22,5	0	3 722	13,1	-13,1	484	350	ohra

Sipulin ja/tai rehuohran hinnan nousu parantaa viljelijän katetuottoa ja lisää fosforilannoituksen määrää (ellei ympäristökorvaus sitä rajoita). Lannoitefosforin hinnannousu puolestaan pienentää viljelijän katetuottoa ja vähentää fosforilannoituksen määrää. Diskonttokoron nousu tekee viljelijästä kärsimättömän. Hän painottaa silloin lähellä nykyhetkeä saatavia katetuottoja ja antaa aiempaa pienemmän painoarvon kauempana nykyhetkestä saataville katetuotoille.

4.4. Johtopäätökset

Sipulin fosforilannoituspäätökset kannattaa tehdä useammaksi vuodeksi kerrallaan viljelykierto ja maaperän viljavuusfosforimäärä huomioiden. Tämä johtuu siitä, että maaperän viljavuusfosforin määrällä vaikuttaa olevan sipulisatoa lisäävä vaikutus ainakin alemmissa fosforiluokissa. Näin ollen fosforivarantoon investoiminen lannoittamalla saattaa olla taloudellisesti perusteltua, jos fosforiluokka on matala. Lannoittaminen ei kuitenkaan ole aina taloudellisesti järkevää. Fosforivarannon hyödyntäminen saattaa olla taloudellisesti perusteltua silloin, jos pellon fosforiluokka on jo valmiiksi korkea tai jos pellon vuokrasopimus on päättymässä, eikä viljelijä ole uusimassa sopimusta.

Sipulille sopivan peltomaan fosforitilan optimointi määrittää myös välikasvina käytettävän kevätiljan fosforilannoitusta, koska sipulinviljelystä peltohehtaarilta saatava katetuotto on huomattavasti suurempi kuin välikasvin katetuotto. Tällöin matalan fosforiluokan mailla saattaa olla kannattavaa lisätä kevätiljan fosforilannoitusta, vaikka lannoitus ei lisäisikään välikasvin satoa.

Viitteet

- Aakkula, J. & Leppänen, J. (toim.). 2014. *Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYT-VAS 3): loppuraportti*. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2014. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. http://mmm.fi/documents/1410837/1720628/MMM_mytvas_loppuraportti_WEB.pdf/2cc8f041-82f2-4bbf-85e3-bd4a8d6964b3
- Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Valkama, E., Ketoja, E., Vaahtoranta, A., Virkajärvi, P., Grönroos, J., Lemola, R., Ylivainio, K., Rasa, K. & Turtola, E. 2016. A Simple Dynamic Model of Soil Test Phosphorus Responses to Phosphorus Balances. *Journal of Environmental Quality* 45: 977–983. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.09.0463>

5. Vihannesten typpilannoitustutkimus

Tapio Salo, Terhi Suojala-Ahlfors, Pirjo Kivijärvi ja Petri Kapuinen

Typpilannoituksen määrän arviointi ja erityisesti kesän aikaisen typen lisäyksen ajoittaminen ovat aihepiiri, josta kaivataan tietoa viljelijöiden päätöksen teon tueksi. Suomessa on käytetty kasvukaudella liukoisen typen mittausta apuvälineenä lisälannoitustarpeen arviointiin, mutta tulosten tulkinta ei aina ole ongelmaton. Orgaanisia lannoitevalmisteita käytetään etenkin luonnonmukaisessa tuotannossa, mutta niiden orgaanisen typen lannoitusvaikutusta on vaikea arvioida tarkasti.

Typpilannoituskokeiden tavoitteina oli

1. määrittää keskeisten vihannesten määrällisesti ja laadullisesti hyvään satoon tarvittava typpilannoitus, jonka aiheuttama ympäristökuormitus on kohtuullinen,
2. arvioida jaetun typpilannoituksen etuja ja etsiä keinot typpilannoituksen oikeaan ajoitukseen sadontuotannon ja ympäristönkuormituksen kannalta ja
3. arvioida orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttömahdollisuuksia luonnonmukaisessa vihanneustuotannossa ja määrittää niiden sisältämän liukoisen typen tuotantovaikutus verrattuna mineraalilannoitteiden typen vaikutukseen.

5.1. Menetelmät

5.1.1. Lajikekokeet vuonna 2014

EKOkas-hankkeen yhteydessä vuonna 2014 tehdyistä keräkaalin ja porkkanan lajikekokeista määritettiin ravinnepitoisuudet ja ravinteiden otto, joiden avulla voidaan arvioida lajikkeiden välisiä typen käytön eroja. Keräkaalikoe toteutettiin Lammilla, ja lohkon maalaji oli multava hietamoreeni. Kokeessa oli seitsemän lajiketta. Taimet istutettiin 26.5.2014 ja sato korjattiin 13.10.2014. Kasvustonäytteet otettiin 15.8.2014, jolloin vierekkäisistä riveistä otettiin kaksi kaalia näytteeksi. Kaaleista erotettiin kiinteän kerän muodostaneet lehdet ja ulkolehdet omiksi näytteiksi. Näytteet kuivattiin 60 °C:n lämpötilassa, minkä jälkeen ne varastoitettiin odottamaan ravinneanalyysijä. Jokaisen lajikeen sato korjattiin neljältä ja 5,6 m² näytealalta. Keristä määritettiin kokonaissato ja kauppakelpoinen sato. Kauppakelvottomiksi keriksi luokiteltiin alle 0,5 kg:n painoiset tai vioittuneet kerät. Sadonkorjuun yhteydessä ravinnepitoisuuksien määrittämistä varten otettiin kultakin lajikkeilta kaksi vierekkäisissä riveissä kasvanutta kaalia, jotka käsiteltiin samalla tavalla kuin kasvustonäytettä otettaessa.

Porkkanan lajikekoe tehtiin Lopella, ja lohkon maalaji oli erittäin runsasmultainen hieno hieta. Kokeessa oli seitsemän porkkanalajiketta. Porkkanat kylvettiin 17.–19.5.2014. Kasvustonäytteiksi otettiin penkkirivistä porkkanat 50 cm:n matkalta 25.8.2014. Juuret ja lehdet erotettiin, kuivattiin 60 °C:n lämpötilassa ja varastoitettiin odottamaan ravinneanalyysijä. Porkkanasato korjattiin 1.10.2014. Sato korjattiin neljältä kahden penkkimetrin pituiselta näytealalta. Kauppakelpoisiksi porkkanoiksi luokiteltiin yli 50 g painoiset ja ulkoiselta muodoltaan säännölliset sekä terveet porkkanat. Ravinnenäytteeseen kerättiin porkkanat 30 cm:n matkalta, ja ne käsiteltiin samoin kuin kasvustonäytteitä otettaessa. Tarkempi kuvaus lajikekokeiden toteutuksesta on Kivijärven ym. (2015) julkaisussa.

Näytteiden ravinnepitoisuudet analysoitiin Eurofins Viljavuuspalvelussa. Typpipitoisuudet määritettiin Kjeldahl-menetelmällä ja kivennäiset kuivapolttomenetelmällä. Siinä kasvinäyte poltetaan tuhaksi 550 °C:n lämpötilassa, minkä jälkeen tuhka liuotetaan suolahappoon, uute suodatetaan ja siitä mitataan kivennäisten pitoisuudet plasmaemissiospektrometrillä. Kasvustonäytteiden ja satotulosten perusteella laskettiin kasvustojen ravinteiden otot.

5.1.2. Keräkaalikokeet vuonna 2015

Piikkiön koe

Vuonna 2015 toteutettiin keräkaalin (varastolajike 'Lennox') lannoituskoe Luke Piikkiössä ja tilakoe Satakunnassa. Piikkiön kokeessa oli vertailtavana yhdeksän käsittelyä, joista kuusi oli typpiportaita (typpilannoitus yhteensä 0–230 kg/ha), kaksi vertaili erilaisia typpilannoituksen ajoitusmenetelmiä (maan liukaisen typen seuranta ja GreenSeeker-mittaus) ja yhdessä lannoitus hoidettiin orgaanisilla lannoitevalmisteilla (taulukko 19).

Koepaikan maalaji oli runsasmultainen hiekkainen karkea hieta, pH 7,2. Muiden ravinteiden kuin typen käyttömäärät tasattiin mineraalilannoituskäsittelyissä hyödyntämällä eri lannoitteita. Fosforia annettiin 25 kg/ha ja kaliumia 200 kg/ha kevätlannoituksessa. Kevätlannoitteet levitettiin koeruutuihin käsin päivää ennen istutusta ja muokattiin maahan jyrsimellä.

Lisälannoitusta annettiin eri käsittelyissä 0–3 kertaa. Ensimmäisellä kerralla typpilannoitteena oli Puutarhan NK1 -lannoite, muilla lisälannoituskerroilla annettiin Suomensalpietaria. N0- ja N100-käsittelyissä ensimmäisellä lisälannoituskerralla annettiin kaliumsulfaattia, jotta kaliumlisäys oli yhtä suuri kaikissa käsittelyissä.

N230org-käsittelyssä kevätlannoitus toteutettiin käyttämällä ErikoisViljo-lannoitevalmistetta (valmistaja Elosato Oy), jonka levitysmäärä laskettiin liukaisen typen pitoisuuden (2,5 %) perusteella. Levitysmäärä oli 4 000 kg/ha, josta tuli 100 kg/ha liukoista typpeä ja lisäksi 220 kg/ha orgaanista typpeä. Lisälannoituksessa käytettiin Väkevytyä perunan solunestettä, jonka kokonaistyppipitoisuus oli 10 kg tonnissa ja liukaisen typen pitoisuus 6,4 kg tonnissa. Levitysmäärä laskettiin liukaisen typen pitoisuuden perusteella, ja se oli kahdella ensimmäisellä lisälannoituskerralla 8 000 kg/ha ja viimeisellä kerralla 4 700 kg/ha. Kevätlannoitteet muokattiin maahan jyrsimellä. Lisälannoitteet levitettiin pintalevityksenä (soluneste kastelukannulla), minkä jälkeen aluetta sadetettiin.

Koemalli oli täydellisten satunnaistettujen lohkojen koe, jossa oli neljä lohkoa. Koeruudun koko oli 3,6 m × 4,2 m, ja ruuduissa oli 42 tainta. Kaalit istutettiin käsin 60 cm × 60 cm:n välein 28. toukokuuta. Kaalit peitettiin viljelyn ajaksi hyönteisverkolla tuholaisten torjumiseksi. Verkko avattiin mittausta varten useita kertoja kesän aikana, ja tarvittaessa tuholaistorjuntaa varmistettiin ruiskutuksin. Kokeita kasteltiin tarvittaessa sadettamalla.

Taulukko 19. Typpilannoitus (kg/ha) Luke Piikkiön kokeessa vuonna 2015. Suluissa lisälannoituspäivä.

Käsittely	Kevät-lann. N	Lisälannoitukset, N, 0-3 kertaa			Yhteensä N	Muuta
N0	0	0	0	0	0	
N50+50	50	50 (24.6.)	0	0	100	P 25, K 240, S 102 kg/ha
N100	100	0	0	0	100	P 26, K 241, S 157 kg/ha
N150	100	50 (24.6.)	0	0	150	P 26, K 249, S 162 kg/ha
N200	100	50 (24.6.)	50 (13.7.)	0	200	PKS-lannoitus sama käsittelyissä N150, N200, N230,
N230	100	50 (24.6.)	50 (13.7.)	30 (21.7.)	230	N230 maa ja N200 green
N230maa	100	50 (6.7.)	50 (13.7.)	30 (21.7.)	230	Lisälannoitus maan liukaisen typen seurannan mukaan.
N200green	100	50 (13.7.)	50 (21.7.)	0	200	Lisälannoitus GreenSeeker-mittausten mukaan.
N230org	100	50 (24.6.)	50 (14.7.)	30 (21.7.)	230	Kevätlannoitus ErikoisViljo, lisälannoitukset Perunan väkevyty soluneste P 130, K 757, S 140 kg/ha

N200green-käsittelyssä kasvuston väriä mitattiin Trimblen GreenSeeker-mittarilla kerran viikossa 2.7.–12.8. välisenä aikana. Tätä aiemmin mittaus ei antanut järkevää tulosta, koska taimien peittävyys oli vielä pieni. GreenSeeker® mittari on käsikäyttöinen optinen sensori, jonka mittaamat arvot perustuvat kasvillisuuden heijastamaan valoon. Tällä mittarilla saadaan NDVI-arvo (normalisoitu kasvillisuusindeksi), jonka avulla voidaan arvioida esim. kasvin tynen tarvetta. Mittaukset tehtiin pääasiassa pistemittauksina kaalin yläpuolelta, 60 cm korkeudelta, jolloin Greenseeker mittasi noin 25 cm pitkän ovaalin muotoisen alueen. Pistemittauksen tulokset ovat 5–6 eri kaalikasvin keskiarvo. Kaalien kasvettua maanpintaa peittäviksi tehtiin myös jatkuvia mittauksia, jossa käveltiin kaalirivin vieressä ja mittaria pidettiin kaalirivin päällä.

Maan liukoista typpeä seurattiin ottamalla maanäytteitä viikoittain 17.6.–21.7. välisenä aikana 0–20 cm:n syvyydestä. Mittaukset tehtiin 17.6. ja 13.7. kaikista koeruuduista ja muina viikkoina 1–3 käsittelyn ruuduista. Maanäytteeksi otettiin joka ruudusta 6 osanäytettä, jotka otettiin 10, 20 ja 30 cm:n etäisyyksiltä taimista. Ensimmäinen lisälannoitus tehtiin N230maa-käsittelyssä, kun liukoisen tynen määrä muokkauskerroksessa alitti 50 kg/ha.

Liukoisen tynen pika-analyysi tehtiin Typpisalkku 2:lla (Yara Suomi) uuttamalla 50 g tuoretta maata 125 ml 0,025 M kaliumkloridia. Uuttoaika oli kaksi tuntia, jonka jälkeen uute suodatettiin. Tämän jälkeen uutteeseen kastettiin Merckin nitraattiliuska (3–90 mg/l NO₃⁻ Reflectoquant®) ja otettiin liuksesta osanäyte ammoniummittausta varten. Ammoniummäärityksen toteuttamiseksi näytteeseen lisättiin kahta Merckin määritysreagenssia, jonka jälkeen ammoniumliuska (0.2–7.0 mg/l NH₄⁺ Reflectoquant®) kastettiin näytteeseen. Liuskojen värinmuutos mitattiin RQFlex reflektrometrillä (Merck Oy). 13.7.2017 otetut maanäytteet pakastettiin liukoisen tynen analyysin jälkeen ja lähetettiin analysoitavaksi Luke Jokioisten laboratorioon. Laboratoriossa maanäytteiden liukoisen tynen pitoisuudet määritettiin uuttamalla 100 g tuoretta maata 250 ml:ssa 2 M kaliumkloridia kahden tunnin ajan. Liukset suodatettiin, jonka jälkeen ammonium- ja nitraattitypen pitoisuudet mitattiin Skalar-autoanalysaattorilla.

Koeruuduista otettiin kasvustonäytteiksi 2 tainta/ruutu 21.7. Taimista mitattiin tuore- ja kuivamassa ja toimitettiin näytteet ravinneanalyysiin. Sato korjattiin 30.9. Satoruudun pinta-ala oli 6,48 m², jonka alalla oli 18 kaalia. Sato lajiteltiin kauppakelpoisiin ja kauppakelvottomiin (2-keräisiä tai tautien tai tuholaisien vioittamia). Neljästä kaalista kerättiin myös muu maanpäällinen massa kuin kerä, minkä avulla määritettiin ”ulkolehtien” tuore- ja kuivamassa pinta-alaa kohti. Keristä ja muista maanpäällisistä osista toimitettiin näytteet ravinneanalyysiin Luken Jokioisten laboratorioon. Kasvusto- ja satoäytteiden typpipitoisuudet määritettiin Kjeldahl-menetelmällä.

Sadonkorjuun, lajittelun ja punnituksen jälkeen kerät pakattiin kudottuihin PP-säkkeihin varastointikoetta varten. Sato varastoitui 0–1 asteen lämpötilassa 8.2. asti, jolloin kerät kauppakunnostettiin ja analysoitiin pilaantuneiden kerien ja kauppakelpoisen sadon määrä.

Tilakoe

Tilakokeessa verrattiin erilaisia typpilannoituskäsittelyitä (taulukko 20), tavoitteena saada tietoa eri typpilannoitusmäärien ja aikojen vaikutuksesta keräkaalin kasvuun ja kasvuston ravinnetilaan. Kokeessa oli viisi erilaista käsittelyä, joista käsittelyt 1-4 toistettiin neljässä lohossa satunnaistettujen täydellisten lohkojen koemallin mukaisesti. 0-käsittelyä oli vain yksi koeruutu (5 m × 10 m), jossa ei annettu lainkaan peruslannoitusta mutta normaalit lisälannoitukset kasvukaudella. Käsittelyn tarkoituksena oli saada pellolle verrannekasvusto, jossa typpitila oli heikko kasvukauden alussa.

Käsittelyssä 1 annettiin vain peruslannoitus eikä lainkaan lisälannoituksia kasvukaudella. Käsittely 3 oli tilan normaali lannoituskäytäntö, jossa hyödynnetään kalkkityppeä ensimmäisellä lisälannoituskerralla ja Suomensalpietaria toisella kerralla. Kalkkityppi on hidasvaikutteinen typpilannoite, jonka typpi muuttuu ureaksi 7-14 vrk:n kuluessa. Tämän jälkeen ureasta vapautuu entsyymitoiminnan seurauksena ammoniumtyppeä kasvien käyttöön. Kalkkitypen etuna on myös rikkakasveja torjuva vaikutus. Lannoitukset tehtiin loholla 12.5.2015 ja kaalit istutettiin 14.5.2015. Epäsuotuisten säiden takia kalkkityppikäsittely ajoittui suunniteltua myöhäisemmäksi, minkä takia molemmat lisälannoit-

teet levitettiin samalla kertaa 23.6. Käsittelyssä 2 annettiin vain yksi lisälannoitus Suomensalpietarilla. Käsittelyssä 4 puolestaan toinen lisälannoitus annettiin vasta 8.7., jolloin maan liukoisen typen määrä muokkauskerroksessa oli laskenut alle kynnyksarvon 50 kg/ha.

Taulukko 20. Typpilannoitus (kg/ha) tilakokeessa vuonna 2015. Suluissa lisälannoituspäivä. CaN = kalkkityppi Perlka, SS = Suomensalpietari.

Käsittely	Kevät-lann. N	Lisälannoitukset, N, 0-2 kertaa		Yhteensä N	Muuta
0	0	80 CaN (23.6.)	50 SS (23.6.)	130	
1	100	0	0	100	
2	100	80 SS (23.6.)	0	180	2. lisälannoitus suunniteltu tehtäväksi GreenSeeker-mittausten mukaan, ei kuitenkaan todettua tarvetta.
3	100	80 CaN (23.6.)	50 SS (23.6.)	230	
4	100	80 CaN (23.6.)	50 SS (8.7.)	230	2. lisälannoitus maan liukoisen typen määrittämisen perusteella

Kokeessa seurattiin kasvuston ravinnetilaa mittaamalla maan liukoisen typen määrää muokkauskerroksessa 1.6.–20.7. välisenä aikana.

Lisäksi mitattiin kasvuston väriä viisi kertaa kesä-elokuussa Trimblen GreenSeeker-laitteella. Mittaukset tehtiin pääasiassa pistemittauksina kaalin yläpuolelta, mutta kaalien peitettyä maanpinnan tasaisesti tehtiin myös jatkuvia mittauksia. Kaalista otettiin kasvustonäytteiksi neljä lehteä jokaisesta ruudusta 21.7., 68 vrk istutuksesta. Lehdistä koostettiin yhteiset jokaista käsittelyä kuvaavat näytteet, jotka analysoitiin Yaran laboratoriossa. Sato korjattiin 24.9., jolloin otettiin myös kaksi kasvia joka ruudusta kuiva-aine- ja ravinneanalyysiin.

5.1.3. Jäävuorisalaattikoe vuonna 2016

Kokeen tavoitteina oli:

- selvittää jäävuorisalaatin typpilannoituksen määrän ja ajoituksen vaikutusta satoon ja sen laatuun
- verrata eri menetelmien (maan liukoisen typen seuranta, GreenSeeker-mittaus) soveltuvuutta lisätypen ajoittamisen arviointiin.

Koe toteutettiin Luken Piikkiön toimipaikalla. Koekasvina oli jäävuorisalaatin lajike Skindel. Kasvupaikan maalaji oli multava hietamoreeni, pH 6,8. Koeruudun koko oli 2,4 m × 5,0 m. Ruudun keskellä oli kolmirivinen salaattipenkki, jonka kasveja käytettiin mittauksiin ja satohavaintoihin. Ruudun reunoilla oli erilliset suojarivit. Koemalli oli täydellisesti satunnaistettujen lohkojen koe, jossa oli neljä lohkoa.

Siemenet kylvettiin Plantek 64 -kennostoihin 20.5. ja istutettiin avomaalle 8.6. Sato korjattiin 26.–28.7. (1-2 koelohkoa/päivä).

Kokeessa vertailtiin kahdeksaa eri käsittelyä (taulukko 21). Typpilannoitusportaiden 0–130 kg/ha lisäksi vertailussa olivat lisätypen ajoitus kalenterin, GreenSeeker-mittauksen tai maan liukoisen typen seurannan perusteella. Koko alalle levitettiin Hivenravinneseosta 200 kg/ha, ja muut ravinteet kuin typpi tasattiin peruslannoituksessa. Fosforia lisättiin 30 kg/ja ja kaliumia 120 kg/ha. Lisätyppilannoitus annettiin käsittelyihin N130, N130green ja N130maa Suomensalpietarina (112 kg/ha), jossa oli typpeä 30 kg/ha.

Salaatin kasvun aikana mitattiin maasta liukoisen typen määrää (käsittelyt N0 ja N130maa) ja seurattiin kasvuston typpitilaa Trimblen GreenSeeker-mittarilla (menetelmät kuvattu luvussa 5.1.2.).

Sato korjattiin ruudun kolmesta keskirivistä, kun kerät olivat riittävän kiinteitä. Sato lajiteltiin kaupakelpoiseen ja eri systä kaupakelvottomiin luokkiin. Kuudesta kasvusta ruutua kohti korjattiin kerän lisäksi myös muut maanpäälliset kasvinosat. Näistä kasveista määritettiin kerän ja ulkolehtien kuiva-ainepitoisuus, ja kuivatut näytteet toimitettiin ravinneanalyysiin Luken Jokioisten laboratorioon. Keristä pakastettiin myös näytteet nitraattipitoisuuden määrittämistä varten. Määritykset tehtiin pikamenetelmällä Horiban Laquatwin B-741 -nitraattimittarilla heti näytteiden sulamisen jälkeen, ja joistain ruuduista lähetettiin pakastetut verrannäytteet Novalabin laboratorioon nitraattianalyysiin.

Taulukko 21. Jäävuorisalaatin typpilannoitus (kg/ha) Luke Piikkiön kokeessa vuonna 2015. Suluissa lisälannoituspäivä.

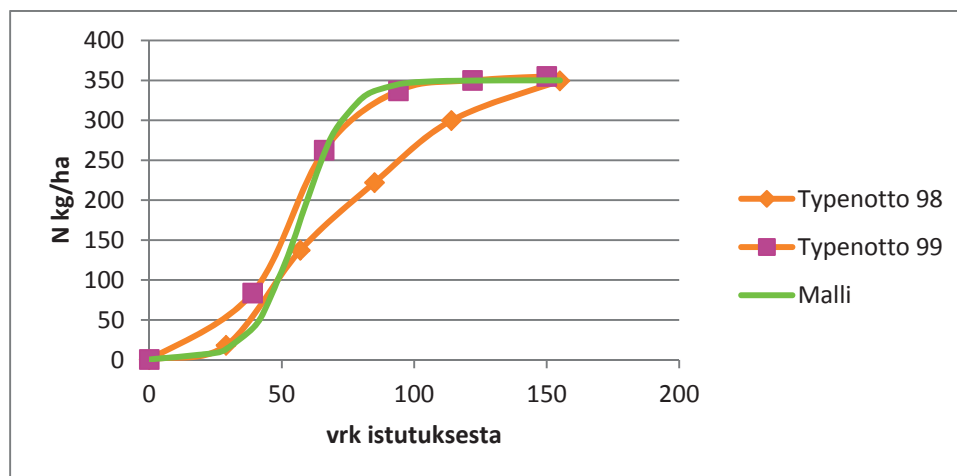
Käsittely	Kevät-lann. N	Lisälannoitus, N, 0-1 kertaa	Yhteensä N	Muuta
N0	0	0	0	
N50	50	0	100	
N100	100	0	100	
N130	100	30 (27.6.)	130	Lisälannoitus kalenterin mukaan
N130green	100	30 (14.7.)	130	Lisälannoitus GreenSeeker-mittausten mukaan.
N130maa	100	30 (30.6.)	130	Lisälannoitus maan liukoisen typen mukaan.

5.1.4. Mallintaminen

Keräkaalin typenoton määrän ja ottorytmin arvioinnissa testattiin eksponentiaalista kasvu- ja ravinteiden otton yhtälöä sekä Englannissa kehitettyä -simulointimallia, EU-Rotate-N. Eksponentiaalista mallia käytettiin Peltotohtori-ohjelmiston kehityksessä 2000-luvun alussa. Yhtälölle annetaan kasvuston suurin mahdollinen typenotto (K), johon kasvusto pyrkii ajan kuluessa.

$$\text{Typenotto} = \frac{K}{\left(1 + \left(\frac{K}{0,5} - 1\right)\right) \times \exp(-R \times \text{vrk istutuksesta})}$$

Typenoton maksimimäärän K :n ja typenoton nopeutta kuvaavan vakion R avulla kasvun ja ravinteiden otton rytmi voidaan sovittaa aikaisempiin havaintoihin. Malli ei pysty reagoimaan kasvukauden aikaisiin stresseihin, kuten veden ja typen puutteeseen.



Kuva 15. Eksponentiaalinen typenoton malli sovitettuna vuosien 1998 ja 1999 kokeiden tuloksiin (kokeet esitelly julkaisussa Tahvonen ym. 2001).

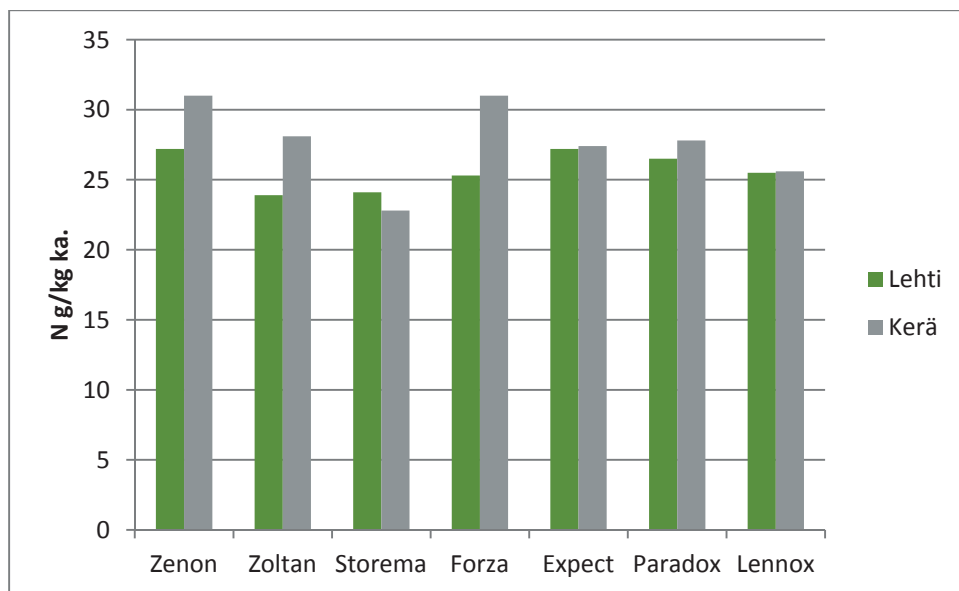
Dynaaminen simulointimalli reagoi siihen ohjelmoituihin kasvua hidastaviin tai nopeuttaviin tekijöihin. Yleensä kasvunopeus yhdistetään lämpötilasummaan ja kasvun hidastuminen veden ja typen

puutteeseen. EU-Rotate-N -mallia testattiin Piikkiön vuoden 2015 keräkaalin typpilannoituskokeen aineistolla. Mallille annettiin lähtötiedoiksi kasvukauden sää, maaperän tiedot ja viljelytiedot, mutta mallin parametrejä ei kalibroitu koevuoden tuloksilla. Mallin tuloksia verrattiin mitattuun satomäärään ja typenottoon kasvustonäytteessä ja sadossa erilaisilla typpilannoitustasoilla.

5.2. Tulokset

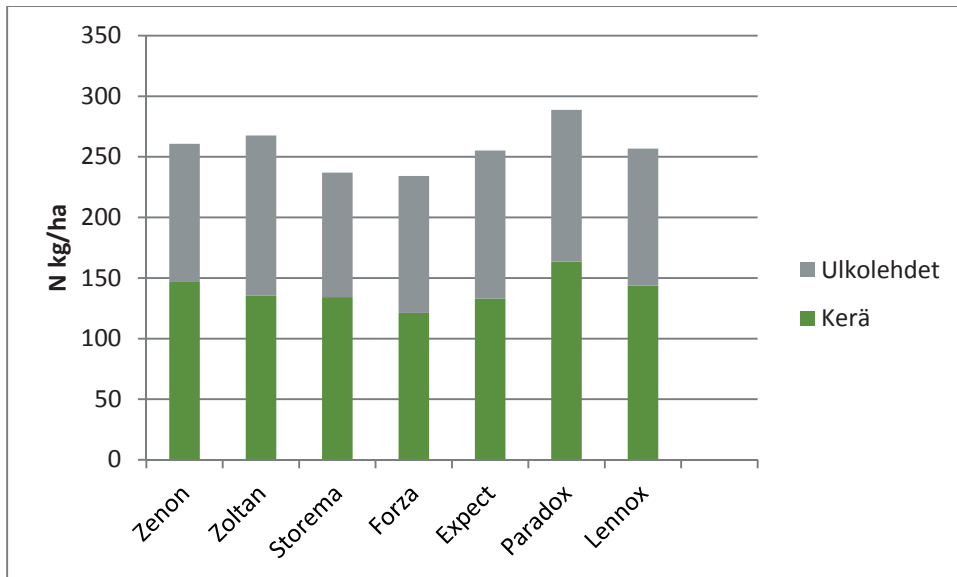
5.2.1. Lajikekokeet 2014

Kasvustonäytteessä 81 vrk istutuksen jälkeen keräkaalilajikkeiden typpipitoisuudet vaihtelivat ulkolehdissä 23,9–27,2 g/kg. Kerää muodostavien ja samalla nuorimpien lehtien typpipitoisuudet olivat yleensä hieman korkeammat (kuva 16). Kasvustonäytteen biomassan määrä ja lopullinen satotaso olivat suurimmat seuraavilla lajikkeilla: Lennox, Paradox ja Zenon. Kasvultaan ja lopulta myös sadoltaan heikoin lajike oli Forza, jonka typpipitoisuus ei ollut muita lajikkeita alhaisempi kasvustonäytteessä tai satonäytteessä. Yaran Megalab-analyysien typpipitoisuuden ohjearvo on 37 g/kg, ja vastaavia arvoja suosittavat myös Jones ym. (1991). Ohjearvojen perusteella kaalikasvustoissa olisi ollut selvä typpivaje.



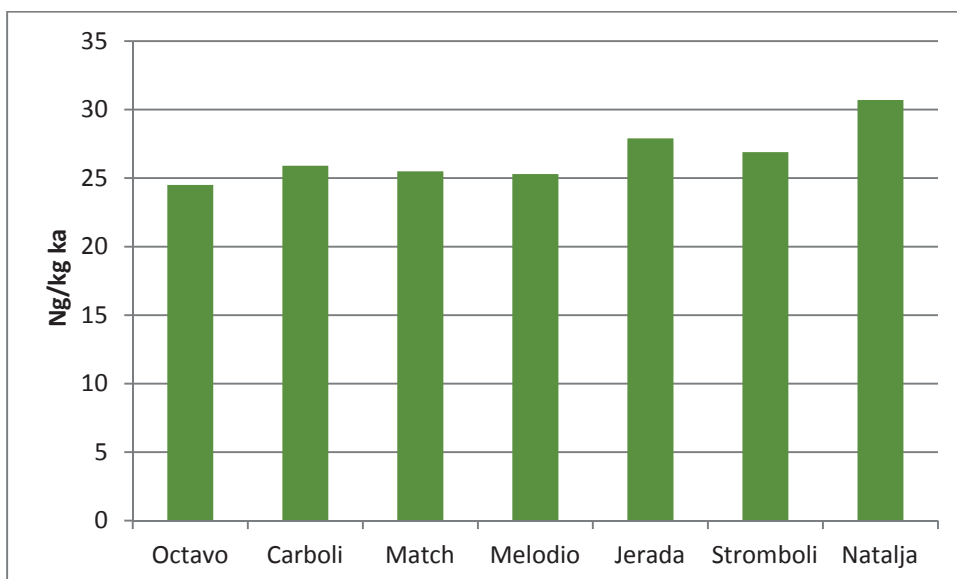
Kuva 16. Keräkaalin lajikekokeen typpipitoisuudet ulkolehdissä ja kerää muodostavissa nuorimmissa lehdissä kasvustonäytteessä 15.8.2014.

Kasvustonäyte otettiin 81 vrk istutuksesta, ja tällöin typen otto oli hidaskasvuisimmilla lajikkeilla (Forza, Storema ja Zoltan) alle 5 g/kasvi. Nopeammin kasvaneiden lajikkeiden (Lennox, Paradox ja Zenon) typenotto oli tässä vaiheessa jo lähes 10 g/kasvi. Sadonkorjuuvaiheessa kaalikasvustojen typenotto oli 230–290 kg/ha (kuva 17). Näytealojen satotaso oli alimmillaan 50 tn/ha (Forza) ja suurimmillaan 75 tn/ha (Lennox).



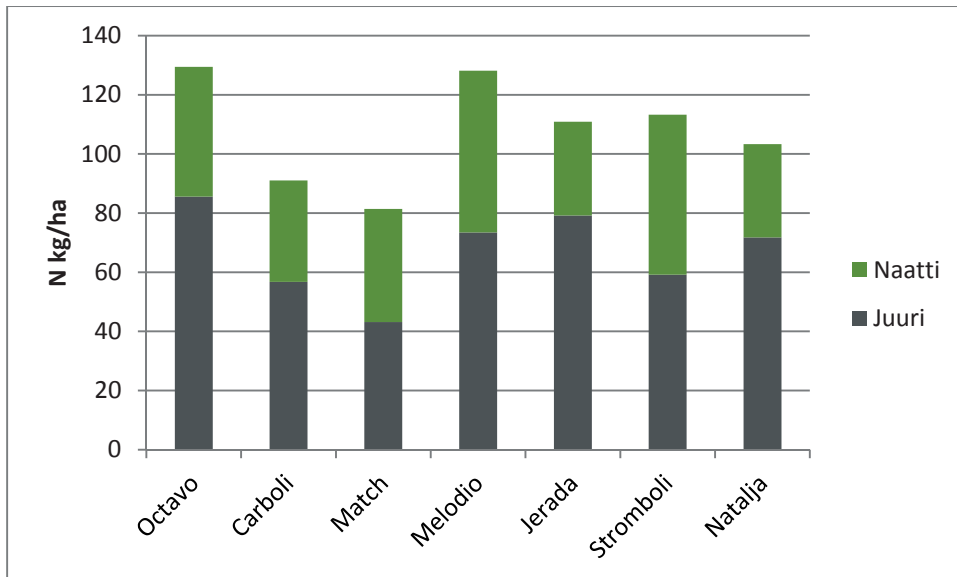
Kuva 17. Kaalilajikkeiden typenotto sadonkorjuuvaiheessa 13.10.2014.

Porkkanan lajikekokeen naattien typpipitoisuudet vaihtelivat välillä 25–31 g/kg ka kasvustonäytteessä 99 vrk kylvöstä (kuva 18). Pitoisuudet ylittivät selvästi Megalab-suosituksen ohjearvon 21 g/kg ka ja olivat myös Jonesin ym. antaman (1991) suositusalueen 21–35 g/kg ka sisällä. Porkkanalajikkeiden typenotto oli kolmen kuukauden kuluttua kylvöstä jo 80–127 kg/ha.



Kuva 18. Porkkanan naattien typpipitoisuudet 99 vrk kylvöstä.

Näytealoilta korjatut sadot olivat 36–50 tn/ha. Sadonkorjuuvaiheessa porkkanan typenotto oli 81–129 kg/ha (kuva 19). Kasvukauden näytteen korkeimmat typpipitoisuudet lajikkeissa Jerada ja Natalja eivät johtaneet muita lajikkeita korkeampiin satoihin tai typenottoon.

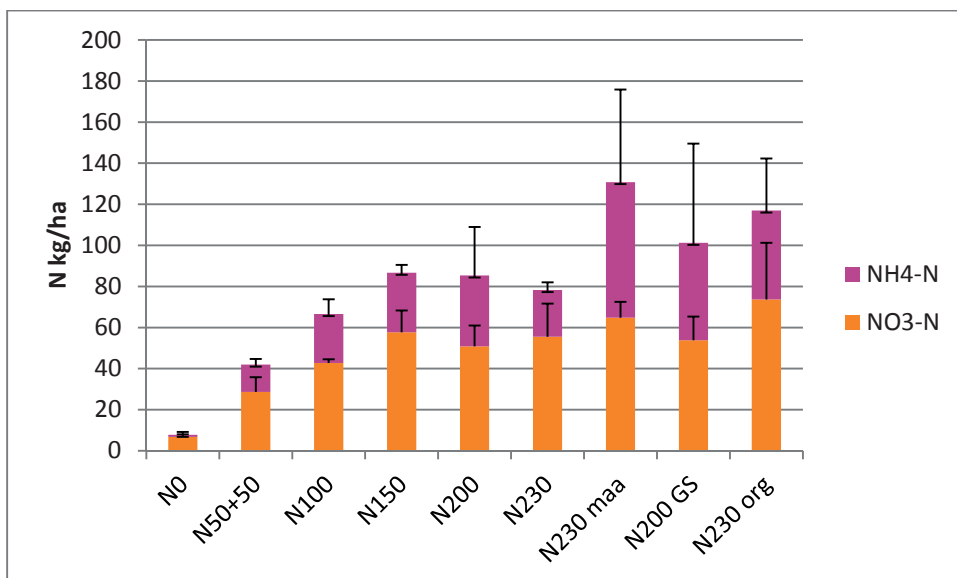


Kuva 19. Porkkanalajikkeiden typen otto vuonna 2014.

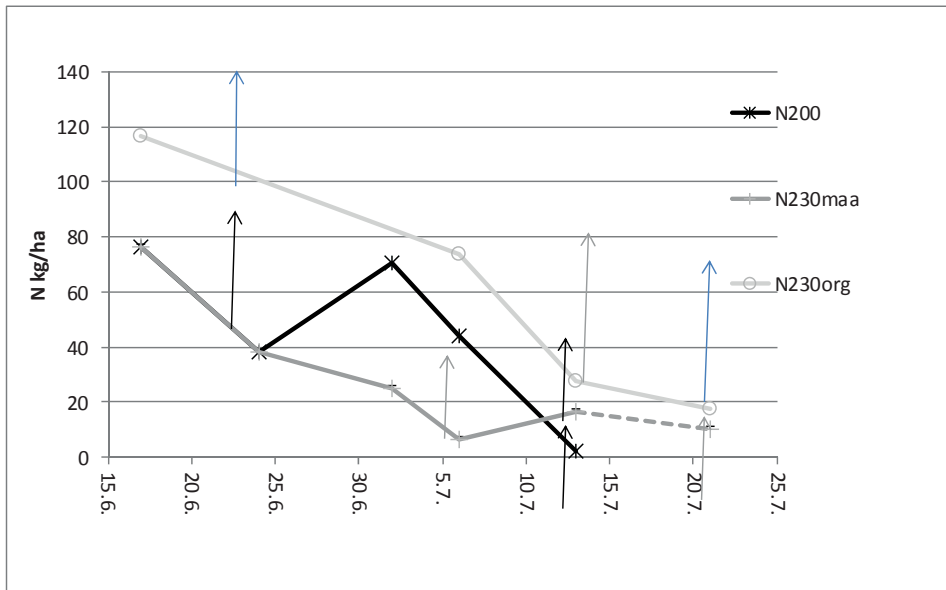
5.2.2. Piikkiön koe 2015

Maan liukoisen typen analyysit

Ensimmäisessä liukoisen typen analyysissä 17.6. (kuva 20) maan liukoisen typen määrä oli lannoittamattomissa tai 50 N kg/ha lannoitetuissa ruuduissa pienempi kuin kaikissa muissa käsittelyissä, joita oli istutuksen yhteydessä lannoitettu 100 N kg/ha. Ammoniumtypen määrissä oli paljon vaihtelua N230maa ja N200green-käsittelyissä, vaikka lannoitustaso näissä käsittelyissä oli tässä vaiheessa sama kuin typpilannoitustasoissa N100–N230. N230org-käsittely oli lannoitettu lihaluujuuholla, joten sen orgaanisen typen vapautuminen on voinut nostaa maan liukoisen typen määrää korkeammalle kuin 100 N kg/ha lannoitetuissa käsittelyissä.



Kuva 20. Maan liukoisen typen pikamääritys 17.6.2015 0-20 cm:n maakerroksessa. Virhepalkit ovat mittaustulosten keskihajonta neljässä kerranteessa.



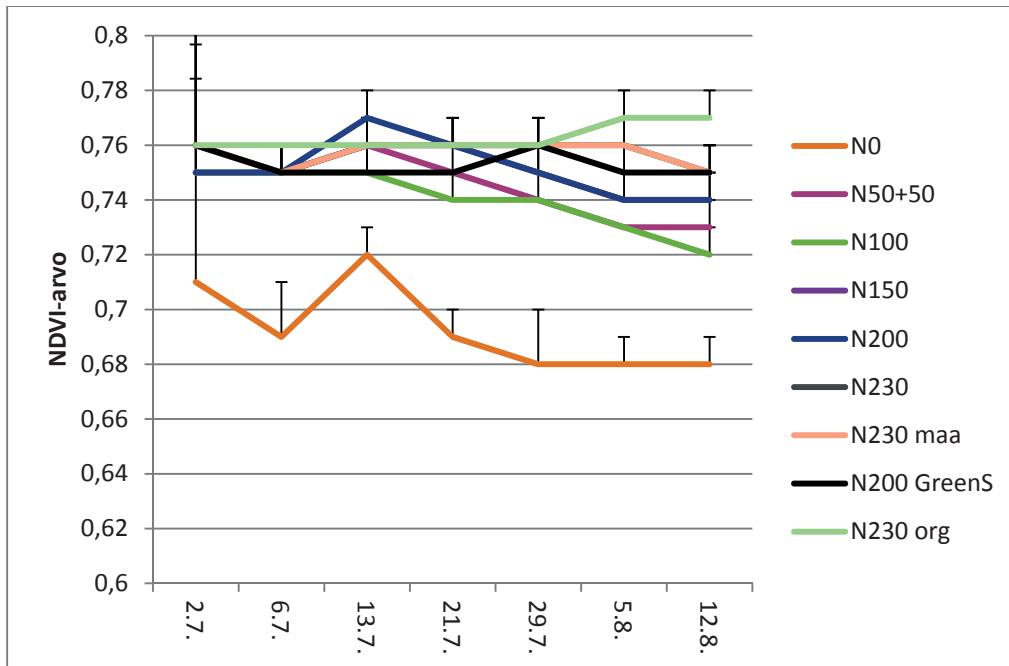
Kuva 21. Maan epäorgaanisen typen määrän muutokset N200, N230maa ja N230orgkäsittelyissä 0–20 cm:n maakerroksessa liukoisen typen pika-analysissä. Nuolet kuvaavat lisälannoituksen ajankohtia.

Orgaanisen lannoitteen ja N200-käsittelyn lisätyppilannoitukset annettiin oletetun kasvurytmin mukaan 24.6.2014 ja 14.–15.7.2014 sekä orgaanisella lannoitukselle vielä 21.7.2014. Maan liukoisen typen analyysien perusteella ensimmäinen lisätyppilannoitus annettiin käsittelyssä N230maa kymmenen päivää myöhemmin kuin kasvuarvion mukaan tehtiin käsittelyssä N230. Heinäkuun alussa viikon välein tehty liukoisen typen mittausta ei ehtinyt reagoimaan N 50 kg/ha lisätyppilannoituksiin, joten jäljellä olleet lisätyppiannokset (50 ja 30 N kg/ha) annettiin viikon välein, ennen kuin ulkolehdet peittivät koko pinta-alan.

Heinäkuun puolivälissä maan liukoisen typen määrät olivat alle 10 kg/ha muissa käsittelyissä paitsi liukoisen typen mukaan lisälannoitetussa ja orgaanisesti lannoitetussa käsittelyssä (liite 2). Tästä näytteestä määritettiin liukoisen typen pitoisuudet myös laboratoriossa käyttäen vahvempaa uuttoliuosta. Laboratoriossa määritetyt tulokset olivat kaksinkertaiset pikamäärityksellä mitattuihin verrattuna (liite 2). Pikamäärityksissä käytetty 0,0125 M CaCl₂-liuos ei ilmeisesti uuttanut typpeä alhaisissa pitoisuuksissa yhtä tehokkaasti kuin laboratoriouuton 2 M KCl-liuos.

GreenSeeker-havainnot

Greenseeker-mittauksen NDVI-arvot olivat selvästi alempana lannoittamattomassa käsittelyssä (kuva 22 ja liite 2). NDVI-arvot olivat 13.7.2015 N100- ja N200green-käsittelyissä alemmat kuin siihen mennessä yhden lisälannoituksen (50 N kg/ha) saaneessa N200-käsittelyssä ($p=0,04$). Typpeä vain 100 kg/ha saaneiden kasvustojen (N50+50 ja N100) NDVI-arvot alkoivat pienentyä 21.7.2015 jälkeen. NDVI-arvot olivat N200green-käsittelyssä samalla tasolla yli 150 N kg/ha lannoitettujen käsittelyjen kanssa 21.7., mutta käsittelylle annettiin 50 N kg/ha lisälannoitus, koska kaalit olivat voimakkaassa kasvussa. NDVI-arvot laskivat 200 kg/ha saaneessa käsittelyssä liukoisten typen pitoisuuksien mukaan lisälannoitettua (N230maa) ja orgaanisen typen käsittelyä (N230org) alemmaksi vasta 5.8.2015, jolloin viimeistä suunniteltua 30 N kg/ha lisälannoitusta ei voitu enää antaa, koska kasvusto peitti jo maanpinnan täysin.

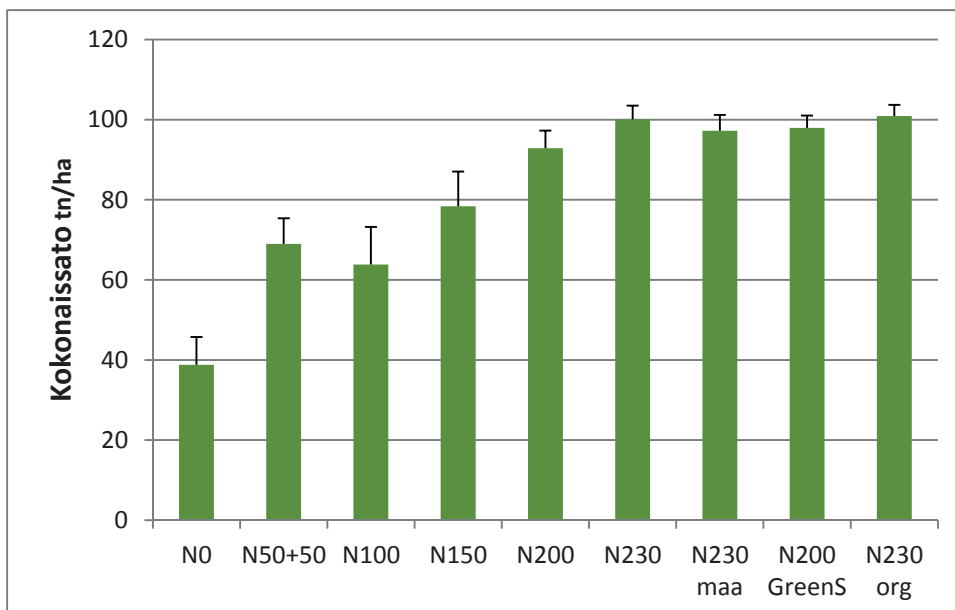


Kuva 22. NDVI-arvojen muutokset keräkaalikokeessa Piikkiössä kesällä 2015. Virhepalkit kuvaavat mittaustulosten hajontaa neljässä kerranteessa.

Jatkuvan NDVI-arvon mittauksen arvot olivat yleensä hieman alhaisempia kuin yksittäisten kaalien päältä tehdyt mittaukset. Piste- ja jatkuvan mittauksen erotus oli lannoittamattomissa kaalikasvustoissa eri ajankohtina 0,01–0,04 yksikköä ja myös tilastollisesti merkitsevä. Kasvien välissä oli maanpintaa näkyvillä, mikä laski jatkuvan mittauksen tulosta.

Satotulokset

Kaalin kokonaissato lisääntyi selvästi typpilannoituksen noustessa 200 kg/ha typpitasoon asti (kuva 23). Korkein typpilannoitustaso, 230 kg/ha, tuotti myös hieman 200 N kg/ha tasoa suuremman sadon ($p=0,04$). Saman 100 kg/ha typpilannoituksen annostelu kerralla istutuksen yhteydessä tai kahteen erään jaettuna ei aiheuttanut eroja ($p=0,20$).



Kuva 23. Kaalin kokonaissato Piikkiön kokeessa 2015. Virhepalkit kuvaavat käsittelyn keskihajontaa.

Vähintään 200 kg/ha typpeä saaneet käsittelyt tuottivat kaikki selvästi suuremman sadon kuin typpitaso 150 kg/ha. Maan liukoisen typen tai GreenSeeker-mittausten perusteella tehtyjen typpilannoituskäsittelyjen satomäärät eivät tilastollisesti eronneet N200- tai N230-käsittelyjen sadoista. Vain orgaanisen lannoituskäsittelyn satotaso oli korkeampi kuin N200 käsittelyn ($p=0,02$). Satotasossa 7 tn/ha erot olivat tilastollisesti merkitseviä., Keräkaalin vuoden 2016 pakkaamohinnalla (0,60 €/kg, www.kasvistieto.fi), eron arvo olisi 4 200 €. Korjuun ja kauppakunnostuksen kustannuksiin voidaan arvioida Kajalon (2013) tuotantokustannuslaskelmien perusteella kuluvan 0,20 €/kg, jolloin lisäsadon arvoksi jäisi 2 800 €. Vastaavasti GreenSeeker seurannan avulla 30 kg/ha alemmaksi jäänyt typpilannoitus vastaisi hintatasolla 1 €/kg N kolmenkymmenen euron säästöä. Kauppakelpoisten kerien osuus kokonaissadosta oli 98 %, eikä käsittelyjen välillä ollut eroja. Näin ollen käsittelyjen vaikutus kauppakelpoiseen satoon oli samanlainen kuin kokonaissatoon.

Sadon säilyvyyttä seurattiin varastointikokeessa helmikuun alkuun asti. Harmaahome aiheutti varsin suuria varastointitappioita. Koska varastoitujen kerien määrä kutakin koeruutua oli pieni, satunnaisvaihtelun merkitys varastoinnin jälkeisessä kauppakelpoisuudessa oli varsin suuri. Näin ollen käsittelyjen vaikutuksesta sadon säilyvyyteen ei voi todeta muuta kuin että kokonaan ilman typpilannoitusta viljellyt, pienikokoiseksi jääneet kerät säilyivät parhaiten.

Typpipitoisuudet ja kaalin typenotto

Sadonkorjuuvaiheessa kerän typpipitoisuudet olivat lannoittamattomissa kaaleissa 1,24 mg/kg ka, joka oli alhaisempi kuin vähintään 150 N kg/ha lannoitettujen kerien typpipitoisuus (taulukko 22). Korkein kerän typpipitoisuus mitattiin orgaanisessa lannoituksessa, 2,03 mg/kg ka. Ulkolehtien typpipitoisuus lisääntyi myös selkeästi typpilannoituksen noustessa. Koska typpilannoitus lisäsi sekä kasvua että typpipitoisuutta, se vaikutti selvästi kaalien typenottoon.

Kun verrataan saman typpilannoitustason saaneita käsittelyjä, havaitaan seuraavia asioita: 100 kg/ha typpilannoituksen annostelu yhdellä tai kahdella kerralla ei vaikuttanut typenottoon. NDVI-arvojen mukaan viivytetty lisätyppilannoitus (käsittely N200green) kasvatti kerän typenottoa verrattuna käsittelyyn N200. Maan liukoisen typen määritysten perusteella viivytetty typpilannoitus (käsittely N230maa) pienensi typen kertymistä ulkolehtiin verrattuna käsittelyyn N230. Orgaanisessa lannoituksessa käytetyn lihaluujauhon ja perunan solunesteen typen käyttökelpoisuus oli suurempi kuin näiden lannoitteiden liukoisen typen määrä.

Taulukko 22. Kaalin typpipitoisuudet ja typenotto kerässä ja ulkolehdissä. Keskiarvon keskivirhe vertaa käsittelyjen välisiä eroja.

Käsittely	N-pitoisuus (% ka)		N:n otto (kg/ha)		
	Kerä	Ulkolehdet	Kerä	Ulkolehdet	Yhteensä
N0	1,24	1,07	47	40	87
N50+50	1,19	1,03	90	79	169
N100	1,27	1,16	83	87	170
N150	1,38	1,36	106	107	213
N200	1,48	1,48	139	114	253
N230	1,66	1,77	158	136	294
N230maa	1,65	1,54	156	115	271
N200green	1,69	1,64	159	116	275
N230org	2,03	1,96	186	143	329
<i>Keskiarvon keskivirhe</i>	<i>0,05</i>	<i>0,06</i>	<i>4</i>	<i>7</i>	<i>9</i>

Kaalin tyypitaseet olivat koko kasvustoa kohti laskettuna selvästi negatiiviset (taulukko 23). Satotason perusteella riittävästi lannoitetuissa kasvustoissa maasta vapautuneen typen ottoa oli 50–60 kg/ha. Orgaanisista lannoitteista vapautui tämän lisäksi 30–40 N kg/ha. Koska ulkolehdissä on kaalin tyypestä 30–50 %, pellon tyypitaseet jäivät selvästi positiivisiksi ja olivat hyvin satoa tuottaneissa käsittelyissä 41–72 kg/ha.

Taulukko 23. Kaalin tyypitase koko kasvustossa ja lohkolta poistuvassa keräsadossa.

	Tyypitase (kg/ha)	
	Koko kasvusto	Kerät
N0	-87	-47
N50+50	-69	10
N100	-70	17
N150	-63	44
N200	-53	61
N230	-64	72
N230maa	-41	74
N200green	-75	41
N230org	-99	44

5.2.3. Tilakoe

Maan liukoinen typpi

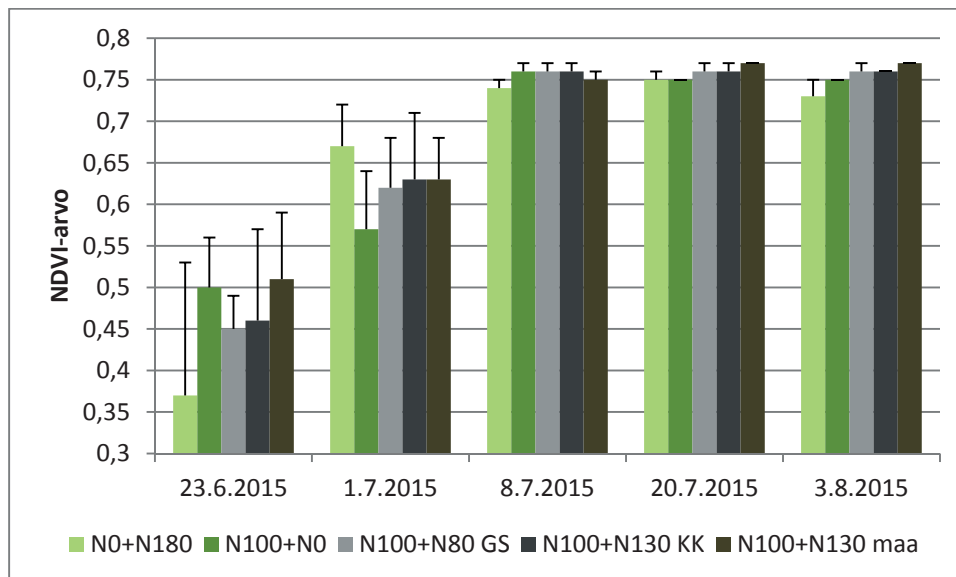
Maan liukoisen typen määrät olivat 100 N kg/ha lannoitetuissa ruuduissa 28–45 kg/ha ensimmäisessä näytteenotossa kahden viikon kuluttua istutuksesta. Tässä vaiheessa lannoittamattoman käsittelyn liukoisen typen määrä oli 19,5 kg/ha. Lisätyppilannoitukset annettiin 23.6.2015, ja niiden seurauksena maan liukoisen typen määrä oli heinäkuun alussa 50 kg/ha, mikä oli vähemmän kuin lannoitusten typpisisältö. Viikon kuluttua, 8.7.2015, maan liukoisen typen määrät olivat 130 N kg/ha lisälannoituksen kalkkityypinä ja Suomensalpietaria saaneissa käsittelyissä 70–85 N kg/ha. Pelkkää Suomensalpietaria lisälannoituksena 80 N kg/ha saaneen käsittelyn (N100+N80 GS) maan liukoisen typen määrä, 64 N kg/ha, oli suurempi kuin vastaavan 80 N kg/ha lannoituksen hidasvaikutteisena kalkkityypinä saaneen käsittelyn, N100+N130 maa ($p=0,06$). Tälle käsittelylle annettiin alhaisen liukoisen typen määrän perusteella lisätyppilannoitus 8.7.2015. Seuraavassa näytteenotossa maan liukoinen typpi oli jo alle 15 N kg/ha.

Taulukko 24. Maan liukoinen typpi (kg/ha) tilakokeessa 0-20 cm:n syvyydessä. Tilastollisessa testissä ei ole mukana N0+N130 käsittely. Näytteenoton 8.7. käsittelyt eroavat toisistaan ($p<0,05$), jos yläviitteen kirjaimet eroavat toisistaan.

Käsittely	Maan liukoinen typpi (kg/ha)				
	1.6.	23.6.	1.7.	8.7.	20.7.
N0+N130	19,5	13,6	50	70,2	7,8
N100+N0	27,6			14,6 ^a	
N100+N80 GS	32			64,3 ^{bc}	
N100+N130	44,6			85,7 ^c	
N100+N130 maa	39,6	27,8	49,7	35,5 ^{ab}	12,7
p-arvo	0,335			0,002	

GreenSeeker-mittaukset

Ensimmäisessä mittauksessa 23.6.2015 kaalien lehdet eivät vielä peittäneet koko mittausaluetta, ja tulokset olivat alhaiset ja hajonta suurta (kuva 24). Tässä vaiheessa 100 kg/ha typpitasolla lannoitetujen käsittelyjen NDVI-arvot olivat suuremmat kuin lannoittamattoman käsittelyn (N0+N130). Viikon kuluttua ensimmäisestä lisälannoituksesta, 1.7.2015, N0+N130 käsittelyn NDVI-arvo nousi samalle tasolle kuin muiden käsittelyjen. Alhaisin typpitaso, N100+N0, ei vielä tässä vaiheessa eronnut tilastollisesti merkittävästi lisälannoitusta saaneista käsittelyistä, koska kerranteiden väliset hajonnat olivat suuria. Kolmannessa mittauksessa, 8.7.2015, kaalit peittivät jo mittausalueen ja NDVI-arvot olivat 0,73–0,77. Vain 100 kg N /ha typpitason NDVI-arvo oli 1-2 yksikköä pienempi verrattuna vähintään 200 N kg/ha lannoitettuihin käsittelyihin 20.7. ja 3.8.2015 mittauksissa ($p < 0,05$). NDVI-arvojen perusteella 180 N kg/ha saaneelle käsittelylle ei ollut tarvetta lisälannoitukseen, sillä sen arvot eivät eronneet 230 N kg/ha saaneista lannoituskäsittelyistä 20.7.2015 mennessä. Viimeisessä, 3.8.2015, tehdyssä mittauksessa 180 N kg/ha lannoitustason NDVI-arvo oli pienempi kuin maan liukoisen typen perusteella lisälannoitetun käsittelyn arvo ($p < 0,01$). Lisälannoituksen viivyttäminen kahdella viikolla maan liukoisen typen analyysin perusteella nosti hieman NDVI-arvoja kahdessa viimeisessä mittauksessa.



Kuva 24. NDVI-arvojen muutokset keräkaalin tilakokeessa kesällä 2015. Virhepalkit kuvaavat käsittelyjen neljän lohkon keskihajontaa paitsi N0+N180 käsittelyssä, jossa virhepalkki kuvaa mittausten keskihajontaa yhdessä ruudussa.

Satotulokset ja typenotto

Tilakokeessa 180 kg/ha typpilannoitus tuotti korkeamman sadon kuin 100–130 N kg/ha lannoitukset (taulukko 25). Typpilannoituksen lisääntyminen yli 180:sta N kg/ha 230:een N kg/ha tai lannoituksen ajoittaminen eivät vaikuttaneet sadon määrään. Kun 50 N kg/ha lisälannoitus Suomensalpietarina annettiin liukoisen typen määrityksen perusteella kahta viikkoa myöhemmin, niin typenotto ulkolehtiin ja koko kasvustoon oli 13 ja 16 N kg/ha suurempi.

Taulukko 25. Tilakokeen tuoresadot, typpipitoisuudet ja typenotot. Keskiarvon keskiarvo kuvaa tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) eroa neljän alimman käsittelyn välillä. N0+N130-käsittelyssä oli vain yksi verranneruutu.

	Tuoresato tn/ha	Ulkolehtien tuorepaino tn/ha	Kerän N-pit. %	Ulkolehtien N-pit. %	Kerän typenotto kg/ha	Ulkolehtien typenotto kg/ha	Yhteensä N kg/ha
N0+N130	59,2	37,8	1,78	1,93	102	91	193
N100+N0	59,4	33,8	1,57	1,43	93	58	151
N100+N80 GS	67,2	39,4	2,00	1,98	123	84	207
N100+N130	68,2	39,7	1,95	1,76	123	75	199
N100+N130 maa	70,4	44,3	1,96	1,93	127	88	215
Keskiarvon keski- virhe	2,5	2,2	0,08	0,08	7	4	7

5.2.4. Jäävuorisalaattikoe 2016

Maan liukoisen typen mittaukset olivat matalat koko kasvukauden (taulukko 26). Viikon kuluttua istutuksesta eli 15.6. maassa oli vain 50 kg/ha typpeä Nmaa-ruuduissa, vaikka typpilannoitetta oli levitetty 100 kg/ha, eivätkä kasvit olleet ottaneet sitä vielä juuri lainkaan. Tämä voi johtua lannoite-typen osittaisesta sitoutumisesta maahan.

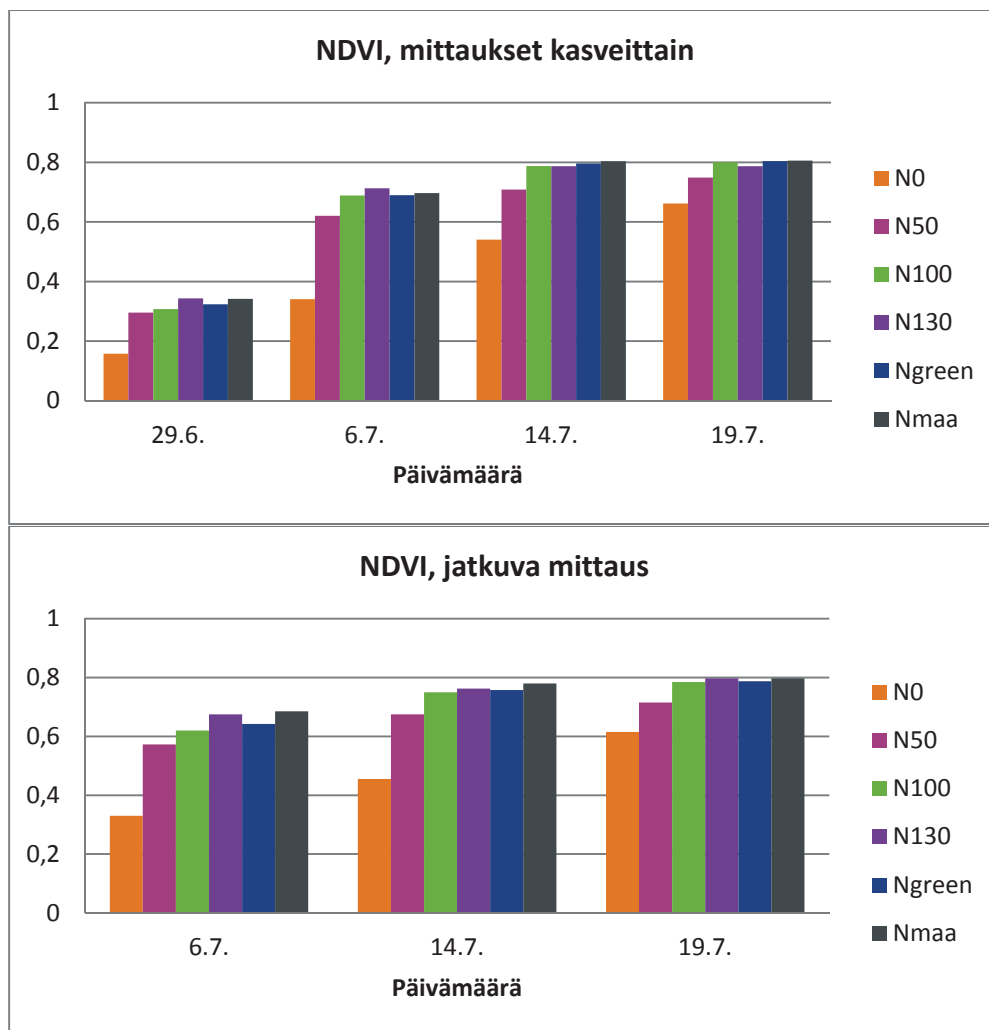
Nmaa-ruuduissa lisälannoituksen raja-arvona pidettiin typpitasoa 40 kg/ha. Tämä alitettiin 28.6. otetuissa näytteissä, minkä takia Nmaa-ruutuihin annettiin lisälannoitus 30.6. Lannoituksen vaikutus näkyi seuraavan viikon typpituloksissa, mutta sen jälkeen maan typpipitoisuudet olivat hyvin alhaisia.

Taulukko 26. Maan liukoinen typpi (kg/ha) salaattiruuduissa 0-20 cm:n syvyydessä. Tulokset ovat 4 rinnakkais-näytteen keskiarvoja.

Päivä	N0	Nmaa
15.6.	9	50
22.6.	1	44
28.6.	1	33
6.7.	0	44*
13.7.	0	13

* lisälannoitus (N30 kg/ha) annettu 30.6.

GreenSeeker-mittaukset aloitettiin 29.6. eli kolme viikkoa istutuksen jälkeen mittaamalla luke-mat kasveittain. NDVI-arvoon vaikuttavat sekä kasvin peittävyys että väri, joten mittaustulokset kas-voivat peräkkäisillä viikoilla peittävyyden lisääntyessä. 29.6. tehdyissä mittauksissa erottuivat lähinnä ilman typpeä viljellyt N0-ruudut. Vasta 6.7. alkaen, jolloin kasvusto oli jo melko peittävä, oli mahdol-lista tehdä jatkuvia mittauksia kuljettamalla mittalaitetta ruudun päästä toiseen jatkuvasti mitaten (kuva 25). Tässä vaiheessa myös N50-ruutujen mittaustulokset olivat alemmat kuin enemmän typpeä saaneiden ruutujen tulokset. Tällä perusteella päätettiin antaa lisälannoitus Ngreen-ruuduille, mutta lannoitus toteutettiin vasta 13.7. Muiden kuin N0- tai N50-ruutujen mittauserot olivat varsin samalla tasolla koko seurantajakson ajan.

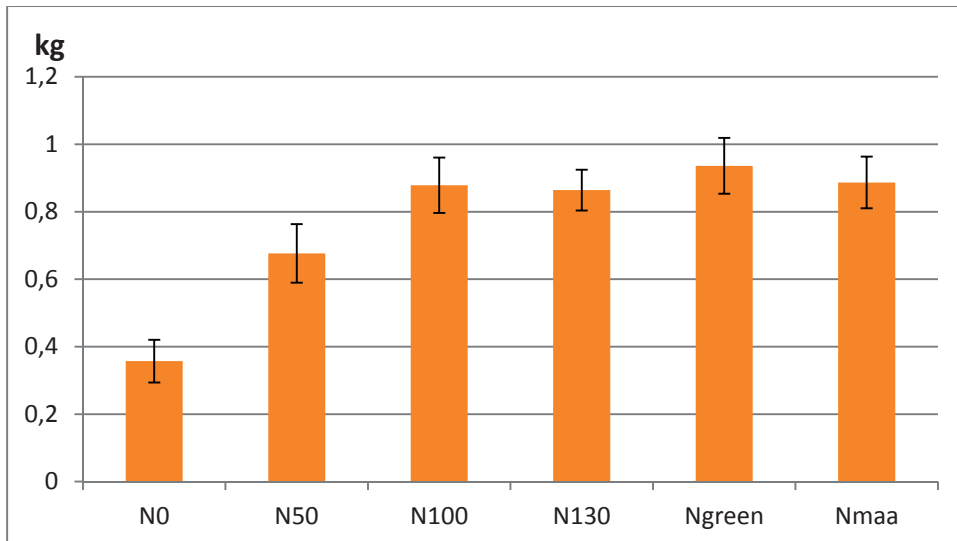


Kuva 25. GreenSeeker-mittaukset (NDVI-arvot) salaattikokeessa vuonna 2016.

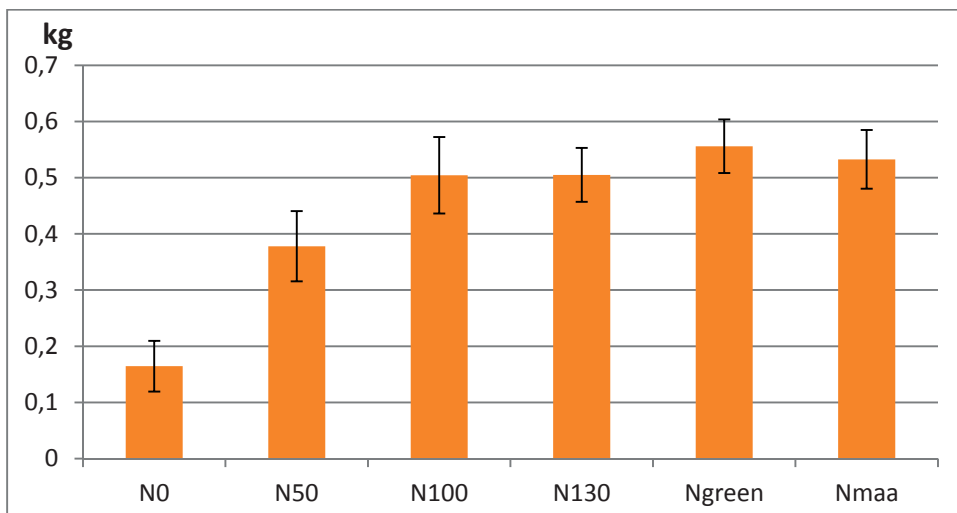
Salaatin sato korjattiin 26.–28.7. siten, että ensimmäisenä päivänä korjattiin lohkon 1 ruudut, toisena päivänä lohkojen 2 ja 3 ruudut ja kolmantena päivänä lohkon 4 ruudut. Kerät olivat korjuuhetkellä pääosin riittävän kiinteitä, mutta ilman typpilannoitusta viljellyissä ruuduissa useimmat kerät olivat vajaasti kehittyneitä.

Monissa ruuduissa puuttui yksi tai useampi taimi, jotka olivat kuolleet viimeisten kasvuvuikkojen aikana. Todennäköisin syy taimien kuolemaan oli juurakkoa vioittaneet toukat (mahdollisesti sepän toukat), muutamissa tapauksissa myös pahkahome. Keskimäärin puuttuvia kasveja oli 1/ruutu. Puuttuvien taimien takia satotulokset ilmoitetaan keskipainoina tainta kohti, mikä mahdollistaa käsittelyjen luotettavan vertailun. Koska taimitiheys oli melko väljä (taimiväli 30 cm), taimien kuoleminen sadonkorjuuta edeltävinä viikkoina ei liene oleellisesti vaikuttanut viereisten kasvien kasvuun.

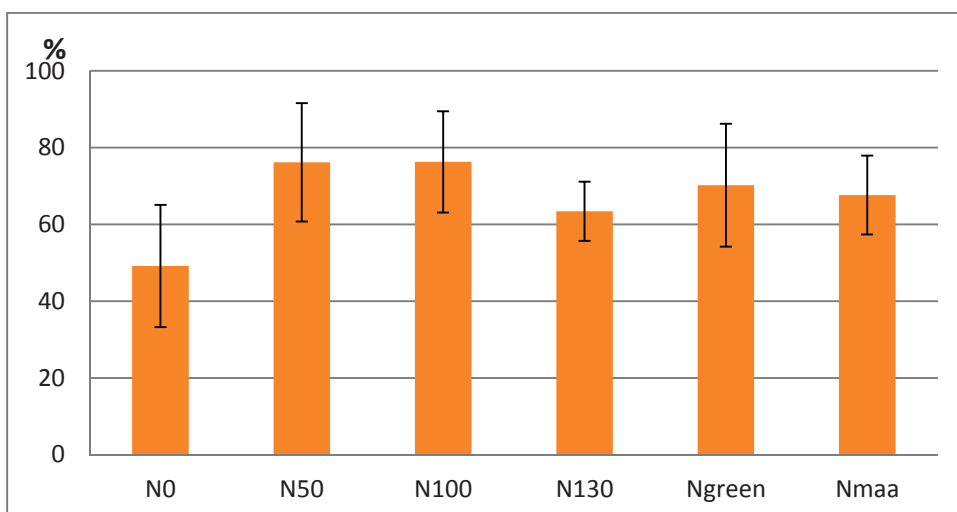
Kasvien kokonaispaino ja kerien keskipaino oli pienin N-lannoitusmäärillä 0 ja 50 kg/ha (kuvat 26 ja 27). Muiden käsittelyiden välillä ei ilmennyt juuri eroja kasvien koossa. Kauppakelpoisen sadon osuus (kuva 28) vaihteli ruutujen välillä runsaasti, joten erot käsittelyiden välillä eivät olleet kovin selvät. Ainoastaan N0-ruudussa kauppakelpoisia kerä oli selvästi muita vähemmän, mikä johtuu kerien pienestä koosta.



Kuva 26. Kasvien kokonaistuorepaino eri käsittelyissä.



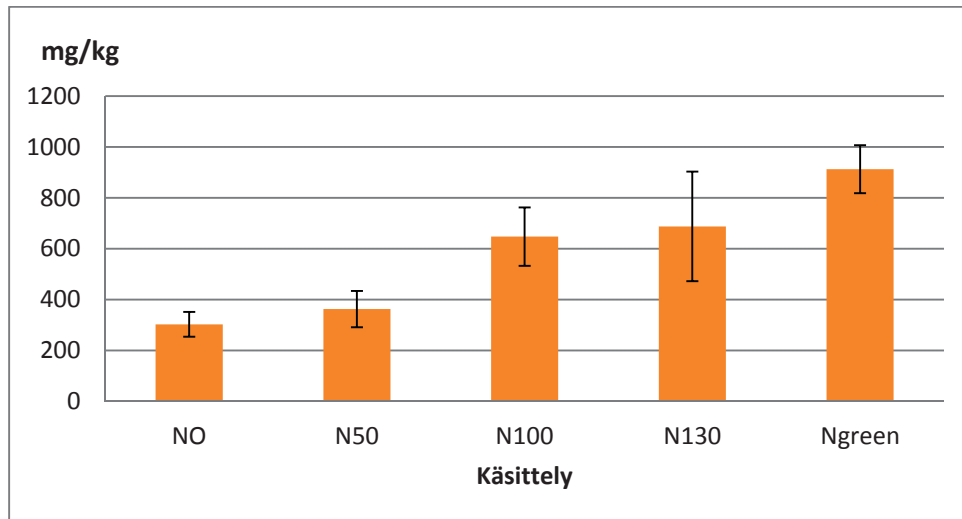
Kuva 27. Kerien keskipaino eri käsittelyissä.



Kuva 28. Kauppakelpoisen sadon osuus kerien kokonaispainosta.

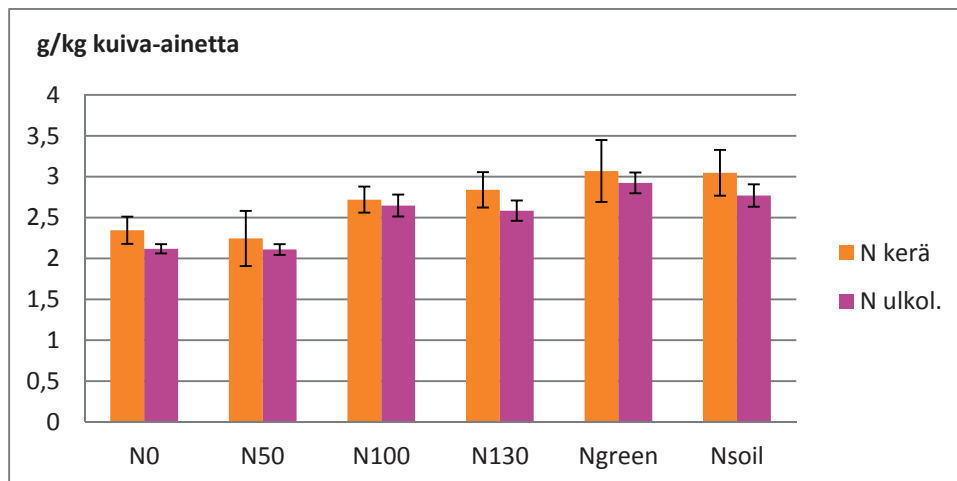
Kerien nitraattipitoisuus pikamenetelmällä mitattuna nousi typpilannoituksen lisääntyessä (kuva 29). Korkein pitoisuus oli Ngreen-käsittelyssä, jossa lisätyppilannoitus tehtiin lähimpänä sadonkorjuuta.

Osasta näytteistä (8 kpl) tehtiin nitraattimääritys laboratoriossa (Novalab), tarkoituksena verrata pikamenetelmää ja laboratorioanalyysiä. Pikamittauksessa pitoisuudet olivat 20–40 % korkeammat kuin laboratoriomäärityksessä.



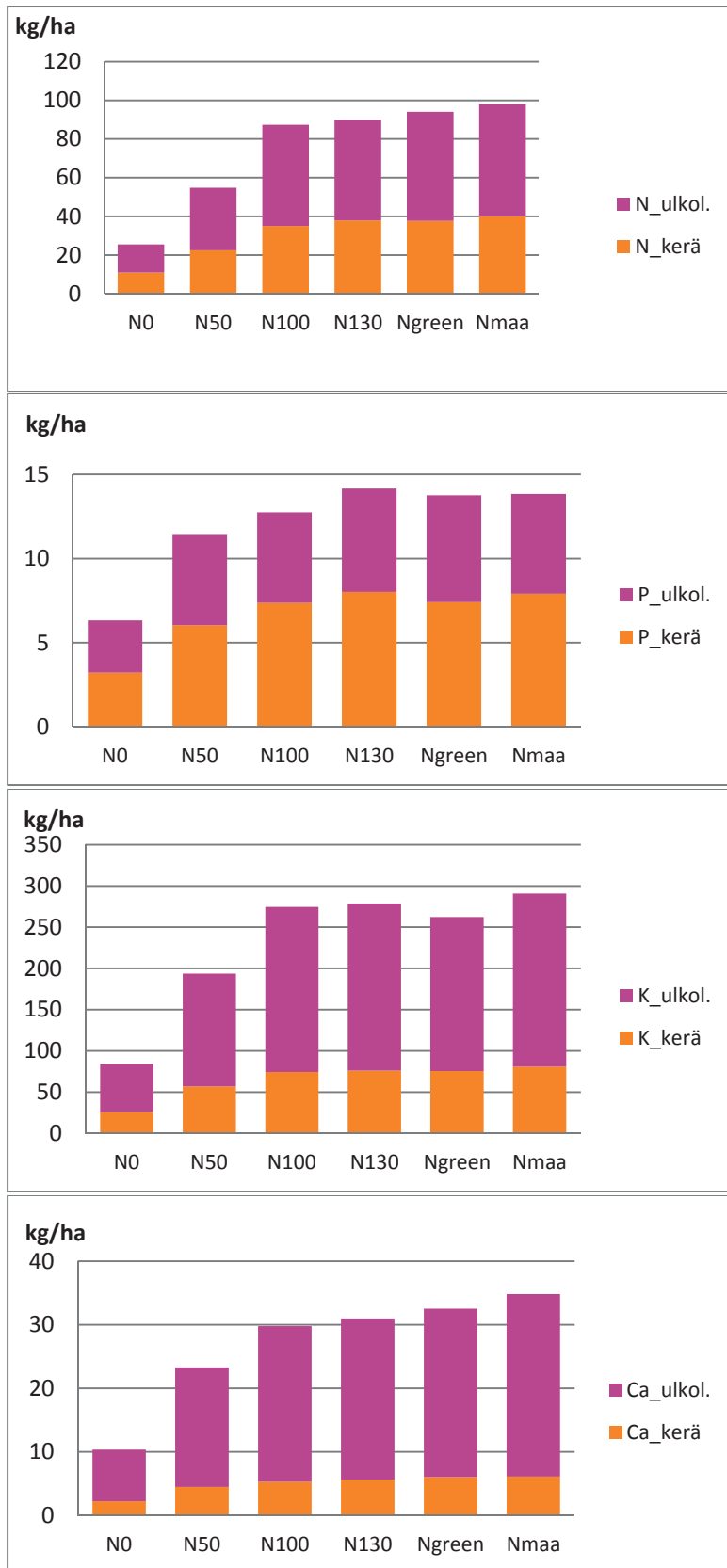
Kuva 29. Salaatin kerien nitraattipitoisuus eri käsittelyissä pikamenetelmällä mitattuna.

Sadonkorjuun yhteydessä otetuista näytteistä analysoitiin ravinnepitoisuudet. Tässä on tarkasteltu ainoastaan typpipitoisuuksia kerässä ja ulkolehdissä. N-pitoisuudet vaihtelivat annetun typpilannoituksen mukaan (kuva 30). Ilman typpilannoitusta kasvaneissa salaateissa kerän ja ulkolehtien N-pitoisuudet olivat kuitenkin yhtä suuret kuin 50 kg/ha N-annoksella kasvaneissa salaateissa.



Kuva 30. Salaatin kerän ja ulkolehtien N-pitoisuus eri käsittelyissä.

Kasvosien ravinnepitoisuuksien ja kuiva-ainemassan perusteella laskettiin muutamien ravinteiden kokonaisottomäärät hehtaaria kohti (kuva 31). Koko kasvuston typpisisällöstä on kerissä alle puolet, fosforista puolestaan yli puolet poistuu kerien mukana pellolta. Jäätörisalaatti kuluttaa kaliumia hyvin paljon, ja alle kolmannes kasvuston kaliumsisällöstä on kerissä. Myös kalsiumia on erityisesti ulkolehdissä.



Kuva 31. Salaatin kerien ja ulkolehtien typen, fosforin, kaliumin ja kalsiumin otto.

5.3. Tulosten tarkastelu

Keräkaalin typenotto oli tilakokeen 70 tn/ha satotasolla 200 kg/ha ja Piikkiössä 100 tn/ha satotasolla jo lähes 300 kg/ha. Molemmissa koepaikoissa suurin typpilannoitus mitoitettiin 230:een kg/ha kaalin suuren typentarpeen takia. Typpilannoituksen ajoitukseen käytettiin aikaisemmista kokeista saatua tietoa kasvusta ja typenoton rytmistä. Tämä tieto sovitettiin eksponentiaaliseen typenoton malliin, jonka avulla suunniteltiin lisätyppilannoituksen ajankohdat.

Piikkiössä kasvukausi oli suotuisa, ja kokeessa päästiin lähelle kaalin potentiaalista satotasoa ja ravinteiden ottoa. Tilakokeessa kylmä ja tuulinen toukokuun loppu sekä kesäkuun alku hidastivat alkukasvua ja heikensivät todennäköisesti myös lopullista satoa. Piikkiössä kasvustot ottivat runsaasti maasta vapautuvaa orgaanista typpeä. Kaalin ulkolehdissä jää huomattava määrä typpeä maaperään, ja sen säilyttäminen seuraavalla viljelykasville on tärkeää.

Orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttö osoitti, että lihaluujauhon ja perunan solunesteen avulla on mahdollista lannoittaa keräkaalia riittävästi. Koska nitraattiasetus rajoittaa lannan ja karjanlantaan yli 10 % sisältävien lannoitevalmisteiden kokonaistypen levitysmääräksi 170 kg/ha kalenterivuodessa, luonnonmukaisessa viljelyssä tarvitaan muita typen lähteitä. Lihaluujauhon käyttömäärä olisi voinut olla kokeessa lisättyä pienempi, sillä lannoitevalmisteiden orgaanisesta tyypestä saatiin kasvukaudella käyttöön 30–40 kg/ha.

Lisälannoituksen ajoittaminen maan liukoisen typen määritysten perusteella toimi odotetulla tavalla. Menetelmän avulla voitiin havaita maassa peruslannoituksesta säilynyt typpi Piikkiössä, kun puolestaan tilakokeen tuloksissa peruslannoitusten mineraalitypeistä osa oli poistunut 0-20 cm:n kerroksesta. Lisätyppilannoitusten jälkeen kaalin typenotto on usein niin nopeaa, että lannoitusvaikutusta on vaikea havaita maanäytteistä, ja maan liukoisen typen pitoisuus on koko ajan alhainen. Molemmilla koepaikoilla liukoisen typen analyysin perusteella lisätyppilannoituksia tehtiin hieman myöhemmin kuin verrannekäsittelyissä. Satotasoihin lisälannoituksen ajoittamisella hieman myöhemmäksi ei kokeiden olosuhteissa ollut vaikutusta. Hyötyä olisikin odotettavissa vain, mikäli aikaisen lisälannoituksen jälkeen seuraisi voimakas sade, joka huuhtois maan liukoisen typen juuriston ulottumattomiin.

NDVI-mittaukset Trimblen GreenSeeker-mittarilla olivat melko nopeasti toteuttavissa. Käsittelyjen välille ilmaantui eroja liian myöhään lisätyppilannoituksen näkökulmasta, koska kerien muodostumisvaiheessa annetut lannoiterakeet voivat aiheuttaa polttovioituksia lehtiin. Molemmissa koepaikoissa NDVI-arvo 0,75 oli tyypillinen hyvin kasvavalle ja riittävästi typpeä sisältävälle kaalikasvustolle.

Salaatin satotuloksia tarkasteltaessa vaikuttaa siltä, että typpilannoitus 100 kg/ha oli riittävä tällä koepaikalla. Varsinkin myöhäiseen ajankohtaan ajoitettu typpilisäys aiheutti kerien nitraattipitoisuuden nousun. Nitraattipitoisuus oli kuitenkin reilusti alle sallitun maksimiarvon (2 000 mg/kg).

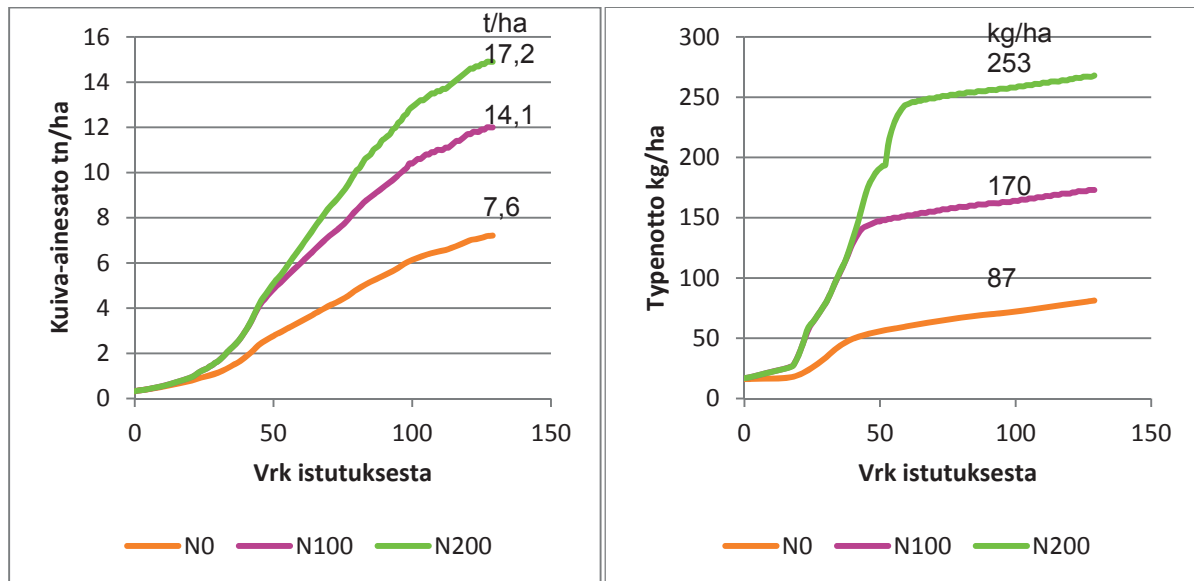
Maan liukoisen typen seuranta tai GreenSeeker-mittaukset eivät antaneet kovin selvää kuvaa salaattikasvuston lisätyn tarpeesta, joten ne eivät sellaisenaan sovellu lisätyn antamisen ajoittamiseen.

Sadonkorjuun aikaan otetut ravinnenäytteet antoivat lisätietoa salaattikasvuston ravinteiden käytöstä. Kokeita on tarpeen jatkaa tulevina vuosina, jotta aineistoa kertyy lisää. Salaatin laatu vaihtelee huomattavasti vuosittain, joten sääoloiltaan epäedullisempina vuosina erot voisivat tulla ilmi voimakkaammin.

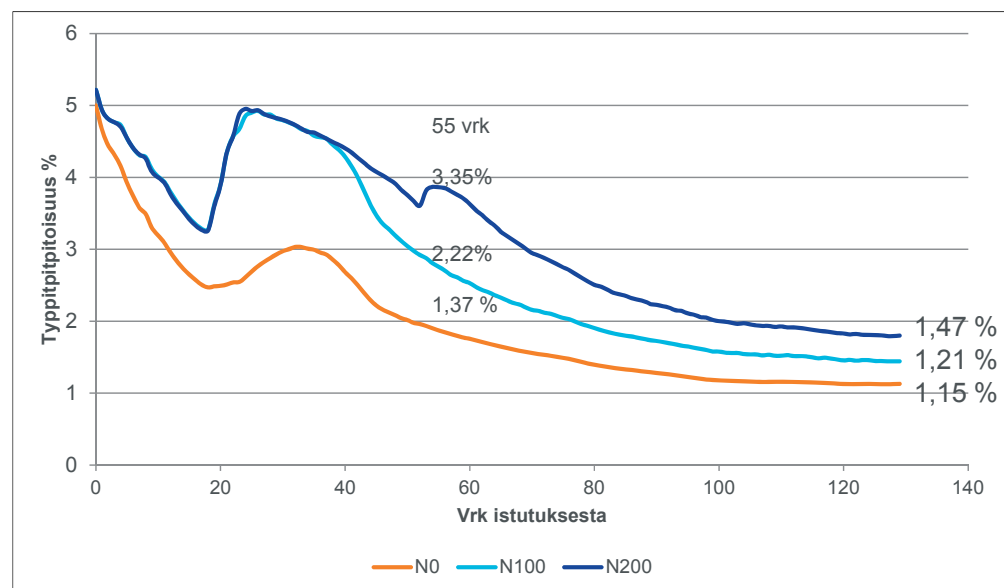
5.4. Mallinnus

Keräkaalikokeissa lannoittamattoman käsittelyn kuiva-ainesadon ja typenoton mallinnetut ja mitatut tulokset olivat hyvin lähellä toisiaan (kuva 32). Typpilannoitustasojen N100 ja N200 biomassan tuotanto oli mallissa 2 tn/ha alempana kuin mittauksissa. Kerien tuoresadossa mallin arvio oli noin 10 tn/ha mitattua pienempi. Kasvustojen typenotto vastasi mallissa hyvin mitattuja, mutta typenotto oli mallissa selvästi nopeampi kuin kasvustonäytteessä. Kasvuston typpipitoisuuksien ennustamisessa

malli onnistui hyvin (kuva 33). Kasvustonäytteen typpipitoisuudet olivat hieman mallinnettuja alhaisemmat, mutta sadonkorjuuvaiheessa typpilannoitustasojen mallinnetut pitoisuudet olivat lähellä mitattuja.

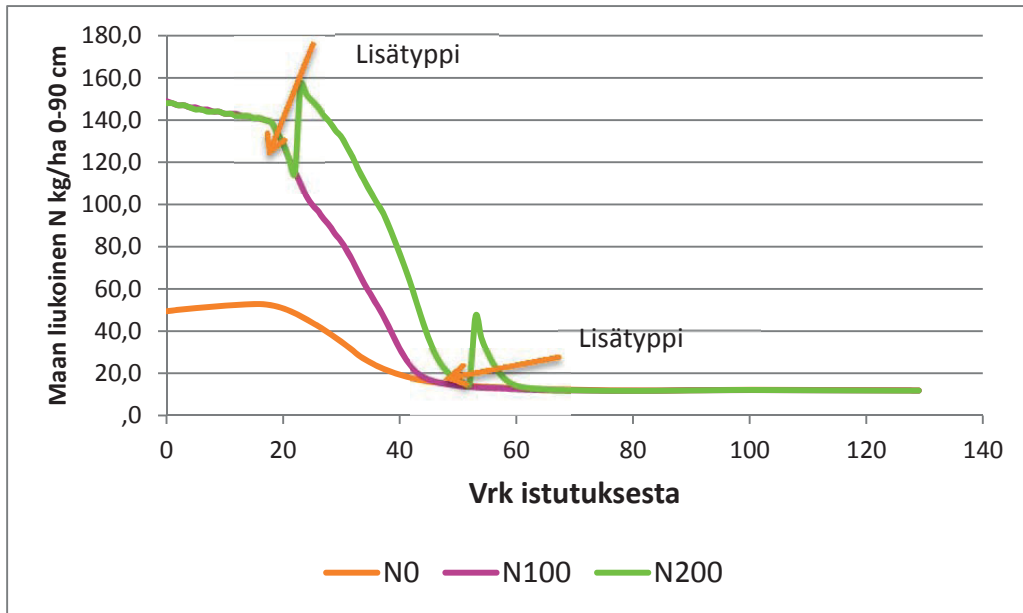


Kuva 32. -Simulointimallin, Eu-Rotate-N, arvioima kolmen typpilannoitustason kuiva-ainesato ja kasvuston typenotto Piikkiön kaalikokeessa 2015. Numerot kuvassa ovat kokeessa mitatut kuiva-ainesadot ja kasvuston typenotot.



Kuva 33. Simulointimallin arvioimat kolmen typpilannoitustason kasvustojen typpipitoisuudet Piikkiön kaalikokeessa 2015. Numerot ovat kokeesta mitatut kasvuston typpipitoisuudet.

Maan liukoisen typen osalta EU-Rotate-N-malli laskee vain 0-90 cm:n kerroksen typen määrän, joten suoraa vertailua Piikkiössä tehtyihin liukoisen typen mittauksiin ei voitu tehdä. Ensimmäisen maanäytteen oton aikaan 19 vrk istutuksesta maan liukoisen typen pitoisuudet olivat korkeat sekä mallissa (kuva 34) että mittauksissa (kuva 20). Tämän jälkeen liukoisen typen pitoisuudet alenivat nopeasti sekä mallissa että mittauksissa.



Kuva 34. Simulointimallin arvioimat liukoisen typen pitoisuudet 0-90 cm maakerroksessa Piikkiön kaalikokeessa 2015.

5.5. Johtopäätökset

Keräkaalin ja jäävuorisalaatin typpilannoitussuositukset olivat riittävät hyvän satotason saavuttamiseen. Molemmilla kasveilla 30 N kg/ha maksimilannoitusta alhaisempi typpilannoitus riitti suurimman satotason saavuttamiseen. Täydennyslannoituksen ajoittaminen onnistui koevuosina hyvin etukäteen arvioidun typen tarpeen ja kasvustojen kunnon seurannan perusteella. Maan liukoisen typen määrityksen tulokset seuraavat parhaimmillaan loogisesti kasvuston typenottoa ja annettuja typpilannoituksia varsinkin kasvukauden alkupuolella. Vaihtelu tuloksissa voi olla häi [lannoitusuositukset](#) ritsevää ja johtaa vääriin tulkintoihin lannoitustarpeista, jos otetaan liian vähän näytteitä. Kolmesta neljään näytettä kuvaa riittävästi maan liukoisen typen vaihtelua tasaisissa olosuhteissa. Kasvuston typen oton ollessa nopeata maan liukoisen typen pitoisuudet eivät enää nouse yli suunnitellun lannoitusraja-arvon. Typpilannoituksen vähentäminen jättämällä viimeinen lisälannoitus pois on vaikeaa, koska liukoisen typen pitoisuudet eivät enää juuri nouse maassa tässä vaiheessa, ja esimerkiksi kaalikasveilla lisälannoitusta ei kannata tehdä enää kieren muodostuksen ollessa pitkällä.

NDVI-arvoon perustuva lisälannoitustarpeen arviointi ei osoittautunut toimivaksi menetelmäksi, koska arvojen erot tulivat näkyville lisälannoituksen kannalta liian myöhään. Lihaluujauhon ja perunan solunesteen käyttö lannoituksessa takasi kaalille riittävän typpilannoituksen. Lihaluujauhon orgaanista typpeä vapautui myös kaalin otettavaksi, joten kevään peruslannoituksessa annettava määrä voisi olla hieman kokeessa käytettyä pienempi.

Viitteet

- Kajalo, M. 2013. Keräkaalin viljelyn tuotantokustannuslaskelmat: Varastokeräkaalin viljely versus varhaiskeräkaalin viljely. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/kasper/puutarha/vihannekset/kaali/kaalien_talouslaskelmat/Varastoker%C3%A4kaalisato35550kgha07.11.2013.pdf.
- Kivijärvi, P., Hintikainen, V., Tillanen, A., Lehtinen, H., Rahkonen, A., Kuivainen, E., Avikainen, H., Mäki, M., Inkeroinen, H., Pietikäinen, L., Leppänen, E., Kallella, M., Peltue, T. & Alitalo, V. 2015. Kasvisten lajike- ja lannoituskokeet. Tuloskooste tilakokeista 2012–2014 Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 75/2015. 71 s.
- Jones, J., Wolf, B. & Mills, H.A. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, Yhdysvallat. 213 s.
- Tahvonen, R., Suojala, T. & Sironen, L. (toim.) 2001. Kasvukauden oloihin sopeutuva puutarhaviljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisu. Sarja A 91. 79 s.

6. Kasvianalyysi ravinnetilan kuvaajana

Tapio Salo

Kasvustonäytteitä otettiin keräkaalin ja sipulin fosfori- ja typpikokeista ja vuoden 2014 kaalin lajikekokeesta (taulukko 27). Kasvustonäytteisiin kerättiin edustavat lehtinäytteet yleensä kokeen jokaisesta ruudusta, mutta lajikekokeessa ja vuoden 2014 kaalin fosforikokeissa kasvustonäytteet yhdistettiin lajikkeittain tai käsittelyittäin. Kasvustonäytteiden typpi- ja kivennäispitoisuudet analysoitiin Yaran laboratoriossa. Typpi analysoitiin Dumas'n menetelmällä (Leco) ja kivennäiset liuotettiin märkäpoltolla typpihapon kanssa, jonka jälkeen liuoksen pitoisuudet määritettiin plasmaemissiospektrometrillä (ICP-OES). Ravinnepitoisuuksille laskettiin kasvikohtainen keskiarvo ja keskihajonta, sekä verrattiin pitoisuuksia Yaran Megalab-analyysiin ohjearvoon (taulukot 28 ja 29). Jokaiselle käsittelylle tai ruudulle laskettiin prosentuaalinen sato yksittäisen kokeen korkeimpaan satotasoon verrattuna. Kunkin alkuaineen pitoisuuden ja prosentuaalisen sadon korrelaatiota verrattiin toisiinsa.

Taulukko 27. Ravinnetilaa kasvukaudella kuvaavia näytteitä otettiin seuraavista kokeista ja kasvilajeista.

Koe	Kasvi	Paikka	Istutus/kylvö	Näytteenotto	vrk kylvöstä tai istutuksesta
Lajikekoe 2014	Keräkaali	Lammi	26.5.2014	15.8.2014	81
Fosforikokeet	Sipuli	Piikkiö	8.-9.5.2014	19.6.2014	41
			11.-13.5.2015	23.6.2015	42
		10.-11.5.2016	20.6.2016	40	
		Mikkeli	26.-27.5.2014	26.6.2014	30
	Keräkaali	Piikkiö	25.-26.5.2015	29.6.2015	34
			24.-25.5.2016	20.6.2016	26
		Mikkeli	26.-27.5.2014	31.7.2014	65
			25.-26.5.2015	20.7.2015	55
			24.-25.5.2016	15.7.2016	51
			28.5.2014	31.7.2014	64
Typpikokeet	Keräkaali	Piikkiö	28.5.2015	6.8.2015	70
			27.5.2015	21.7.2015	55

Keräkaalin ravinnepitoisuudet (taulukko 28) olivat typen osalta hieman ohjearvoa alhaisempia. Muiden ravinteiden keskiarvot olivat yleensä ohjearvojen tasolla. Rikin Megalab-ohjearvo, 2 mg/kg ka, on selvästi alhaisempi kuin kaalissa havaittiin, ja vastaavasti Jones ym. (1991) suosittavat kaalin rikkipitoisuudeksi 3–7,5 g/kg ka. Sipulinäytteissä (taulukko 29) boorin keskiarvopitoisuus, 16 mg/kg ka, oli selvästi pienempi kuin Megalab-ohjearvo (30 mg/kg ka). Jones ym. (1991) pitävät sipulin riittävänä booripitoisuutena 22–75 mg/ka ka, joka vastaa Megalab-ohjearvoa. Sipulin rikkipitoisuus oli korkeampi (4 g/kg ka) kuin Megalab-ohjearvo, 2 g/kg ka.

Taulukko 28. Keräkaalin lehtien ravinnepitoisuuden vaihtelu kasvustonäytteissä + Megalab-tulkinnan riittävän pitoisuuden raja-arvot.

	Keskiarvo	Keskihajonta	Min	Max	N	Megalab-arvo
g/kg ka						
N	32,4	7,1	12,8	47,2	92	37
P	4,7	1,0	2,4	6,6	92	3
K	38,4	7,9	25,7	58,2	92	30
S	12,1	3,5	7,0	32,0	92	2
Ca	19,3	7,0	5,9	40,9	92	15
Mg	2,6	0,6	1,6	4,5	92	2,5
Na	0,6	0,5	0,1	2,0	36	-
mg/kg ka						
B	30,7	7,3	24,0	51,2	56	25
Cu	4,2	2,3	1,1	14,3	92	5
Fe	75,9	32,4	36,0	212,0	92	75
Mn	30,9	13,4	7,4	83,9	92	30
Zn	26,7	7,7	9,2	44,3	92	20

Taulukko 29. Sipulin lehtien ravinnepitoisuuden vaihtelu kasvustonäytteissä + Megalab-tulkinnan riittävän pitoisuuden ohjearvot.

	Keskiarvo	Keskihajonta	Min	Max	N	Megalab-ohjearvo
g/kg ka						
N	31,5	5,5	21,7	42,7	164	20
P	2,0	0,8	1,3	5,3	164	2,5
K	25,5	6,5	14,1	41,5	164	25
S	4,1	1,2	2,2	7,6	164	2
Ca	10,0	2,2	6,8	16,4	164	6
Mg	2,2	0,4	1,3	3,3	164	2,5
Na	-	-	-	-	0	-
mg/kg ka						
B	15,9	3,4	9,4	23,4	164	30
Cu	5,7	1,8	3,8	16,3	164	7
Fe	99,9	39,7	52,0	373,0	164	30
Mn	36,4	22,0	11,7	105,6	164	40
Zn	14,6	5,9	7,4	39,6	164	20

Taulukko 30. Kasvustonäytteen ravinnepitoisuuksien korrelaatiot suhteessa saavutettuun satotasoon.

	Keräkaali		Sipuli	
	korrelaatio	p	korrelaatio	p
N	0,53	<0,001	0,17	0,032
P	0,67	<0,001	0	-
K	0,16	-	-0,18	0,018
S	0	-	0	-
Ca	-0,28	0,013	0,32	<0,001
Mg	-0,32	0,004	-0,16	0,046
Na	0,44	-	-	-
B	0	-	0,14	0,073
Cu	0,10	-	-0,18	0,017
Fe	0,22	0,05	-0,25	0,002
Mn	0,09	-	0,14	0,079
Zn	0,07	-	-0,17	0,027

Kaalin kasvustonäytteiden korkeat typpi- ja fosforipitoisuudet ennakoivat hyvää satoa (taulukko 30). Lannoituskokeiden seurauksena typen ja fosforin pitoisuuksissa oli paljon vaihtelua, ja lannoitus-tasot vaikuttivat myös satotasoihin. Kaalin osalta erikoista on kalsiumin ja magnesiumin korkeiden pitoisuuksien lievästi negatiivinen vaikutus satotuloksiin. Tämä johtuu kuitenkin pääasiassa vuoden 2014 lajikekokeesta, jossa useiden kokeiltavien lajikkeiden satotaso oli heikko verrattuna Lennnoxiiin, mutta samalla niiden kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet olivat korkeita. Sipulin naateissa kohonnut kalsiumpitoisuus sitä vastoin ennakoi parempaa satoa. Sipulilla typen vaikutus oli pieni, eikä fosforin vaikutus erottunut aineistosta. Vaikka boorin pitoisuudet olivat sipulin naateissa suositusarvojen alapuolella, boorin vaikutus satotasoon oli koeaineistossa vähäinen.

Megalab-suositukset näyttävät olevan melko hyvin kohdallaan verrattaessa niitä koeaineiston pitoisuuksiin ja saavutettuihin satotasoihin. Typpi- ja fosforikokeiden satotasot olivat hyviä, eikä ravinnepuutoksista näyttänyt olevan haittaa lukuun ottamatta koetekijöinä olleita tyypeä ja fosforia. Rikkipitoisuus oli koeaineistossa selvästi Megalab-suositusta korkeammalla, joten suosituksen pitäisi olla nykyistä suurempi.

Viitteet

Jones, J., Wolf, B. & Mills, H.A. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, Yhdysvallat. 213 s.

7. Mansikan lannoituskäytännöt ja nykysuositukset

Kalle Hoppula

Mansikkaa lannoitetaan Suomessa sekä kastelulannoituksena kasvukaudelle tasaisesti jaettuna, ra-
keisena lannoituksena keväisin että orgaanisilla lannoitteilla ennen kasvuston perustamista. Kaikki
lannoitustavat ovat yleisesti käytössä, joskin orgaanisten lannoitteiden käyttö painottuu luonnonmu-
kaiseen tuotantoon. Lannoitustapojen välillä ei tutkimuksissa ole saatu karkeilla kivennäismailla eroja
eri puolella Suomea (Hoppula ym. 2001, Hoppula ym. 2014, Salo & Pulkkinen 2001). Mansikan viljely
painottuu Järvi-Suomen alueelle karkeille kivennäismaille, ja siksi tulokset ovat yleistettävissä koko
Suomeen.

Fosforilannoitussuositukset perustuvat Suomessa maaperän viljavuusanalyysin liukoisen fosforin
pitoisuuteen. Niissä ei ole huomioitu maan mikrobitoimintaa, jolla on huomattava merkitys mansikan
fosforitalouteen (Holevas 1966, Vestberg 1995, Vestberg ym. 2002). Monissa Euroopan maissa ylei-
sesti käytössä olevaa lehtianalyysia ei Suomessa juurikaan hyödynnetä.

Mansikan fosforilannoitusta ohjaa voimakkaasti maatalouden ympäristökorvaus, johon suurin
osa Suomen maatiloista on sitoutunut. Ympäristökorvauksessa mansikan fosforilannoituksen maksimi-
mitasot on määritelty viljavuusanalyysin perusteella viljavuusluokittain välille 0–60 kg/ha perusta-
misvuoden kasvustolle ja satovuosina välille 0–35 kg/ha. Lisäksi tihkukastellulla mansikalla on sallit-
tua lisätä maksimifosforilannoitusta 0,4 kg jokaista 1000 kg kohden satotason ylittäessä 10 000
kg/ha. Mansikan viljelyn oppikirjassa (Matala 2006) lannoitussuositukset ovat kuitenkin ympäristö-
korvauksen maksimitasoja selvästi alempana.

Viitteet

- Holevas, C.D. 1966. The Effect of A Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza on The Uptake of Soil Phosphorus by
Strawberry (*Fragaria* Sp. Yar. Cambridge Favourite). *Journal of Horticultural Science* 41(1): 57-64.
- Hoppula, K., Hoppula, K. & Kajalo, M. 2014. MTT Rovaniemi Marjojen viljelymenetelmäkokeiden tuloksia 2008-
2011.
<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/kasper/puutarha/marjat/mansikka/mansikkakokeet/Kausihuoneviljely%20osek%C3%A4%20muu%20viljelytekniikka%20marjanviljelyss%C3%A4.pdf>
- Hoppula, K., Salo, T. & Pulkkinen, J. 2001. Mansikan typen otto ja jakautuminen kasvissa. Maatalouden tutkimus-
keskuksen julkaisuja. Sarja A 91: 19-26.
- Matala, V. 2006. Mansikan viljely. *Puutarhaliiton julkaisuja* 340. 335 s.
- Salo, T. & Pulkkinen, J. 2001. Mansikan fosforin ja kaliumin otto. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja.
Sarja A 91: 27-32.
- Vestberg, M. 1995. Occurrence of some Glomales in Finland. *Mycorrhiza* 5(5): 329-336
- Vestberg, M., Kukkonen, S. & Uosukainen, M. 2002. Occurrence and effectiveness of indigenous mycorrhiza of
some strawberry fields in Finland. *Acta horticulturae* 567: 499-502.

8. Mansikan fosforilannoitustutkimus

Kati Hoppula, Kalle Hoppula, Anu Rätty, Juho Hautsalo ja Mauritz Vestberg

Tutkimuksen tavoitteena oli:

1. selvittää tutkimustiedon pohjalta, ovatko nykyiset ympäristökorvauksen sallimat mansikan fosforilannoitusmäärät oikealla tasolla sadontuoton kannalta. Hypoteesina oli, että alhaisella maan fosforintasolla mansikan fosforintarve tulee tyydytetyksi mykorrhizasymbioosin avulla.
2. selvittää, kuinka paljon mansikan fosforilannoitusta voidaan vähentää mykorrhitsojen avulla sadontuoton kärsimättä.

8.1. Menetelmät

Luke Sotkamon toimipisteen niukkafosforiselle peltolohkolle (maalaji mHe / mhsHht) perustettiin vuonna 2014 kolmivuotinen peltokoe. Laukaan toimipisteellä perustettiin astiakokeet kausihuoneeseen vuosina 2014 ja 2015. Koetaimina kokeissa käytettiin mikrolisättyä, jatkuvasatoista Ria-lajiketta, joka tuottaa jo istutusvuonna satoa. Sotkamon peltokokeen fosforipitoisuus ennen lannoitusta oli keskimäärin 3,1 mg/litraa maata eli viljavuusanalyysin tulkinnan mukaan huononlainen. Peltokokeen mansikat istutettiin pariviiniin mansikkamuoviin ja kasteltiin tihkukastelun avulla. Peltokokeessa oli neljä lannoituskäsittelyä ja neljä kerrannetta. Astiakokeessa oli vuonna 2014 viisi lannoitustasoa, kaksi sienijuurikäsittelyä ja kymmenen kerrannetta. Vuonna 2015 astiakokeissa oli neljä lannoituskäsittelyä, kaksi sienijuurikäsittelyä ja kymmenen kerrannetta.

Sotkamon koe perustettiin antamalla ruuduille neljää fosforimäärältään erilaista rakeista perustamislannoitusta: 0, 30, 60 ja 90 kg/ha. Vuosina 2015 ja 2016 fosforilannoitustasot 0, 15, 30 ja 45 kg/ha ylläpidettiin tihkukastelun kautta annettavalla nestemäisellä lannoitteella. Jatkossa tekstissä viitataan eri fosforilannoitustasoihin seuraavasti: käsittely, joka sai perustamislannoituksena 30 kg P/ha ja kastelulannoituksena 15 kg P/ha on käsittely P30/15 jne. Vuoden 2014 Laukaan astiakokeessa fosforipitoisuudet olivat 0, 10, 20, 30 ja 50 mg/l ja litran ruukuissa kasvualustana oli seos, jossa oli höyrytettyä hiekkaa, höyrytettyä tummaa turvetta (lisätty dolomiittikalkkia 10 g/l maata) ja perliittiä (1:1:1). Vuonna 2015 astiakoe toteutettiin kahden litran ruukuissa käyttäen kasvualustana peltomaata (mhsHht), jonka viljavuusfosforipitoisuus oli 4,9 mg/l eli huononlainen. Fosforilannoituksella muodostettiin lähtötason lisäksi kolme korkeampaa fosforitasoa: 10, 20 ja 40 mg/l. Astiakokeissa vuonna 2014 kasvualustalle tehtiin ympäryskäsittely (Myko-Ymppi®) ja kontrollina toimi ympäryskäsittelyn kasvualusta. Vuonna 2015 pyrittiin peltomaata ja luontaista sienijuurta käyttäen parantamaan tulosten sovellettavuutta. Luontainen sienijuri hävitettiin peltomaasta höyryttämällä, ja kontrollina toimi höyryttämätön, todistetusti sienijuurta sisältävä peltomaa. Muiden ravinteiden saanti turvattiin kaikissa pelto- ja astiakokeissa lannoittein.

Astia- ja peltokokeista mitattiin mansikan kasvua ja satoisuutta sekä sienijuurikolonisaatiota mansikan juurissa. Peltokokeesta satoa kerättiin elo-syyskuun vaihteeseen saakka. Sienijuurikolonisaation määrittämistä varten kerättiin peltokokeesta näytteitä kasvukauden keskivaiheilla (heinäkuu) ja lopussa (elokuun loppu/syyskuun alku), paitsi vuonna 2014, jolloin kerättiin vain yksi näyte elokuun lopulla. Kenttäkokeesta kerättiin myös kasvinäytteitä, joista määritettiin tuore- ja kuivapainot, kivennäiset sekä kuiva-ainepitoisuudet. Maasta ja kasveista otetut näytteet analysoitiin kivennäisten osalta Eurofins Viljavuuspalvelu Oy:n laboratorioissa. Astiakokeissa satoa kerättiin kokeen loppuun saakka (elo-syyskuun vaihe). Juurinäytteet kerättiin astiakokeista kasvatuksen päätteeksi. Peltokokeessa mansikan juuret säilöttiin laimennettuun alkoholiliuokseen (1:1 vesi. 96,1 % etanoli) ja värjättiin metyyli-sinivärijäykellä (Phillips & Hayman 1970). Kolonisaatio arvioitiin näytteistä grid-line intersect -menetelmällä (Giovannetti & Mosse 1980). Astiakokeiden juurinäytteet käsiteltiin samalla menetelmällä, mutta ilman alkoholi-vesi-säilytystä. Mansikan osalta esitettävien tulosten luotettavuus on testattu varianssianalyysien ja t-testien avulla (SAS EG, versio 5.1), paitsi mansikan kivennäisaineiden,

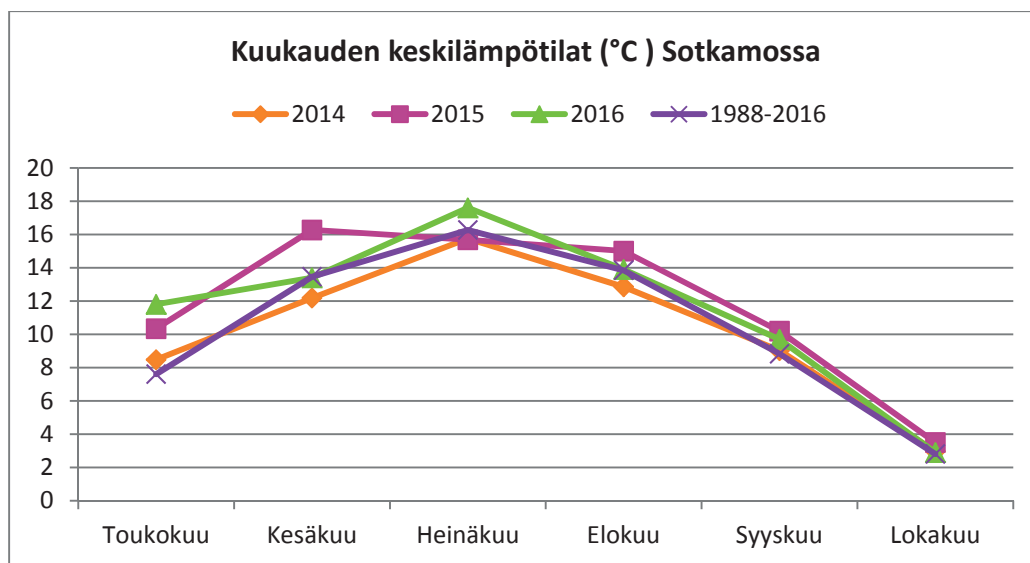
tuore- ja kuivapainojen tulokset. Kivennäisaineille sekä tuore- ja kuivapainoille ei kyetty osoittamaan tilastollisesti merkitseviä eroja liian pienen aineiston vuoksi. Tilastollisen merkitsevyyden raja-arvona käytettiin 5 % riskiä.

8.1.1. Kasvukausien sää Sotkamossa vuosina 2014–2016

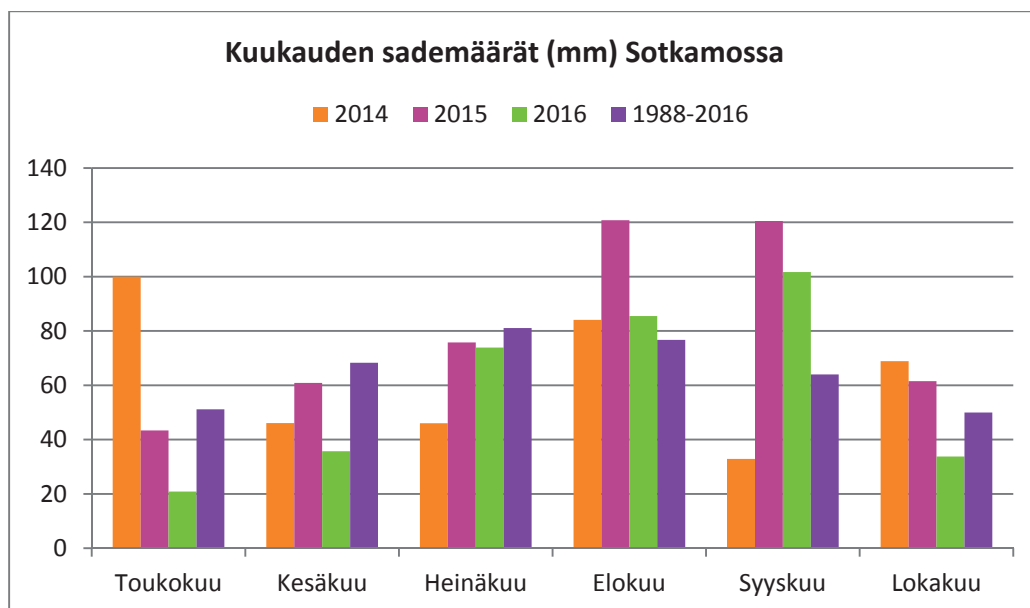
Kasvukausien 2014–2016 säätiedot Sotkamossa on esitetty kuvissa 35 ja 36. Kasvukaudella 2015 kesäkuu oli selvästi ja 2016 heinäkuu hieman keskimääräistä lämpimämpi. Kasvukausi 2014 oli vertailukauden viilein.

Sademääriltään kasvukaudet vaihtelivat. Vuoden 2015 elo- ja syyskuu olivat vertailukauden saateisimmat. Myös toukokuussa 2014 ja syyskuussa 2016 satoi runsaasti vuosien 1988–2016 vertailuarvoihin nähden. Vuoden 2016 touko- ja kesäkuu olivat vähäsateisia.

Syksyllä 2016 kovat pakkaset tulivat ennen lumipeitettä aiheuttaen osalle mansikoista talvivaurioita.



Kuva 35. Kuukausittaiset keskilämpötilat vuosina 2014–2016 ja vertailuarvot vuosilta 1988–2016 Ilmatieteen laitoksen sääasemalla Kuolaniemellä Sotkamossa.



Kuva 36. Kuukausittaiset sadesummat vuosina 2014–2016 ja vertailuarvot vuosilta 1988–2016 Ilmatieteen laitoksen sääasemalla Kuolaniemellä Sotkamossa.

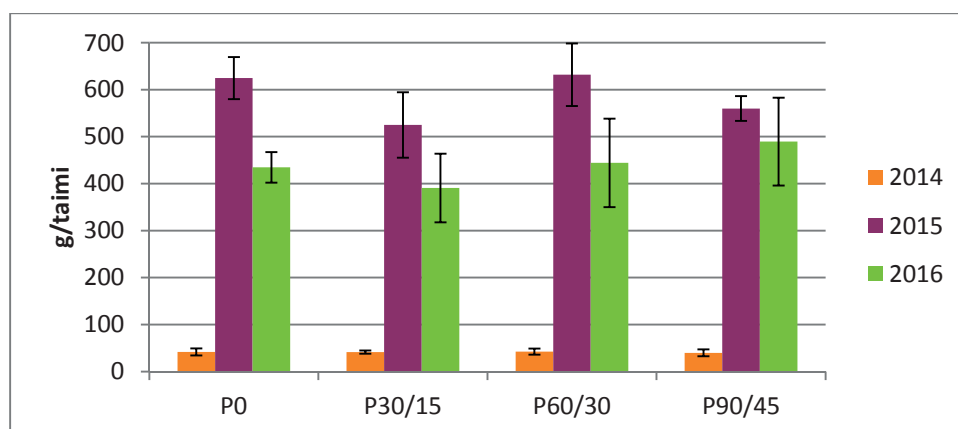
8.2. Tulokset

8.2.1. Kenttäkoe Sotkamossa

Alhainen fosforitaso ei heikentänyt mansikan kasvua tai sadontuottoa kolmivuotisen viljelyjakson aikana Sotkamon peltokokeissa. Tilastollisesti merkitsevää eroa mansikan satotasossa ei havaittu matalimman P0 fosforilannoitustason ja korkeimman P90/45 lannoitustason välillä yhtenäkkään vuonna (kuva 37). Ainoat tilastollisesti merkitsevät erot syntyivät vuonna 2015 käsittelyjen P0 ja 30/P15 sekä P30/15 ja P60/30 välille, jolloin P30/15 käsittely tuotti keskimäärin muita heikomman sadon. Seuraavana vuonna satoerot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, vaikka käsittely P30/15 tuotti jälleen keskimääräisesti muita heikomman sadon.

Vuonna 2014 laadultaan parhaat ja suurimmat marjat antoi alhaisin fosforitaso P0 (taulukko 31). Vuonna 2015 marjasato oli tasalaatuista käsittelyiden välillä. Marjakoko oli hieman muita suurempi käsittelyssä P60/30, mutta ero oli vähäinen. Vuonna 2016 marjakoko oli hieman muita suurempi käsittelyssä P0. Marjan laatu oli tasaisen hyvää kaikissa käsittelyissä. Keskimääräinen marjakoko jäi hieman muita pienemmäksi käsittelyssä P30/15.

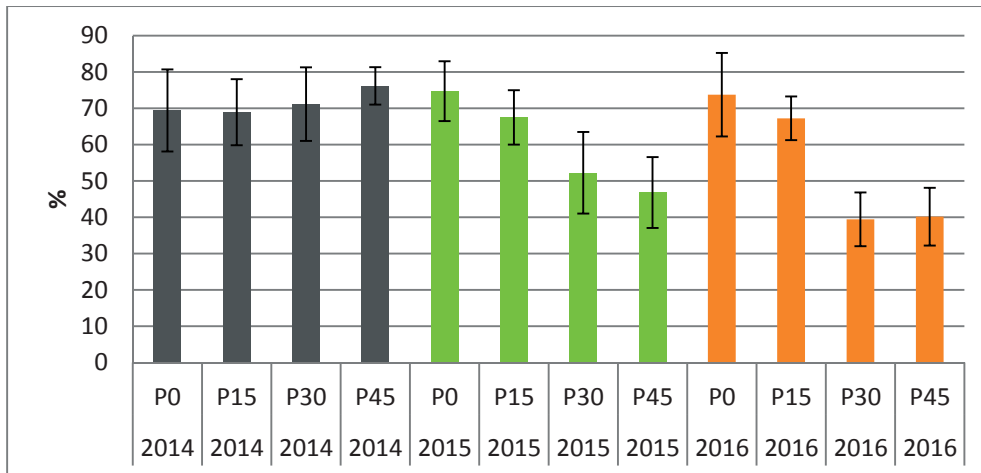
Sienijuurikolonisaatioprosentti oli keskimäärin korkeampi alemmilla fosforitasoilla ja matalampi korkeammilla fosforitasoilla (kuva 38). Poikkeuksena oli peltokokeen perustamisvuosi 2014, jolloin sienijuurikolonisaatioprosentit eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.



Kuva 37. Mansikan keskimääräinen satomäärä (g/taimi) eri fosforilannoitustasoilla (kg/ha istutusvuosi/satovuodet) Sotkamon peltokokeissa vuosina 2014–2016.

Taulukko 31. Mansikan keskimääräiset satotulokset ja marjan laatu Sotkamossa vuosina 2014–2016.

Käsittely	Sotkamo							
	g/marja	g/taimi	kg/ha	Hyvä %	Pienet %	Home %	Härmä %	Muu %
2016								
P0	15,2	435	11737	89,1	0,9	1,0	0	9,0
P30/15	13,2	391	10548	87,2	1,3	0,6	0	10,9
P60/30	14,6	444	11993	88,8	1,0	0,1	0	10,1
P90/45	14,8	489	13215	88,9	1,0	0,4	0	9,8
2015								
P0	12,5	625	16868	75,5	0,7	8,7	0,0	15,0
P30/15	12,8	525	14170	78,3	1,0	7,8	0,1	12,7
P60/30	13,4	632	17058	78,4	0,6	7,1	0,0	13,8
P90/45	12,5	560	15115	73,8	0,8	9,5	0,0	15,8
2014								
P0	13,7	42	1125	69	1	9	0	21
P30/15	12,6	41	1118	62	1	8	0	30
P60/30	12,9	43	1148	49	0	15	0	35
P90/45	12,3	40	1077	58	2	7	0	32



Kuva 38. Mansikan mykorrhitsakolonisaatiot (%) loppukesän näytteissä vuosina 2014–2016 Sotkamon peltokoikeissa.

Mansikan ravinneanalyysit tehtiin vuosina 2015–2016. Analyysien mukaan mansikka otti fosforia enemmän, kun sitä oli helposti saatavilla, eli fosforipitoisuudet eri kasvinosissa nousivat fosforilannoituksen lisääntyessä (taulukko 32). Fosforilannoitus ei kuitenkaan huomattavasti lisännyt keskimääräistä kasvin fosforinottoa. Kivennäisanalyysin tulosten perusteella laskennallisesti mansikkasadon mukana poistui maasta fosforia 0,4 kg jokaista tuhatta satokiloa kohden.

Käsittelyiden välillä oli eroja myös muiden kivennäisaineiden kertymisessä (liite 3). Fosforilannoitettujen käsittelyiden mansikoissa havaittiin keskimäärin korkeampia määriä mangaania, booria, kalsiumia, kaliumia ja sinkkiä kuin lannoittamattomassa käsittelyssä. Erot kivennäisten pitoisuuksissa eri kasvinosissa ja eri vuosina vaihtelivat. Marjojen kaliumin ja kalsiumin pitoisuuksissa ei esimerkiksi havaittu suuria eroja eri lannoituskäsittelyiden välillä, vaikka niiden keskimääräinen pitoisuus oli fosforilannoitetuissa käsittelyissä suurempi kuin lannoittamattomassa.

Taulukko 32. Fosforin määrä (g/kg kuiva-ainetta) mansikan eri osissa fosforilannoitustasoilla 0–45 kg/ha vuosina 2015–2016 Sotkamossa.

	2016				2015			
P g/kg ka	0	15	30	45	0	15	30	45
juuret	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1
kukkavanojat	2,2	2,4	2,5	2,7	1,9	2,0	2,2	2,3
lehdet	1,8	2,0	2,4	2,4	1,5	1,6	1,7	1,7
rönsyt	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	1,9	2,2	2,2
tyvi	0,9	1,0	1,0	1,2	1,5	1,3	1,5	1,4
marjat	2,5	2,4	2,6	2,7				
raakile	2,4	2,4	2,6	2,6				

Kuparin, kaliumin, rikin ja magnesiumin keskimääräiset pitoisuudet olivat alimpia P30/15 käsittelyssä. Vuonna 2016 rautaa ja sinkkiä oli puolestaan huomattavasti enemmän P30/15 käsittelyssä kuin muissa käsittelyissä. Korkeimmat magnesiumipitoisuudet olivat P0 ja P60/30 käsittelyissä. Korkein natriumpitoisuus havaittiin P0 käsittelyn juurissa.

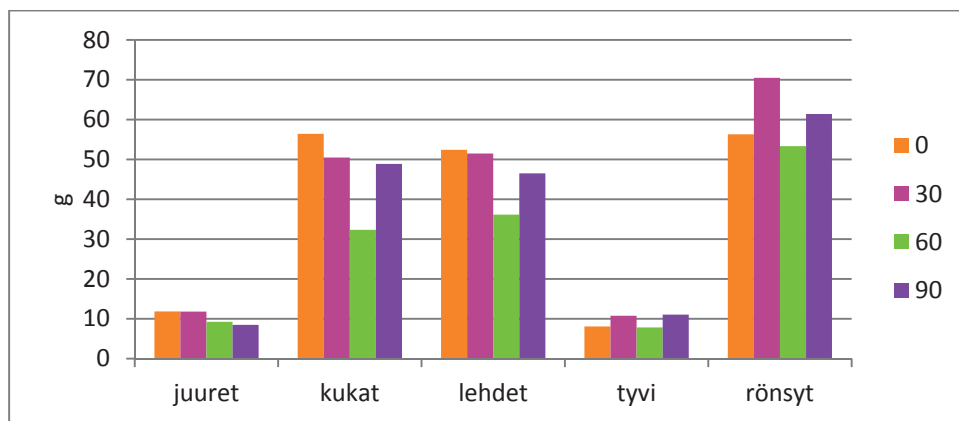
Keskimääräinen typen pitoisuus mansikassa ei juuri vaihdellut lannoituskäsittelyjen välillä. P0 käsittelyn juurissa, kukkavanoissa ja marjoissa oli havaittavissa hieman kohonnut typpiä muihin käsittelyihin verrattuna. Kivennäisaineiden tarkemmat tulokset löytyvät raportin liitteestä.

Vuonna 2014 mansikan juurten ja lehtien tuoremassa oli suurin käsittelyissä P0 ja P30/15 (kuva 39). Kukkavanojen tuoremassa oli suurin P0 käsittelyssä. Rönsyjen tuoremassa oli suurin käsittelyssä

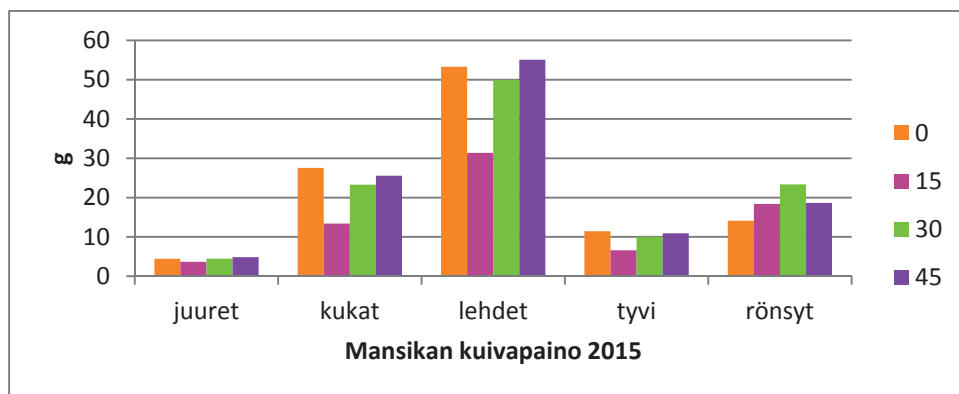
P30/15. Istutusvuonna mansikka näytti hyötyvän alhaisesta fosforilannoituksesta tuottamalla enemmän juuri- ja lehtimassaa kuin runsaan fosforilannoituksen saaneet taimet. Kasvuunlähtö kaikissa lannoituskäsitelyissä oli tasaista.

Vuonna 2015 juurten, tyven, kukkavanojen ja lehtien kuivapaino oli heikoin käsittelyssä P30/15 (kuva 40). Tyven ja kukkavarsien kuivapaino oli suurin alimmalla fosforitasolla P0. Juurten ja lehtien kuivapaino oli suurin korkeimmalla fosforitasolla P90/45. Rönkyjen kuivapaino oli suurin käsittelyssä P60/30 ja pienin käsittelyssä P0.

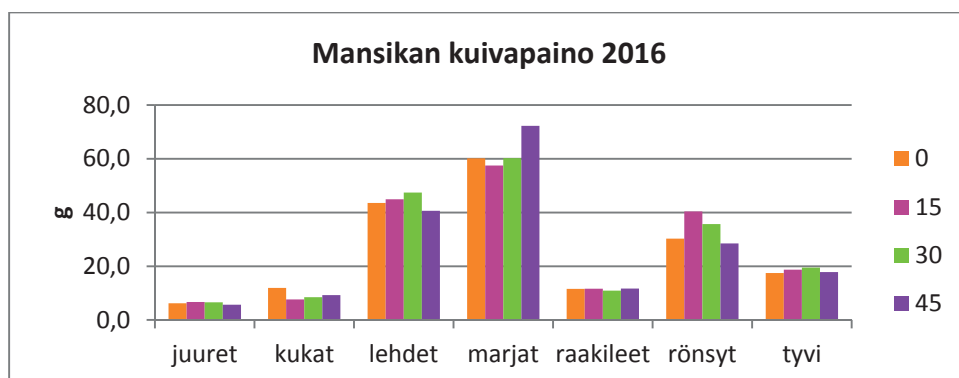
Vuonna 2016 kukkavarsien kuivapaino oli suurin P0 käsittelyssä ja kukkavanoja oli myös lukumääräisesti enemmän (kuva 41). P30/15 käsittelyssä oli rönkyjä eniten sekä kuivapainoltaan että lukumääräisesti. Lukumääräisesti vähiten rönkyjä oli P90/45 käsittelyssä. Juurten kuivapaino oli suurinta käsittelyissä P30/15 ja P60/30 ja pienin käsittelyssä P90/45. Lehtien ja tyven kuivapaino oli suurin käsittelyssä P60/30.



Kuva 39. Mansikan tuorepaino (g) kasvosittain Sotkamossa vuonna 2014.



Kuva 40. Mansikan kuivapaino (g) kasvosittain Sotkamossa vuonna 2015.



Kuva 41. Mansikan kuivapaino (g) kasvosittain Sotkamossa vuonna 2016.

Seurantajaksolla 2014–2016 peltomaan viljavuusanalyysin fosforipitoisuus nousi kaikissa lannoituskäsittelyissä, jopa nolларуudessa (taulukko 33). Suurimmat kertymät olivat P60/30 ja P90/45 lannoituskäsittelyissä, joissa maan fosforipitoisuus nousi 3,1 ->5,4 mg/litra (P60/30) ja 3,0 ->7,8 mg/l (P90/45). Varastofosforin määrä koealueella vaihteli kokeen alussa 296–362 mg/l, mikä vastaa 25 cm pintakerroksessa 740–905 kg fosforia/ha. Tämä vastaisi 5 000 kg/ha mansikkasadolla noin 150–200 vuoden mansikan fosforitarvetta.

Taulukko 33. Maan viljavuusanalyysin fosforipitoisuus (mg/l) Sotkamossa eri lannoituskäsittelyissä vuosina 2014-2016. Lähtötaso on vuonna 2014.

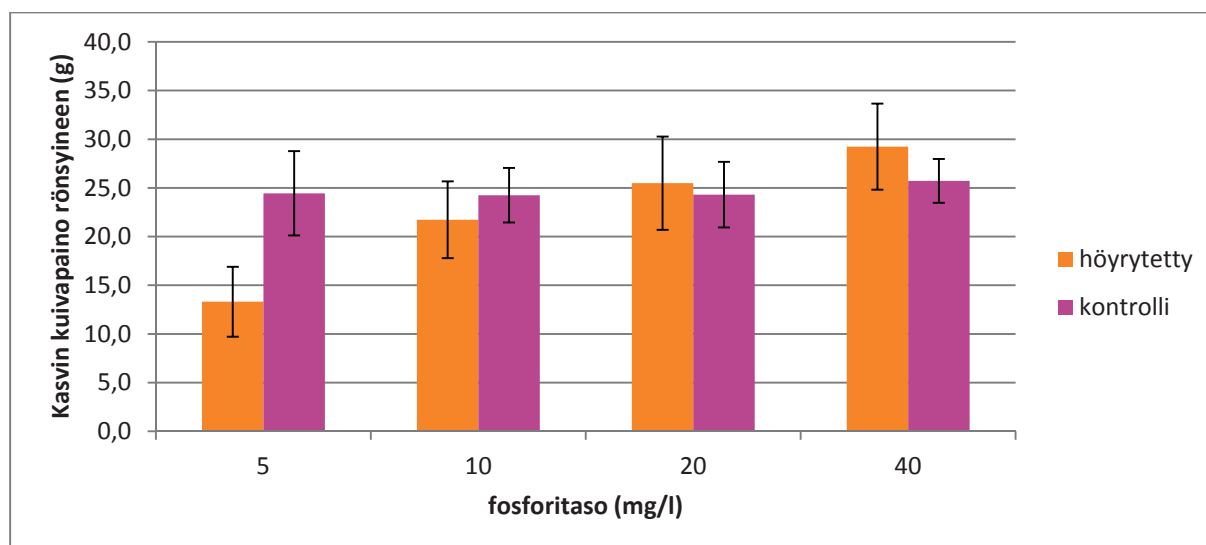
Fosforilannoituskäsittely kg/ha	2014	2015	2016
0	3,0	3,4	3,2
30/15	3,4	4,2	4,0
60/30	3,1	5,0	5,4
90/45	3,0	5,6	7,8

8.2.2. Astiakokeet Laukaassa

Astiakokeissa sienijuurikäsittely ei antanut merkitsevää satovaikutusta mansikalle, mutta alhaisessa fosforissa ilman sienijuurta kasvaneet mansikat jäivät kuivapainoltaan selvästi muita heikommiksi (kuva 42). Sienijuurisymbioosi aikaisti myös kukinnan alkua ja voimisti rönsyntuottoa. Sadontuotto ei mansikan istutusvuonna kuitenkaan merkittävästi lisääntynyt. Taimien kukka-aiheita ei laskettu, joten seuraavan vuoden satopotentiaalia ei pystytty arvioimaan.

Vuoden 2014 astiakokeiden turvepohjaisessa kasvualustassa fosforilannoitus toi parhaan sadon 20 mg/l fosforipitoisuudessa. Vuonna 2015 sienijuurta sisältävässä peltomaassa vastaavaan satoon riitti kuitenkin jo fosforipitoisuus 5 mg/l. 20 mg/l suuremmat fosforitasot kasvattivat mansikan vegetatiivista massaa. Sienijurelliset mansikat erosivat kasvultaan selvästi sienijurettomista, ja alhaisilla lannoitustasoilla sienijuuren kasvua edistävä vaikutus oli selvä. Vaikutus lakkasi kuitenkin näkymästä jo kohtalaisen lannoituksen myötä. Sienijuresta riippumatta korkeampi fosforilannoitus tasasi mansikan kasvun eroja ja korkeimmat fosforitasot suosivat vegetatiivista kasvua marjonnan sijaan.

Maan höyrytys vaikutti mansikan käytössä olevien typpivarojen määrään ja se saattaa selittää paremman kasvun 40 mg/l P tasolla.



Kuva 42. Mansikan keskimääräinen kuivapaino ja keskihajonnat eri fosforitasoilla peltomaalla tehdyssä astiakokeessa vuonna 2015. Kontrolli sisältää luontaisen sienijuuren ja höyrytettyssä käsittelyssä sienijuri deaktivoitiin peltomaassa.

8.3. Tulosten tarkastelu

Aiemman tutkimustiedon pohjalta tiedettiin mansikan sienijuurisymbioosin olevan voimakas (Vestberg ym. 2005) ja edistävän fosforin ottoa etenkin alhaisilla fosforitasoilla (Holevas 1966, Daft & Okusanya 1973). Myös korkealla lannoitustasolla sienijuuresta saaduista hyödyistä on näyttöä (Plenchette ym. 1982, Stewart ym. 2005). Astiakokeiden tulokset tukevat havaintoa vahvasti, sillä niissä sienijuuriympäys keinotekoiseen kasvualustaan sekä peltomaan luontainen sienijuuri edistivät molemmat merkitsevästi mansikan kasvua alhaisilla fosforitasoilla. Myös peltokokeista saadut tulokset vahvistavat aiempia havaintoja. Kolmen viljelyvuoden aikana mansikka sai sienijuurisymbioosin avulla fosforiköyhästä, karkeasta kivennäismaasta riittävän määrän fosforia, jotta kykeni täysipainoiseen kasvuun ja sadontuottoon.

Etenkin istutusvuonna mansikka näytti hyötyvän alhaisesta fosforilannoituksesta tuottamalla enemmän juuri- ja lehtimassaa kuin runsaan fosforilannoituksen saaneet taimet. Mansikan kasvullisessa vaiheessa uusien juurten ja lehtien kasvu on erityisen voimakasta (Matala 2006), ja silloin myös ravinteiden tarve on suurta. Sienijuurisymbioosin avulla mansikka voi tehostaa fosforin lisäksi myös muiden ravinteiden ottoa ja turvata siten ravinteiden saannin voimakkaan vegetatiivisen kasvun aikana. Seuraavina vuosina lehtien ja juurten massa vaihteli eri lannoitustasojen välillä, eikä yhtä selvää trendiä ollut enää nähtävissä.

Mansikka käyttää samanaikaisesti voimavarojaan sekä sadontuottoon että rönsyjentuottoon, vaikka voimakkain rönsynkasvu ajoittuu ennen ja jälkeen satokauden (Matala 2006). Astiakokeissa sienijuurisymbioosi voimisti rönsyentuottoa. Peltokokeissa fosforilannoittamattomassa P0-käsittelyssä rönsyentuotto ei korostunut astiakokeiden tavoin. Rönsyjen kuivapaino oli suurin fosforilannoitustasolla P30/15 tai korkeammalla lannoitustasolla P60/30. Tässä saattaa olla eräs syy siihen, miksi istutusvuotta lukuun ottamatta P0 käsittelyn satotaso oli selvästi suurempaa kuin P30/15 käsittelyssä.

Mansikan fosforitarpeen on todettu olevan suurin kukinnan ja sadonmuodostuksen välillä. Fosforitarpeen tyydyttämiseksi mansikan oma juuristo ei riitä, vaan siihen tarvitaan myös sienijuuren apua (Dunne ja Fitter 1989). Astiakokeissa sienijuurisymbioosi aikaisti kukinnan alkua, mutta sadontuotto ei istutusvuonna kuitenkaan merkittävästi lisääntynyt. Taimien kukka-aiheita ei astiakokeissa laskettu, joten seuraavan vuoden satopotentiaalia ei pystytty arvioimaan. Peltokokeissa sienijuurisymbioosi vaikutti todennäköisesti positiivisesti myös kukkamääriin, sillä fosforilla lannoittamaton käsittely tuotti suurimmat kukkavanojen tuore- ja kuivapainot kaikkina koivuina. Vuonna 2016 myös kukkavanojen lukumäärä oli suurin fosforilla lannoittamattomassa käsittelyssä.

Sienijuuren kolonisaatioanalyysit osoittivat, että edellytykset sienijuurisymbioosiin olivat mansikalla olemassa kaikilla peltokokeen lannoitustasoilla jo istutusvuonna. Sienijuurisymbioosi pysyi osana mansikan juuria läpi koko kokeen myös runsasfosforisissa käsittelyissä. Hyöty sienijuurisymbioosista näkyi kuitenkin parhaiten fosforilla lannoittamattomassa käsittelyssä, jossa sadontuotto oli keskimäärin yhtä suurta tai suurempaa kuin runsaasti lannoitetuissa käsittelyissä. Satomäärät eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi fosforilla lannoittamattoman ja runsaimman fosforitason välillä, mikä osoittaa sen, että sienijuurisymbioosin vuoksi fosforista ei muodostunut mansikan kasvua rajoittavaa tekijää edes alhaisessa viljavuusluokan fosforipitoisuudessa.

Vuonna 2014 lannoitus annettiin mansikkakasvustoille rakeisena ja vuosina 2015–2016 neste-mäisenä, mikä saattoi vaikuttaa sienijuuren toimintaan. Kasvit ottavat fosforia joko suoraan maasta juurien kautta tai vaihtoehtoisesti sienijuurisymbioosin avulla. Fosforin suoraotto vallitsee pääasiassa juuren kasvavan kärjen tuntumassa, jossa fosforia on paljon vapaana ja sienijuurisymbioosi vallitsee vanhemmassa juurisolukossa (Smith ym. 2011). Nestemäisenä annettu fosforilannoite leviää maanesteessä rakeista lannoitetta tehokkaammin ja todennäköisesti tuo fosforia myös niukkafosforiselle alueelle lähelle vanhan juuren pintaa. Tomaatilla on huomattu fosforin suoran otton kohoavan ja sienijuuren merkityksen pienenevän, kun fosforipitoisuus kasvaa (Nagy ym. 2009). Samalla kolonisaatioiden on huomattu laskevan, mikä tukee kokeissamme havaitsemaa ilmiötä. Biermanin ja Lindermanin (1983) keinotekoisilla kasvualustoilla tekemässä tutkimuksessa maanesteen fosforipitoisuus 5

mg/l vaikutti jo sienijuuren kautta tapahtuvaan fosforinottoon ja sienijuuren tuomaan kasvuhyötyyn negatiivisesti. Tämä tulos tukee vuonna 2015 havaittua trendiä, jossa matalin lannoitustaso P30/15 tuotti heikoimman kuivapainon ja satotuloksen. Käsittelyyn lisätty fosforimäärä vastasi perustamisvuonna fosforipitoisuutta 12 mg/l ja satovuosina 6 mg/l fosforia.

Kasvien kivennäisravinnepitoisuuksien nousu fosforilannoituksen yhteydessä ilmeisesti liittyy kasvin kykyyn ottaa itsenäisesti fosforia, jolloin muitakin ravinteita pääsee samalla virtaamaan kasviin enemmän. Sienijuuren toiminnan heikentyminen fosforilannoituksen vaikutuksesta näyttäisi vaikuttavan myös kasvin kykyyn ottaa muita ravinteita. Näiden tulosten perusteella ravinteiden ottokyky paranee korkeammilla fosforilannoitustasoilla, mikä viittaisi niukan kastelulannoituksen olevan huonoin vaihtoehto. Ilmiö oli näkyvä molempina satovuosien käsittelyssä P30/15, vaikka tilastollinen merkitsevyys saatiin satojen välille ainoastaan yhtenä vuonna.

MTT Piikkiössä vuosina 1998–2001 tehdyn lannoitustutkimuksen tulosten mukaan keskisatoinen mansikka käyttää 1 000 kg sadontuottoon keskimäärin 0,4 kg fosforia. Sadontuoton lisäksi muuhun kasvuun mansikalla tarvitaan fosforia 2–5 kg/ha taimen koosta riippuen. Tiheällä istutuksella fosforintarve voi nousta välille 5–8 kg/ha. Muuhun kasvuun tarvittava fosfori palaa kuitenkin maahan kasvinsienien maatuessa syksyllä tai viimeistään viljelykierron päätteeksi, eikä sitä tarvitse korvata vuosittaisella lannoituksella.

Tämän kokeen tulokset vahvistivat aiemmat laskelmat, sillä kivennäisanalyysin tulosten perusteella päästiin samoihin tuloksiin. Laskennallisesti koealalta maasta poistui fosforia vuosittaisen mansikkasadon mukana noin 5,5–7,0 kg /ha. Koealueen viljavuusanalyysin mukaan maan fosforivarastot olisivat olleet riittävän suuret mansikan fosforitarpeen tyydyttämiseksi useiksi vuosikymmeniksi eteenpäin. Runsaan fosforilannoituksen lisääminen alkoi välittömästi nostaa maan viljavuusfosforin pitoisuutta. Tämä kertoo sen, että nykyiset ympäristökorvausehtojen mukaiset fosforilannoitussuositukset ovat aivan liian korkeita suhteessa mansikan todelliseen fosforinottoon. Nykyisten lannoitussuositusten mukaan Sotkamon fosforiköyhään kivennäismaahan olisi saanut lisätä fosforia perustamisvuonna 60 kg/ha ja satovuosina 35 kg/ha.

Jatkotutkimuksia tarvitaan viljelyohjeistusten kehittämiseksi ja varmistamiseksi sienijuuren vaikutuksesta mansikan sadonmuodostukseen, viljelyn talouteen ja viljelyn ympäristövaikutuksiin eri lajikkeilla sekä erilaisissa maaperä- ja ilmasto-olosuhteissa. Sienijuurisymbiooseja esiintyy noin 85–90 prosentilla maailman kasveista (Wang & Qiu 2006). Lisätietoa kaivattaisiin sienijuuren merkityksestä myös muilla viljelykasveilla.

8.4. Johtopäätökset

Sienijuurisymbioosilla on mansikan viljelyssä taloudellinen merkitys toisaalta lannoituskustannusten vähentäjänä. Toisaalta väärin viljelytoimenpiteiden seurauksena symbioosin huono toimivuus voi rasittaa kasvia ja johtaa sadon alenemiseen (Kahiluoto ym. 2001). Viljavuusluokat on perinteisesti määritetty satovaikutuksen mukaan, mutta saamiemme tulosten perusteella nykyisiä fosforilannoitussuosituksia pitäisi tarkastella kriittisesti ainakin mansikan osalta. Tulevissa mansikan fosforilannoitussuosituksissa olisi huomioitava sienijuurisymbioosin merkitys ja korjattava suosituksia olisi korjattava nykytasosta alaspäin. Sadon mukana poistuvan ravinnemäärän ylittävistä fosforilannoituksesta ei ole mansikan viljelyssä hyötyä, ja peltoon kertyvä ylimääräinen fosfori lisää huuhtoutumisriskiä.

Fosforin antaminen kastelulannoituksena on sienijuurisymbioosin kannalta epäedullisempää kuin rakeinen, koska nestemäisessä muodossa annettu fosfori häiritsee sienijuuren toimintaa ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa sadonmenetyksiä. Sienijuurisymbioosillisissa maissa, joita kaikki suomalaiset kivennäismaat ovat, kannattaisi entistä enemmän kiinnittää huomiota maan luontaisen mikrobiston tilaan. Fosforilannoituksen sijaan voitaisiin parantaa maan nykyisten fosforivarojen hyödyntämistä ja siirtyä ylläpitämään pellon fosforitilaa mansikan viljelykierron välikasveilla, karjanlannalla ja muilla maan mikrobitoiminnalle myönteisillä toimenpiteillä.

Mansikan viljelyssä kivennäismailla pellon viljavuusanalyysin fosforitaso olisi sienijuuren toiminnan kannalta optimaalinen alle 10 mg/l tasolla. Tämä ei kuitenkaan päde turvemaidella, sillä sienijuuri symbioosi ei toimi turpeessa. Sienijuurisymbioosin olemassaolo pitäisi huomioida viljelykierron suunnittelussa ja viljelykasvin valinnassa samalla tavoin kuin esimerkiksi maan happamuus. Tällöin tehokkaassa viljelyssä vahvan sienijuurisymbioosin kasvit sijoitettaisiin matalan fosforitason pelloille omaan viljelykiertoonsa ja symbioosittomat tai heikon symbioosin kasvit korkeamman fosforitason pelloille omaan viljelykiertoonsa. Tällä menettelyllä saataisiin minimoitua fosforilannoituksen haitalliset vaikutukset sienijuurisymbioottisille viljelykasveille.

Viitteet

- Biermann, B. & Lindermann, R.G. 1983. Effect of container plant growth medium and fertilizer phosphorus on establishment and host growth response to vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108(6): 962-971.
- Daft, M.J. & Okusanya, B.O. 1973. Effect of Endogone mycorrhiza on plant growth. VI. Influence of infection on the anatomy and reproductive development in four hosts. *New Phytologist* 72: 1333-1339.
- Dunne, M.J. & Fitter, A.H. 1989. The phosphorus budget of field-grown strawberry (*Fragaria x ananassa* cv Hapil) crop: evidence for a mycorrhizal contribution. *Annales of Applied Biology* 114: 185-193.
- Giovannetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84:489-500.
- Holevas, C.D. 1966. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the uptake of soil phosphorus by strawberry (*Fragaria* sp. var. Cambridge favourite). *Journal of Horticultural Science* 41: 57-64.
- Kahiluoto, H., Ketoja, E., Vestberg, M. & Saarela, I. 2001. Promotion of AM utilization through reduced P fertilization 2. Field studies. *Plant Soil* 231:65-79.
- Matala, V. 2006. Mansikan viljely. Puutarhaliiton julkaisuja 340. 335 s.
- Nagy, R., Drissner, D., Amrhein, N., Jakobsen, I., Bucher, M. 2009. Mycorrhizal phosphate uptake pathway in tomato is phosphorus-repressible and transcriptionally regulated. *New Phytologist* 181: 950-959.
- Phillips, J.M. & Hayman, D.S. 1970 Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55:158-161.
- Plenchette, C., Furlan, V. & Fortin J.A. 1982. Effects of different endomycorrhizal fungi on five host plants grown on calcined montmorillonite clay. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107: 535-538.
- Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, M., & Smith, F. A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant physiology* 156 (3): 1050-1057.
- Stewart, L.I., Hamel, C., Hogue, R. & Moutoglou, P. 2005. Response of strawberry to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi under very high soil phosphorus conditions. *Mycorrhiza* 15: 612-619.
- Vestberg, M., Saari, K., Kukkonen, S. & Hurme, T. 2005. Mycotrophy of crops in rotation and soil amendment with peat influence the abundance and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil. *Mycorrhiza* 15: 447-458.
- Wang, B. & Qiu, Y.L. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16 (5): 299-363.

Liite 1. Maan viljavuusluvut, kasvien ravinnepitoisuudet ja ravinteiden otto vihannesten fosforikokeissa (keskiarvoina koe-paikoittain).

Taulukko 34. Viljavuusluvut sipulin fosforilannoituskokeissa keväällä ennen lannoitusta ja syksyllä sadonkorjuun aikaan.

Paikka	Vuosi	Viljavuusluvut keväällä ennen lannoitusta						Viljavuusluvut syksyllä sadonkorjuun aikaan						
		pH	Ca	P	K	Mg	S	johtoluku	pH	Ca	P	K	Mg	S
Piikkiö, korkea P-luokka	2014	7,3	1950	36	97	112	5	1,4	7,3	1856	40	113	110	12
	2015	7,1	1600	31	107	134	4	1,9	7,0	1677	30	144	142	37
	2016	6,9	1706	34	116	148	5	1,5	6,9	1794	35	136	157	27
Piikkiö, matala P-luokka	2014	5,9	1669	6	367	320	13	1,2	5,7	1613	7	328	314	34
	2015	6,0	1767	4	307	381	17	1,2	5,9	2000	6	361	342	40
	2016	5,9	1757	5	357	384	12	1,4	5,7	1950	7	401	391	49
Mikkeli, matala P-luokka	2014	6,3	1525	7	102	113	6	0,9	6,3	1370	7	123	95	19
	2015	5,9	1070	7	75	87	6	2,9	5,6	1120	8	136	108	66
	2016	6,2	1500	12	158	126	7	1,1	6,1	1220	12	162	106	28

Taulukko 35. Viljavuusluvut kaalin fosforilannoituskokeissa keväällä ennen lannoitusta ja syksyllä sadonkorjuun aikaan.

Paikka	Vuosi	Viljavuusluvut keväällä ennen lannoitusta						Viljavuusluvut syksyllä sadonkorjuun aikaan						
		pH	Ca	P	K	Mg	S	johtoluku	pH	Ca	P	K	Mg	S
Piikkiö, korkea P-luokka	2014	7,0	1594	25	120	119	4	1,1	6,9	1456	25	79	121	12
	2015	7,0	1519	23	131	144	5	1,4	6,8	1556	21	102	149	25
	2016	7,0	1688	36	145	166	5	1	7	1756	36	98	168	19
Piikkiö, matala P-luokka	2014	6,1	1900	6	368	423	12	1,2	6,0	1863	7	310	402	22
	2015	6,3	2075	5	272	459	10	1,0	6,2	2475	6	300	454	21
	2016	5,8	1754	6	392	350	16	1	6	1875	6	355	363	41
Mikkeli, matala P-luokka	2014	6,6	1600	7	121	98	7	0,9	6,4	1425	7	97	85	20
	2015	5,7	1052	7	111	89	15	1,4	5,6	1072	7	81	97	41
	2016	6,2	1621	9	145	126	7	1	6	1379	10	99	102	14

Taulukko 36. Viljavuusluvut tilakokeissa keväällä ennen lannoitusta ja syksyllä sadonkorjuun aikaan.

Kasvi	Vuosi	Tila	Multa- vuus	Maalaji	Viljavuusluvut keväällä ennen lannoitusta						Viljavuusluvut syksyllä sadonkorjuun aikaan						
					pH	Ca	P	K	Mg	S	johtolu- ku	pH	Ca	P	K	Mg	S
Porkkana	2014	1	m	Hht	7,3	2667	145	272	122	10	1,4	7,3	2633	150	232	120	11
		2	m	HtMr	6,9	1933	47	195	100	11	3,1	6,6	1883	53	212	99	70
		3	rm	HHk	4,8	443	27	74	59	11	1,8	4,5	505	30	54	57	23
		4	rm	HHt	6,6	1518	27	120	108	6	1,4	6,3	1367	30	84	97	22
	2015	1		Mm/Kht	6,1	1367	12	110	193	10	1,4	5,9	1450	10	54	198	28
		2		Mm	5,3	3050	7	79	410	89	4,1	5,2	3256	9	71	426	137
	2016	1	rm	HtMr	6,3	1750	11	213	203	24	2,4	6,2	2000	14	195	205	63
		2	rm	HtMr/HeS	5,9	1417	5	212	152	31	4,5	5,5	1467	6	257	157	134
Mukulasel- leri	2014		m	HtMr	6,8	1750	9	93	335	10	1,0	6,9	2050	18	84	225	13
	2014		rm	HeS/HtMr/KH t	7,0	2500	26	150	273	5	1,4	6,8	2950	23	155	270	15
	2014		m	HtMr	6,4	1433	22	197	173	6	0,8	6,0	1350	24	188	116	17

Taulukko 37. Sipuliosan ravinnepitoisuudet fosforilannoituskokeissa sadonkorjuun aikaan.

Paikka	Vuosi	N	Na	B	S	Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn
		% ka	g/kg ka							mg/g ka			
Piikkiö, korkea P- luokka	2014	1,6	0,1	16	5,1	4,6	17	1,2	4,0	6,2	26	8,3	18
	2015	0,9	0,1	-	3,8	3,1	14	0,8	2,6	3,3	15	8,0	12
	2016	0,9	0,1	-	3,4	2,7	14	0,8	2,7	3,3	18	5,3	13
Piikkiö, matala P- luokka	2014	1,7	0,1	16	5,2	3,8	18	1,4	3,5	7,3	32	15,3	34
	2015	0,8	0,1	-	2,9	2,5	14	0,8	2,2	4,5	18	10,2	16
	2016	1,3	0,1	-	3,8	3,3	17	1,1	2,6	4,7	18	14,4	25
Mikkeli, matala P- luokka	2014	1,1	-	12	3,4	2,2	12	0,8	2,3	-	21	5,8	-
	2015	1,2	0,0	-	2,6	2,4	11	0,8	2,0	4,4	15	7,1	17
	2016	1,0	0,1	-	3,5	2,1	15	0,8	2,4	3,6	27	8,2	16

Taulukko 38. Sipulin naattien ravinnepitoisuudet fosforilannoituskokeissa sadonkorjuun aikaan.

Paikka	Vuosi	N	Na	B	S	Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn
		% ka	g/kg ka							mg/g ka			
Piikkiö, korkea P- luokka	2014	2,2	0,2	31	6,9	30	28	4,2	2,9	4,5	269	35	9
	2015	1,4	0,1	-	5,9	16	13	4,0	2,4	4,2	101	52	6
	2016	1,7	0,1	-	6,7	23	19	5,3	3,1	3,1	89	42	10
Piikkiö, matala P- luokka	2014	2,4	0,3	31	7,0	24	42	5,5	2,4	4,5	724	93	14
	2015	1,8	0,3	-	5,2	20	23	4,1	2,3	3,6	258	79	7
	2016	2,1	0,4	-	6,3	25	30	7,5	2,6	4,2	458	133	14
Mikkeli, matala P- luokka	2014	1,7	-	22	5,4	15	17	3,1	2,0	-	103	24	-
	2015	2,1	0,0	-	3,3	17	17	4,0	2,0	3,9	37	17	14
	2016	1,7	0,1	-	5,5	16	22	2,5	2,6	4,2	172	51	8

Taulukko 39. Sipulin fosforin, typen ja kaliumin otto (kg/ha) fosforilannoituskokeissa.

Paikka	Vuosi	Fosforin otto (kg/ha)			Typen otto (kg/ha)			Kaliumin otto (kg/ha)		
		sipuli	naatit	yht.	sipuli	naatit	yht.	sipuli	naatit	yht.
Piikkiö, korkea P- luokka	2014	24	4	28	95	32	127	101	40	140
	2015	27	2	29	93	14	107	142	13	155
	2016	27	4	30	93	21	114	139	22	161
Piikkiö, matala P- luokka	2014	19	3	21	88	26	114	96	46	142
	2015	14	2	15	53	14	66	89	19	108
	2016	16	2	18	79	19	97	104	27	131
Mikkeli, matala P- luokka	2014	14	2	16	63	20	83	72	19	91
	2015	11	4	15	66	39	106	61	32	93
	2016	15	2	17	61	16	77	89	21	110

Taulukko 40. Keräkaalin kerän ravinnepitoisuudet sadonkorjuun aikaan fosforilannoituskokeissa.

Paikka	Vuosi	N	Na	B	S	Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn
		% ka	g/kg ka						mg/g ka				
Piikkiö, korkea P- luokka	2014	1,9	0,5	18	7	5	33	1	3	1	21	13	15
	2015	1,6	0,4	-	6,4	4,0	29	1,2	3,2	1,3	22	12	13
	2016	2,3	0,6	-	7,6	6,0	41	1,9	4,4	3,0	39	16	20
Piikkiö, matala P- luokka	2014	2,1	0,5	19	8	4	36	2	3	1	37	11	19
	2015	1,4	0,3	-	6,3	3,8	27	1,3	3,2	1,2	19	11	14
	2016	2,0	0,5	-	7,3	4,2	42	1,9	4,3	2,5	32	16	22
Mikkeli, matala P- luokka	2014	2	-	19	8	4	32	1	3	-	71	22	25
	2015	2,0	0,5	-	6,9	3,7	29	1,5	2,6	1,8	33	19	22
	2016	2,0	0,4	-	7,1	4,8	32	1,4	2,4	1,3	38	15	16

Taulukko 41. Keräkaalin ulkolehtien ravinnepitoisuudet sadonkorjuun aikaan fosforilannoituskokeissa.

Paikka	Vuosi	N	Na	B	S	Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn
		% ka	g/kg ka						mg/g ka				
Piikkiö, korkea P- luokka	2014	2,0	0,5	34	13	33	34	3	2	1	41	28	15
	2015	1,3	0,4	-	10	45	31	3,1	2,0	0,9	37	31	10
	2016	2,2	0,6	-	11	31	36	2,7	3,2	1,9	41	26	15
Piikkiö, matala P- luokka	2014	2,0	0,4	36	15	30	43	4	2	1	107	26	28
	2015	1,1	0,3	-	11	40	30	4,3	1,9	0,8	83	26	22
	2016	2,0	0,4	-	11	21	42	3,1	3,0	1,9	55	37	28
Mikkeli, matala P- luokka	2014	2	-	33	13	36	39	3	2	-	142	61	26
	2015	2,2	0,7	-	9	27	30	4,3	2,2	1,6	64	72	37
	2016	2,0	0,4	-	14	32	39	2,5	2,3	1,5	101	33	17

Taulukko 42. Keräkaalin fosforin, typen ja kaliumin otto (kg/ha) fosforilannoituskokeissa.

Paikka	Vuosi	Fosforin otto (kg/ha)			Typen otto (kg/ha)			Kaliumin otto (kg/ha)		
		kerä	ulkol.	yht.	kerä	ulkol.	yht.	kerä	ulkol.	yht.
Piikkiö, korkea P- luokka	2014	21	15	37	131	141	272	222	248	470
	2015	30	15	44	143	98	240	260	230	490
	2016	30	22	52	157	149	306	280	242	523
Piikkiö, matala P- luokka	2014	23	16	39	141	139	281	242	292	533
	2015	22	11	33	92	66	158	185	171	357
	2016	26	17	43	118	117	235	253	239	492
Mikkeli, matala P- luokka	2014	16	9	25	120	84	205	186	150	336
	2015	18	14	31	133	137	270	196	193	389
	2016	15	9	24	123	77	199	198	146	344

Taulukko 43. Porkkanan ja mukulasellerin sato-osan ravinnepitoisuudet sadonkorjuun aikaan.

Paikka	Vuosi	Tila	N	Na	B	S	Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn	
			% ka	g/kg ka						mg/g ka					
Porkkana	2014	1	1,2	1,3	15	1,3	2,8	30	1,0	3,5	4,4	30	8	12	
		2	1,2	-	14	1,0	2,4	24	0,8	1,8	-	33	7	-	
		3	1,0	-	15	1,2	1,4	23	1,3	2,1	-	25	308	54	
		4	1,1	-	17	1,3	2,3	25	1,0	2,4	5,0	45	10	38	
	2015	1	1,1	0,8	-	1,3	2,2	28	1,3	2,2	5,0	16	15	20	
		2	1,3	1,4	-	1,4	2,7	22	1,8	1,9	5,2	18	18	21	
	2016	1	1,0	1,4	-	1,1	1,8	29	1,3	1,8	5,0	16	4	16	
		2	0,9	0,9	-	1,2	2,1	30	1,1	2,3	3,6	19	13	19	
Mukulaselleri	2014	1	1,6	1,9	34	1,0	3,0	33	1,6	5,5	7,9	71	20	22	
	2015	1	1,9	2,3	-	1,3	3,9	45	1,8	7,0	8,7	50	20	27	
	2016	1	1,8	1,3	-	1,1	3,4	42	1,7	6,0	7,7	148	28	29	

Taulukko 44. Porkkanan ja mukulasellerin lehtien ravinnepitoisuudet sadonkorjuun aikaan.

Paikka	Vuosi	Tila	N	Na	B	S	Ca	K	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn	
			% ka	g/kg ka						mg/g ka					
Porkkana	2014	1	2,1	1,2	26	3,5	22	44	3,3	2,7	6,6	1158	71	18	
		2	2,3	-	29	3,4	19	48	2,4	2,0	6,1	750	42	27	
		3	2,7	-	27	4,5	10	54	2,8	1,9	5,8	81	1683	82	
		4	2,2	-	30	5,6	16	44	3,7	1,7	6,2	295	41	36	
	2015	1	2,1	0,5	-	5,9	18	54	5,0	2,0	7,1	71	84	37	
		2	2,2	0,9	-	5,0	16	33	6,0	2,1	6,4	135	85	19	
	2016	1	2,3	0,9	-	4,9	21	60	4,7	1,7	7,2	282	51	21	
		2	2,7	2,0	-	6,7	15	72	3,3	1,8	6,6	152	75	23	
Mukulaselleri	2014	1	1,8	4,2	24	18,4	27	21	5,0	1,9	3,0	448	47	27	
	2015	1	2,1	4,0	-	16,3	27	35	3,9	2,5	3,8	174	30	40	
	2016	1	2,2	2,7	-	16,7	29	35	4,3	2,5	4,2	183	41	44	

Taulukko 45. Porkkanan ja mukulasellerin fosforin, typen ja kaliumin otto (kg/ha).

Paikka	Vuosi	Tila	Fosforin otto (kg/ha)			Typen otto (kg/ha)			Kaliumin otto (kg/ha)		
			juuri	lehdet	yht.	juuri	lehdet	yht.	juuri	lehdet	yht.
Porkkana	2014	1	25	6	31	86	49	135	207	102	308
		2	8	2	10	52	24	75	106	50	156
		3	11	2	13	52	26	78	119	53	172
		4	15	4	19	65	54	118	151	103	254
	2015	1	17	-	-	85	-	-	217	-	-
		2	16	6	21	105	59	163	178	87	265
	2016	1	13	3	16	74	40	114	207	105	311
		2	10	2	12	36	33	69	127	88	215
Mukulaselleri	2014		18	5	23	54	49	103	108	59	167
	2015		24	9	33	66	78	144	152	130	282
	2016		16	5	21	48	47	95	111	73	184

Liite 2. Mittaustuloksia vihannesten typpilannoituskokeista.

Taulukko 46. Pistemittausten NDVI-arvot Piikkiön kaalikokeessa 2015.

	17.6.	2.7.	6.7.	13.7.	21.7.	29.7.	5.8.	12.8.
N0	0,34	0,71	0,69	0,72	0,69	0,68	0,68	0,68
N50+50	0,52	0,75	0,75	0,76	0,75	0,74	0,73	0,73
N100	0,44	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73	0,72
N150	0,5	0,76	0,75	0,76	0,76	0,75	0,74	0,74
N200	0,46	0,75	0,75	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74
N230	0,5	0,76	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75
N230 maa	0,57	0,76	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75
N200 GreenS	0,42	0,76	0,75	0,75	0,75	0,76	0,75	0,75
N230 org	0,55	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77

Taulukko 47. Piikkiön kaalikokeen liukaisen typen pikamäärityksen tulokset 0-20 cm syvydessä. Kerranteiden välinen vaihtelu kuvataan keskihajonnan (\pm) avulla.

	17.6.	24.6.	2.7.	6.7.	13.7.	21.7.
N0	8 \pm 3				0 \pm 0	
N50+50	42 \pm 9				0 \pm 0	
N100	67 \pm 9				0 \pm 0	
N150	87 \pm 13				2 \pm 2	
N200	85 \pm 34		70 \pm 30	44 \pm 11	2 \pm 2	
N230	78 \pm 16				4 \pm 7	
N230 maa	131 \pm 44	38 \pm 14	25 \pm 6	6 \pm 3	17 \pm 13	
N200 GreenS	101 \pm 58					
N230 org	117 \pm 13			74 \pm 40	28 \pm 13	17 \pm 6

Taulukko 48. Piikkiön kaalikokeen liukaisen typen pitoisuudet 13.7.2015 määritettynä laboratoriossa 2 M KCl-uuton avulla.

	0-20 cm		20-40 cm	
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N
	kg/ha		kg/ha	
N0	4	1	4	5
N50+50	7	5		
N100	4	3		
N150	8	8		
N200	9	7		
N230	10	10	3	5
N230 maa	34	12	3	4
N200 GreenS	5	3		
N230 org	18	47	2	9

Liite 3. Mansikan fosforikokeen satotulokset ja kivennäisainepitoisuudet Sotkamossa vuosina 2014-2016

Taulukko 49. Mansikka lajikkeen 'Ria' talvehtiminen Sotkamossa 2016. Asteikko 0= kuollut, 1= yli 50 % vaurioita, 2= alle 50 % vaurioita, 3= ei vaurioita.

Talvehtiminen		
P käsittely	kunto	keskihajonta
0	2,6	0,5
30/15	2,4	0,8
60/30	2,5	0,8
90/45	2,5	0,8

Taulukko 50. Mansikan fosforikokeen keskimääräiset satotulokset ja marjan laatu Sotkamossa vuosina 2014-2016.

Sotkamo 2016								
Käsittely	g/marja	g/taimi	kg/ha	Hyvä %	Pienet %	Home %	Härmä %	Muu %
P0	15,2	435	11737	89,1	0,9	1,0	0	9,0
P15	13,2	391	10548	87,2	1,3	0,6	0	10,9
P30	14,6	444	11993	88,8	1,0	0,1	0	10,1
P45	14,8	489	13215	88,9	1,0	0,4	0	9,8
Sotkamo 2015								
Käsittely	g/marja	g/taimi	kg/ha	Hyvä %	Pienet %	Home %	Härmä %	Muu %
P0	12,5	625	16868	75,5	0,7	8,7	0,0	15,0
P15	12,8	525	14170	78,3	1,0	7,8	0,1	12,7
P30	13,4	632	17058	78,4	0,6	7,1	0,0	13,8
P45	12,5	560	15115	73,8	0,8	9,5	0,0	15,8
Sotkamo 2014								
P kg/ha	g/marja	g/taimi	kg/ha	Hyvät %	Pienet %	Home %	Härmä %	Muut %
P0	13,7	42	1125	69	1	9	0	21
P30	12,6	41	1118	62	1	8	0	30
P60	12,9	43	1148	49	0	15	0	35
P90	12,3	40	1077	58	2	7	0	32

Taulukko 51. Kivennäisainesten keskimääräinen pitoisuus mansikan kuiva-aineessa Sotkamon peltokokeissa vuonna 2015-2016.

2016	Käsittely			
Kivennäiset	0	15	30	45
B mg/kg	23,7	26,0	26,6	27,2
Ca g/kg	8,0	8,5	8,3	8,8
Cu mg/kg	20,9	18,0	22,2	23,3
Fe mg/kg	129,3	143,8	112,3	113,8
K g/kg	12,8	12,6	13,4	13,4
Mg g/kg	2,3	2,1	2,3	2,1
Mn mg/kg	29,5	35,2	36,6	35,9
Na mg/kg	49,1	43,0	38,5	43,7
P g/kg	1,8	1,9	2,1	2,1
S g/kg	0,8	0,7	0,8	0,8
Zn mg/kg	33,5	46,5	34,8	39,1
N % ka	0,8	0,8	0,8	0,8
2015	Käsittely			
Kivennäiset	0	15	30	45
B mg/kg	22,0	23,3	23,1	24,2
Ca g/kg	8,9	9,1	8,8	9,1
Cu mg/kg	34,4	24,9	38,2	39,1
Fe mg/kg	105,9	113,6	95,3	129,2
K g/kg	12,5	11,8	12,9	12,7
Mg g/kg	2,6	2,4	2,6	2,6
Mn mg/kg	23,8	29,5	31,0	33,0
Na mg/kg	62,6	45,4	48,7	45,8
P g/kg	1,5	1,5	1,6	1,6
S g/kg	0,8	0,7	0,8	0,8
Zn mg/kg	25,5	29,7	31,0	30,3
N % ka	0,9	0,8	0,9	0,9

Taulukko 52. Kasvinosien lukumäärät eri fosforikäsittelyissä Sotkamossa vuonna 2016.

2016	kpl	
Käsittely	kukat	rönsyt
0	21	14
30/15	17	17
60/30	18	14
90/45	19	12



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000