

RAPORTTEJA 185

PIKAMENETELMÄT KASVIN RAVINNETILAN KUVAAJANA

TUOMAS J. MATTILA, VEERA MANKA JA JUKKA RAJALA



PIKAMENETELMÄT KASVIN RAVINNETILAN KUVAAJANA

TUOMAS J. MATTILA, VEERA MANKA JA JUKKA RAJALA



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

PRO
Agria



HELSINGIN YLIOPISTO
RURALIA-INSTITUUTTI

2018

OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä -hanketta rahoittavat Varsinais-Suomen ELY-keskus / Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014-2020 / Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillusrahoitus, yritykset, viljelijät ja säätiöt.

Julkaisija Helsingin yliopisto
Ruralia-instituutti
www.helsinki.fi/ruralia

Kampusranta 9 C
60320 SEINÄJOKI

Lönnrotinkatu 7
50100 MIKKELI

Sarja Raportteja 185

Kannen kuvat Tuomas J. Mattila

ISBN 978-951-51-3763-0 (pdf)

ISSN 1796-0630 (pdf)

ESIPUHE

Maatalouden tärkeimmät resurssit ovat viljelijän osaaminen ja peltomaan kasvukunto. Maan kasvukunto vaikuttaa ratkaisevasti saavutettuihin satotasoihin ja edelleen käytettävien tuotantopanosten hyötysuhteisiin, viljelyn kannattavuuteen ja ympäristövaikutuksiin. Peltomaa on monimutkainen järjestelmä, jonka kokonaisvaltainen hallinta vaatii uudenlaista osaamista sekä uusia työkaluja ja käytäntöjä. Viljelijöitä askarruttaa monen lohkon kohdalla, miksi tällä loholla sato jää huomattavasti pienemmäksi kuin muilla lohkoilla.

Maaperä ja kasvit ovat kiinteässä vuorovaikutussuhteessa. Kasveja voidaan käyttää indikaattorina myös maan kasvukunnosta. Kasvien kasvuhäiriöt voivat kertoa jonkin ravinteen puutteesta tai epätasapainosta. Kasvin ravinnetilan selvittäminen kasvun aktiivisen kasvun vaiheissa auttaa tarkentamaan kasvien ravinnehuoltoa ja korjaamaan puutteita vielä kasvukauden aikana tapahtuvien kasvusto- ja lehtilannoituksin.

Perinteisesti kasvien ravinnetilaa ja kuntoa on arvioitu puutosoireiden tarkastelulla ja kasvianalyysillä. Puutosoireet näkyvät vasta, kun puutokset ovat pitkälle kehittyneitä ja vakavia. Tulisi myös pystyä tunnistamaan usean puutoksen esiintyessä samanaikaisesti, mistä ravinteista on puutetta. Olisi myös hyödyllistä vertailla lohkon eri osia toisiinsa. Tulokset olisi hyvä saada nopeasti.

Pikamenetelmin pyritään saadaan tulokset nopeasti, ja niiden avulla viljelijällä on paremmat mahdollisuudet vertailla lohkon eri osia toisiinsa. Nyt julkaistavassa raportissa pikamenetelmiä esitellään kirjallisuuden perusteella. Lisäksi menetelmien käyttökelpoisuutta testattiin OSMO-hankkeen tilakoeaineiston avulla.

Nyt julkaistava raportti on tuotettu osana OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä-hanketta. Hankkeen tilatutkimusosiossa pyritään selvittämään monipuolisesti maan kasvukunnon tilaa kahdeksalla ongelmalohkolla Etelä-Pohjanmaalla, Satakunnassa ja Varsinais-Suomessa. Verranteina käytetään hyväkasvuisia lohkoja.

Tarkoituksena on myös kehittää tilatasolle soveltuvia maan kasvukunnon analysointi- ja havainnointimenetelmiä sekä selvittää millä toimenpiteillä ongelmalohkojen kasvukuntoa voidaan parantaa. Nyt julkaistavaan raporttiin on koottu keskeiset tulokset tutkittavien kasvien ravinnetilan analysoinnin pikamenetelmistä ja niiden hyödyntämisestä viljavuustutkimusta täydentäen.

OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä-hanketta toteuttavat Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti, ProAgria Etelä-Pohjanmaa ja ProAgria Länsi-Suomi.

Hanketta rahoittavat Varsinais-Suomen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmasta 2014-2020, Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoituksella, Eurofins Viljavuuspalvelu Oy, Soilfood Oy, Tyynelän Maanparannus Oy, Ecolan Oy, viljelijät sekä Luomusäätiö ja Rikalan Säätiö. Kiitämme rahoittajia tämän työn mahdollistamisesta.

Kiitämme OSMO-tilakokeen viljelijöitä koelohkojen antamisesta tutkimuksen käyttöön ja koelohkojen viljelytöiden suorittamisesta ja tutkimustulosten saamisesta. Kiitokset myös Berner Oy:lle mangaanimittarien lainasta. Raportin taitosta ja ulkoasusta kiitämme graafinen suunnittelija Jaana Huhtalaa.

Toivomme Pikamenetelmät kasvin ravinnetilan kuvaajana -raportin palvelevan suomalaisia viljelijöitä huolehtimaan kasvien tasapainoisesta ravinteiden saannista.

Mikkelissä syyskuussa 2018

Tekijät

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	7
ABSTRACT	9
JOHDANTO	11
MATERIAALIT JA MENETELMÄT	13
Lohkot ja näytteenotto	13
Pikamenetelmät.....	13
TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	15
Lehtivihreän ja kasvuston typpipitoisuuden vastaavuus pH ja kasvin kationianionitasapaino	15
Sokeri ja kasvin yleinen ravitsemuksellinen tila.....	18
Mangaanimittari ja kasvin mangaanipitoisuus.....	19
Väärävärικuvat ja kasvien pääravinteet	20
JOHTOPÄÄTÖKSET	22
LÄHTEET	23

TIIVISTELMÄ

Kasvin ravinnetilaa voidaan tarkastella kasvianalyysin avulla. Kokoomanäytteenä kerätty otos pelton kasveista kuvaa kasvien keskimääräistä ravinnepitoisuutta, mutta sen avulla on vaikea tutkia yksittäisiä kasveja. Lisäksi näytteen oton ja tulosten saamisen välillä kuluu useita päiviä. Kasvianalyysin rinnalle on kehitetty erilaisia pikamittareita, joiden avulla kasvien ravinnetilaa voidaan seurata nopeasti ja tulokset ovat luettavissa välittömästi. Menetelmien lisähyötynä on se, että lisänäytteiden ottaminen on edullista, joten voidaan tarkastella jopa yksittäisiä kasveja.

Tässä raportissa selvitettiin viiden pikamenetelmän soveltuvuutta kasvin ravinnetilan kuvaamiseen. Menetelmät olivat lehtivihreämittaus (Atleaf+), kasvin sokeripitoisuuden määrittäminen refraktometrillä, kasvisolukonesteiden pH, väärävärilokokuvaus (Publiclab Infragram) ja mangaanimittaus (NN-Easy55). Aineistona käytettiin OSMO hankkeen 24 koelohkoa ja tuloksia verrattiin perinteisen kasvianalyysin tuloksiin. Analysoitavina kasveina oli viljoja, palkokasveja, rapsia, perunaa ja sipulia.

Tulosten perusteella pikamenetelmien ja kasvianalyysin tulosten välillä on hajontaa. Lehtivihreätulokset eivät vastanneet kasvin typpipitoisuut-

ta. Kasvisolukon pH vastasi melko hyvin kasvin kationi-anioni erotusta ja typpipitoisuutta, mutta joukosta löytyi myös selvästi poikkeavia kasveja. Kasvuston sokeripitoisuus vastasi typpipitoisuutta, mutta korrelaatio päti vain kasvilajiryhmittäin. Mangaanimittarin ja kasvuston mangaanipitoisuuksien välillä ei ollut selvää yhteyttä, mutta mangaanimittari kuvaa kasvuston kokema stressiä mangaaninpuutoksen seurauksena, joten kasvien ja kasvilajikkeiden mangaaninpuutoksen siedossa saattoi olla eroja.

Merkittävä ero pikamenetelmien ja kasvianalyysin välillä on niiden otos: pikamenetelmät analysoivat yksittäisiä kasveja, kasvianalyysinäyte kootaan useista kasveista. Tämän johdosta hajonta kasvipopulaation sisällä on odotettavissa olevaa. Pikamenetelmien luotettavuutta voidaan parantaa lisäämällä analysoitavien kasvien määrää, mutta tämä lisää myös analyysin aikamenekkiä.

Yhteenvetona pikamenetelmät eivät korvaa, mutta täydentävät kasvianalyysin tuloksia. Niiden tarkempi hyödyntäminen esimerkiksi lannoituksen tarkentamisessa vaatisi kasvilaji ja kasvuastekoh-
taisia lisäselvityksiä.

ABSTRACT

QUICK METHODS FOR ANALYZING PLANT NUTRITIONAL STATUS

Plant nutrient status can be analyzed with tissue testing. A pooled sample of plants is shipped to a laboratory for analysis and the results describe the average nutrient concentrations in the sampled plant population. This is a standard practice, but it is also costly, time consuming and applies to plant population instead of individual plants. Several quick methods have been developed to monitor plant nutritional status without delay. An additional benefit is that these methods can be applied to individual plants and that since the cost per sample is low, large sample sizes are possible.

This report presents the results from a test of five methods on 24 test fields. The methods were plant chlorophyll analysis (Atleaf +), dissolved solids analysis (refractometer), plant sap pH, false colour photography (Publiclab Infragram) and manganese stress measurement (NN-Easy55). The results were compared to traditional plant analysis on small grains, legumes, rapeseed, potato and onions.

Based on the results, the correlation between quick methods and plant analysis was weak. Plant chlorophyll results did not correlate with nitrogen

concentrations. Plant sap pH correlated with cation-anion difference and nitrogen, but there were some plants which were clear outliers. The sugar content of the plant was correlated with nitrogen, but this held only within a certain plant group. Manganese concentrations and Mn-meter readings had no correlation. The Mn-meter measures plant stress, so it could be that the plants differed in their tolerance to low Mn-concentrations.

A major difference between quick methods and plant analysis is their sample size: quick meters measure individual plants and plant analysis is a pooled sample. Therefore the variation between the results could be expected. The reliability of quick methods can be increased by increasing sample size, but this also increases the time cost of applying the methods.

As a conclusion we do not recommend using the quick methods as a replacement for plant analysis. Instead they can be used as a source of complementary information. In order to use quick methods for practical fertilizer planning, the results should be calibrated for plant species and growth stage.

JOHDANTO

Maaperätutkimuksessa on siirrytty 2000-luvulla maan laadun osatekijöiden tutkimuksesta kohti kokonaisvaltaisempaa maan kasvukuntotutkimusta (Kibblewhite, Ritz, ja Swift 2008; Weil ja Brady 2016). Terve maaekosysteemi vaikuttaa myös kasvien ravitsemukseen (Marschner ja Rengel 2012). Kasvien terveys voisi toimia siten indikaattorina myös maan kasvukunnolle. Pyrkimyksenä on tasapainoinen kasvinravitsemus, jossa ravinteita on kasville sopivasti, mutta ei liikaa (Engels, Kirkby, ja White 2012). Kasvin terveydentilan selvittäminen ei kuitenkaan ole yksiselitteistä ja tutkimusala on kehittymässä. Perinteisesti kasvin terveys on määritetty erilaisten stressitekijöiden puutteena, eli mikään kasvutekijä ei rajoita terveen kasvin mahdollisuutta saavuttaa geneettinen potentiaalinsa (Cook 2000). Kasvin terveys voidaan kuitenkin määritellä myös kasvin hyvinvointina tai kykenä sietää erilaisia stressitekijöitä (Döring ym. 2012).

Perinteisesti kasvien ravinnetilaa ja kuntoa on arvioitu puutosoireiden tarkastelulla ja kasvianalyysillä (Römheld 2012). Puutosoireiden tarkastelun varjopuolena on se, että oireet näkyvät yleensä vasta puutoksen ollessa vakava ja toisaalta useiden puutosten samanaikaisuus voi häiritä puutosoireiden tunnistamista. Kasvianalyyssissä kasvustosta kerätään edustava kokoomanäyte (esim. 20 kasvia, 5 eri kohdasta: nurkkapisteet ja keskiosa, poikkeavat kasvit kerätään erikseen) (Jones Jr, Wolf, ja

Mills 1991). Kuva 1 havainnollistaa tyypillistä näytteenottosuunnitelmaa ja myös sen ongelmia. Kuvan oikeassa laidassa on NDVI-kuva kasvuston vaihtelusta. Mikäli näytteet otetaan kaavamaisen hajautevasti, näytteeseen tulee kasveja, jotka edustavat eri kasvuasteita ja kasvien terveydentilaa. Kokoomanäyte antaa kuvan koko lohkon keskimääräisestä tilanteesta, mutta sen avulla ei saada kuvaa lohkon sisäisestä vaihtelusta ja jopa kasviyksilöiden välisestä vaihtelusta.

Aistinvaraisen tarkastelun ja pitoisuusmittausten rinnalle on kehitetty erilaisia anturipohjaisia mittausten menetelmiä, joista yleisimmässä käytössä on 1980-luvulla kehitetty SPAD-lehtivihreämittari (Minolta). Lehtivihreämittari lähettää punaista (650 nm) ja infrapunavaloa (940 nm) ja mittaa, kuinka suuri osa näistä absorboituu kasviin (van Maarschalkerweerd ja Husted 2015). Koska kasvi käyttää punaista (ja sinistä) valoa yhteytykseen, muttei infrapunaa, ero aallonpituuksien absorptiossa kuvaa kasvin kykyä yhteyttää ja toisaalta kasvin lehtivihreäpitoisuutta. Erot infrapunasäteilyn ja punaisen välillä ovat voimakkaampia kuin erot kasvin vihreydessä, joten mittarilla voidaan tunnistaa puutosoireita paljon aikaisemmin kuin vain aistinvaraisesti. Lehtivihreämittareita käytetäänkin yleisesti kasvin typpilannoituksen optimointiin (Akhter ym. 2016). Viime aikoina lehtivihreämittareita on käytetty laajemmin automatisoituihin typpilannoitus-



Kuva 1. Satelliittikuva vuoden 2015 OSMO Ju 0 ja Ju 1 koelohkoista ja lohkoille hahmoteltu hajautettu kasvinäytteenottosuunnitelma sekä Sentinel-2 aineiston perusteella piirretty NDVI-kartta.

tuksen tarkentamiseen (Yara N-Sensor, Greensseeker) (Tremblay ym. 2008).

Lehtivihreän lisäksi kasvin heijastamien tai fluoresoivien aallonpituuksien mittauksella voidaan tunnistaa muitakin kasvuhäiriöitä. Esimerkiksi tanskalainen NN-Easy55 mangaanimittari perustuu kasvin fluoresenssimuutoksiin mangaanipuutoksen seurauksena (Stoltz 2014; Husted ym. 2009). Eri aallonpituuksien suhteen avulla on voitu tunnistaa myös kasvien kuivuus-, ultravioletti- ja ravinnepuutosstressejä (Campbell ym. 2007). Aihepiiri kehittyi nopeasti ja uusia analyysimenetelmiä julkaistaan jatkuvasti (van Maarschalkerweerd ja Husted 2015).

Tieteellisen tutkimuksen ulkopuolella on myös kehitetty menetelmiä kasvien kunnon seurantaan. Jotkin vaihtoehtomaatalouden kannattajat suosittelvat kasvin terveydentilan kartoittamista kasvinesteen pH:n tai kokonaissokeripitoisuuden (Brix) perusteella (Zimmer ja Zimmer-Durand 2016; Syrovoy ja Prasad 2010). Aiheesta ei löydy tutkimusta, mutta kasvisolukon happamuuden ja sokeripitoisuuden mittaamisessa on kasvin toiminnan kannalta järkeä. Kasvin sokeripitoisuus kuvaa sekä kasvin yhteytystä, energiankulutusta että yhteytystuotteiden siirtoa lehdistä (Syrovoy ja Prasad 2010). Kasvinesteen pH kuvaa solukon protonipitoisuutta ja kasvit käyttävät mm. vetyä ja orgaanisia happoja solukon varauksen tasapainottamiseen anionisten

ja kationisten ravinteiden suhteen. Jos kasvissa on runsaasti kationeja (Ca, Mg, K, NH₄) suhteessa anioneihin (SO₄, PO₄, NO₃), kasvin protonipitoisuudet voisi olettaa olevan alhaisia ja pH on korkea. Päinvastoin jos kasvissa on runsaasti nitraattityyppiä, rikkiä tai fosforia suhteessa kationisiin ravinteisiin, pH:n voisi olettaa olevan alhainen. (Brown 2009) Kasvifysiologian tutkimus on siirtynyt viime aikoina käsittelemään ravinteiden keskinäisiä suhteita ja tasapainoa, joten näille teorioille voidaan saada lisää vahvistusta (Salt, Baxter, ja Lahner 2008).

Erilaisten pikamittareiden hyvänä puolena on mittauksen nopeus ja edullisuus, jolloin näytteitä voidaan ottaa useammin ja useampia samalta lohkolta, tällä päästään paremmin käsiksi lohkon sisäiseen vaihteluun ja toisaalta parhaimmillaan lohkon kasvukunnon eroihin. Nopea mittaus mahdollistaa myös kokeilut, joissa voidaan testata esimerkiksi lehtilannoituksen vaikutusta kasvin ravinnetilaan. Pikamittareita on tutkittu melko vähän ja tutkimuksissa on todettu tulosten olevan riippuvaisia mm. näytteeseen otetusta kasvinosasta ja näytepisteen sijainnista lehdessä (Stoltz 2014; Xiong ym. 2015; Dunn ym. 2018). Tässä raportissa kuvataan OSMO -hankkeessa vuosina 2016-2018 tehdyt pikamenetelmien testaukset ja verrataan niitä kasvianalysillä saatuihin tuloksiin.

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

LOHKOT JA NÄYTTEENOTTO

Tutkimus tehtiin OSMO-hankkeen 24 koelohkolla. Lohkot valittiin hankkeeseen kahdeksalta maatilalta ja 16 niistä edustaa erilaisia kasvukunnon ongelmalohkoja ja 8 edustaa hyväkasvuisia lohkoja. Tarkemmat kuvaukset lohkoista ja niiden kasvukunnosta on esitetty aiemmassa raportissa (Matti ja Rajala 2017). Kasvinäytteet kerättiin lohkoilta vuosina 2016 ja 2018 kasvianalyysin suosittelomassa kasvuasteessa. Pikamenetelmämittauksia varten kerättiin erilliset näytteet heinäkuun alussa. Näytteenotto toteutettiin molemmissa tapauksissa hajautettuna Kuvan 1 mukaisesti. Kasvustoanalyysiä varten näytteet lähetettiin Eurofins Viljavuuspalvelu Oy:n. Pikamittauksia varten näytteet säilytettiin viileässä ja mitattiin 1-3 päivän kuluessa näytteenotosta.

PIKAMENETELMÄT

Pikamenetelmistä tutkittiin lehtivihreämittausta, mangaanimääritystä, kasvisolukon pH:ta ja sokeripitoisuutta. Yhteenvedo käytetyistä mittareista on esitetty Taulukossa 1. Seuraavassa esitellään mittausten toimintaperiaate ja käyttö kasvin terveydentilan seurantaan.

Lehtivihreä mitattiin Atleaf+ lehtivihreämittarilla (FT Green LLC, Yhdysvallat). Lehtivihreämittari toimii samalla periaatteella kuin SPAD mittari, ja tuottaa samankaltaisia ja yhtä tarkkoja tuloksia, mutta on selvästi edullisempi (Zhu, Tremblay, ja Liang 2012). Kultakin koelohkolta tehtiin 4 mitausta ja analyysiin valittiin uusin täysin auennut lehti. Mittaus tehtiin lehden keskikohdalta. Oikea mittauskohta haettiin asettamalla mittari jatkuvalle mittaukselle (nappula pohjaan) ja vietiin lehden keskikohdalle (lukemat vakaat). Tämän jälkeen mittaus toistettiin pitämällä painiketta pohjassa 10 sekuntia, jolloin mittari laskee keskiarvon otetuista näytteistä. Tällä vältettiin virhe, joka tulee siitä, että lehden reuna osuu mittausanturin kohdalle.

Mangaanimittaus tehtiin NN-Easy55 mangaanimittarilla (Nutrinostica, jälleenmyynti Viljelijän Berner Oy). Mittari perustuu kasvin pimeäadaptaatioon ja tiettyjen entsyymien fluoresenssiin lyhyen valopulssin seurauksena. Fluoresenssireaktio on herkkä mangaanin puutteelle ja mittaria on käytetty luotettavasti kasvuston mangaanin puutoksesta johtuvan stressin seurantaan (Husted ym. 2009; Stoltz 2014). Näytteet analysoitiin neljästä lehdestä jokaisesta koejäsenestä ja määritys tehtiin viimeisimmästä auenneesta lehdestä, lehden keskivaiheelta.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt kasvin terveydentilan seurantamittarit.

Mittari	Valmistaja ja jälleenmyyjä	Hinta	Toimintaperiaate
AtLeaf+ lehtivihreämittari	FT Green LLC, www.atleaf.com	298 € + toimitus	Punaisen ja lähi-infrapunan läpäisy lehdessä.
Refraktometri 0-32 % Brix ATC	National Industrial Supply	22 € + toimitus	Valon taitekerroin muuttuu veteen liuenneiden aineiden myötä.
pH mittari, Horiba Laqua pH-11	Horiba, www.ekostore.fi	129 € + toimitus	Jännite-ero lasi- ja referenssielektrodin välillä.
Mobius Infragram, lehtivihreäkamera	Public Lab, www.publab.org	107 € + toimitus (Pelkkä suodatinkalvo oman kameran muuntamiseen 5 €.)	Digikameran valokenno mittaa myös kasvien lähettämää lähi-infrapunasäteilyä, kun kameraan vaihdetaan suodin.
NN-Easy55 mangaanimittari	Nutrinostica, www.viljelijanberner.fi	4550 € + toimitus	Mn-puute aiheuttaa fluoresenssilla mitattavissa olevan häiriötilan kasvin valoaineenvaihduntaan

pH- ja sokerimittaukset tehtiin kasvin puristeneesteestä. Kasvin lehtiä asetettiin 2-5 kpl valkosipulinpuristimeen ja puristeneestettä pudotettiin refraktometrille (National Instruments, Yhdysvallat, 0-32 Brix, lämpötilakorjattu) ja pH-mittarin anturille (Horiba Laqua Twin, Japani). Sokeri- ja pH-mittauksista tehtiin kaksi rinnakkaista mittausta. Sokeriarvot tulkittiin neuvontaan kehitetyn kasvilajikohtaisen taulukon avulla (Bionutrient Food Association 2014).

Mittareiden lisäksi koelohkoilta otettiin vuonna 2018 väärävärivalokuvat Infragram-kasvikameralla (Public Lab, Yhdysvallat). Kamera on yksinkertainen kypäräkamera, josta on poistettu infrapunasuodatin ja poistettu suodatin on korvattu punasuotimella. Kuvat käsiteltiin Infragram ohjelmistolla ja

niistä laskettiin NDVI-kasvillisuusindeksi, mikä vastaa kaupallisten typpilannoitusantureiden käyttämää kasvillisuusindeksiä (Tremblay ym. 2008). Normalisoitu kasvillisuusindeksi (NDVI) lasketaan lähi-infrapunasäteilyn (NIR) ja näkyvän valon aallonpituuksien (yleensä punainen, RED) suhteesta: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ (Tremblay ym. 2008). Kasvit käyttävät näkyvää valoa yhteytykseen, mutta heijastavat lähi-infrapunaa. Mitä enemmän heijastuvassa säteilyssä on lähi-infrapunaa suhteessa punaiseen valoon, sitä paremmin kasvi on käyttänyt valoa yhteytykseen. NDVI laskenta tuottaa arvoja välillä -1 ja 1, missä vesipinnat ovat alle 0, paljas maa 0, harva kasvillisuus 0,2-0,5 ja kasvustot 0,6-0,9.

TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

LEHTIVIHREÄN JA KASVUSTON TYPPIPITOISUUDEN VASTAAVUUS

Tulosten perusteella lehtivihreämittarilukemat eivät vastanneet kasvustosta mitattuja typpipitoisuuksia (Kuva 2). Keskihajonta oli suurimmillaan 18 % neljän näytteen välillä. Keskihajonnan mediaani oli 9 %, joten vaihtelu näytteiden välillä oli vähäistä. Toisaalta lohkojen välinen keskihajonta oli vain 13 %, joten osanäytteiden vaihtelu oli samaa suuruusluokkaa kuin lohkojen välinen.

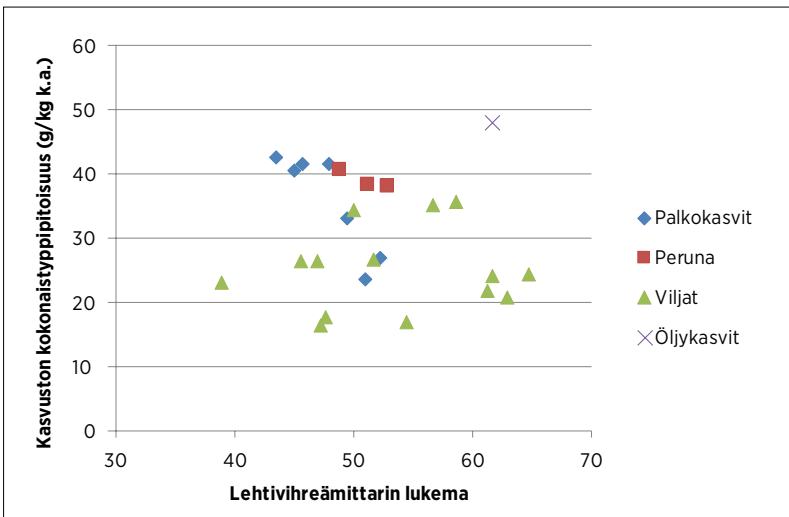
Kasvilajeille suositellut SPAD arvojen alarajat ovat viljoille yli 40, öljykasveille 41, perunalle 45, mikä vastaa Atleaf arvoja 50, 52 ja 60 (atleaf.com muuntolaskuri). Näiden normiarvojen perusteella viljoista 5 näytettä olisi ollut typpirajoitteisia, ja kaikki perunanäytteet olisivat olleet typpirajoitteisia, öljykasvinäytteessä sen sijaan tyypeä vaikutti olevan runsaasti. Kasvianalyysin tulkinnan perusteella ohran normaalin typpitason alaraja on 17,5 g/kg ka., joten missään näytteistä ei ollut typpirajoitetta. Perunan typpialaraja oli 30 g/kg k.a., joten mitatut näytteet olivat normaalin raja-arvon sisäpuolella. Rapsin alaraja oli 40 g/kg k.a., joten sekään ei ollut typpirajoitteinen. Mittaukset tehtiin mitta-alueella, jossa kasveilla oli riittävästi tyypeä käyt-

tettävissä, jolloin kasvuston typpipitoisuus ei välttämättä korreloinut lehtivihreäpitoisuuden kanssa.

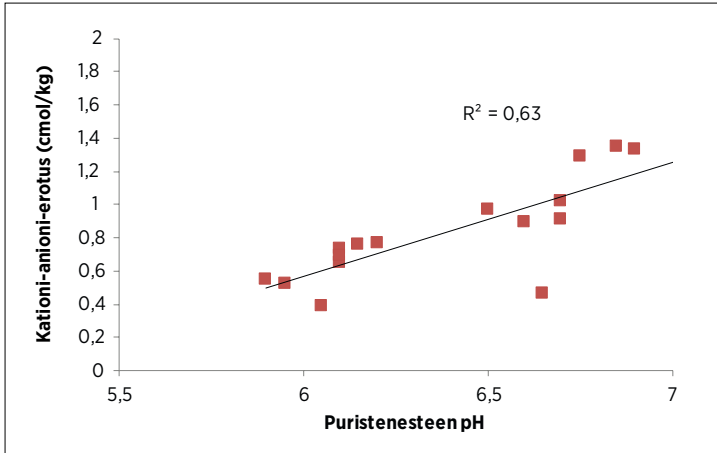
Lehtivihreämittaritulosten on todettu olevan herkkiä ympäristön olosuhteille ja kasvin fysiologiselle tilalle (Xiong ym. 2015). Vaikka lehtivihreämittari mittaa lehtivihreää, kasvi ei välttämättä rakenna lehtivihreää kaikesta tyypestä. Korrelaatio tyyten ja lehtivihreän välillä toimii lähinnä vain yhdellä kasvilajilla ja yhdellä kasvuasteella (Xiong ym. 2015). Lisäksi ravinteen ylimäärä ei johda lehtivihreän määrän kasvuun, joten lehtivihreämittaus toimii lähinnä, kun tyypestä on puutetta (van Maarschalkerweerd ja Husted 2015). Mittaustulokset myös riippuvat fosfori- ja kaliumpitoisuuksista, sekä mitatusta lehden osasta ja lehden sijainnista kasvissa (Dunn ym. 2018). OSMO-hankkeen mittauksissa virhettä pyrittiin minimoimaan mittaamalla viimeiseksi auennut lehti lehden keskikohdalta.

PH JA KASVIN KATIONI-ANIONITASAPAINO

Kasvien puristenesteen pH vaihteli 5,5 ja 7,8 välillä. Alhaisimmat arvot mitattiin härkäpavusta, jossa oli vähän magnesiumia ja kalsiumia ja korkeimmat



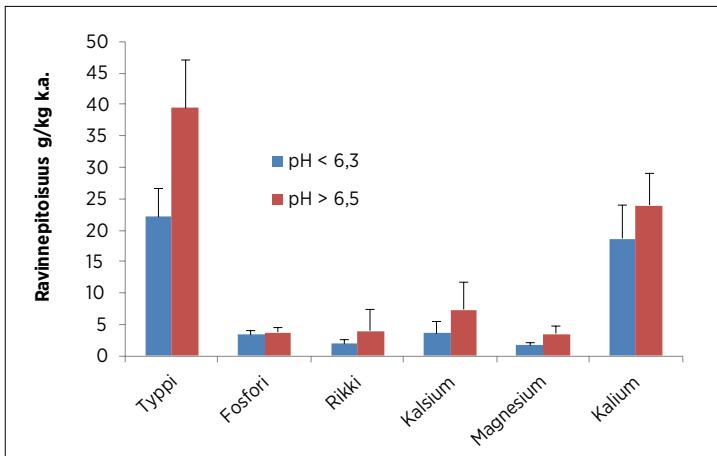
Kuva 2. Lehtivihreämittarin lukemat eivät vastanneet kasvustosta mitattuja typpipitoisuuksia. Hajonta oli huomattavaa sekä kasvityyppien sisällä että kasvityyppien välillä.



Kuva 5. Jos aineistosta poistetaan poikkeavat pisteet (6 näytettä, alimmat ja ylimmät pH:t, kasvustolannoitetut sipulit), pH kuvaa hyvin kationi-anionierotusta.

pH:n tulkintaohjeissa neuvotaan, että alhainen pH voi viitata kalsiumin, magnesiumin tai kaliumin puutteeseen ja korkea pH voi viitata typen, rikin tai fosforin puutteeseen (Brown 2009). Ihannetasona pH:lle on suositeltu tasoa 6,4. Tämän hypoteesin testausta varten analyysit luokiteltiin kolmeen ryhmään: ihanne-pH (6,3-6,5), alhainen pH (pH < 6,3) ja korkea pH (pH > 6,5). Yksikään kasvinäyte

ei päätynyt ihanne-pH luokkaan, mutta pH:lla vaikutti olevan merkitystä etenkin typen pitoisuuksiin (Kuva 6). Tulokset eivät vastanneet suosituksia: korkean pH:n näytteissä oli enemmän typpeä, rikkiä ja fosforia kuin alhaisen pH:n näytteissä. Kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin osalta suositukset vaikuttivat oikeansuuntaisilta, vaikkakin vaihtelu ryhmien sisällä oli suurta.



Kuva 6. Pää- ja sivuravinteiden pitoisuudet kasvinäytteissä, joiden pH oli alhainen tai korkea.

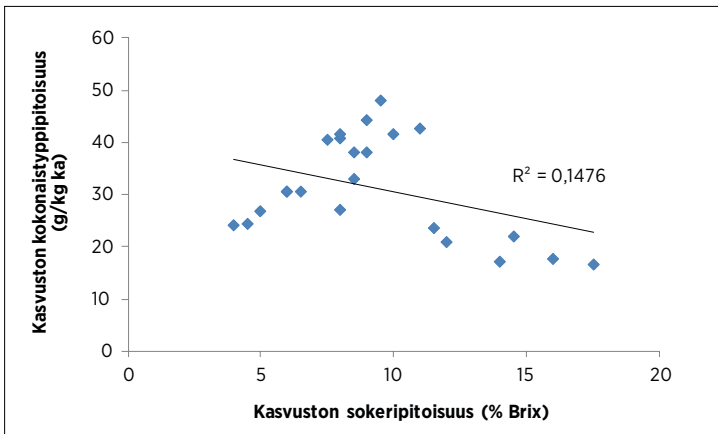
SOKERI JA KASVIN YLEINEN RAVITSEMUKSELLINEN TILA

Kasvuston mitattu sokeripitoisuus eli Brix-arvot vaihtelivat välillä 4-17. Suositusraja-arvot ovat viljoille yli 14, öljykasveille yli 10, sipulille yli 8, palkokasveille yli 10 ja perunalle yli 7 (Bionutrient Food Association 2014). Mitatut sokeriarvot eivät korreloineet yleisellä tasolla kasvuston typpipitoisuuden kanssa (Kuva 7), mutta kun aineisto ryhmiteltiin kasviryhmiin, viljojen ja muiden kasvien joukon sisällä sokeripitoisuus korreloi typpipitoisuuden kanssa selvästi (Kuva 8). Korrelaation suunta vaikutti olevan erilainen viljoilla ja palkokasveilla. Viljoilla korkeammat sokeripitoisuudet korreloivat alhaisemman typpipitoisuuden kanssa, mutta sipulilla, perunoilla ja öljykasveilla korkeammat sokeri-

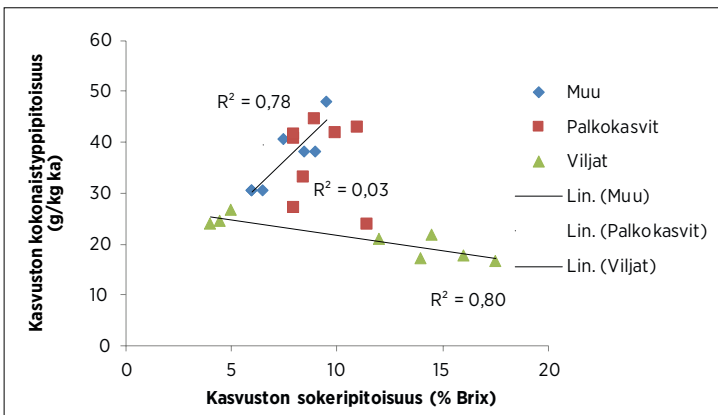
pitoisuudet vastasivat myös korkeampia typpipitoisuuksia.

Sokeripitoisuuksien tulkinta ei ole yksiselitteistä. Viljoilla alhaisimmat sokeripitoisuudet mitattiin ohrakasvustosta, jossa ravinteita oli suositusrajojen mukaisesti, paitsi kalsiumin pitoisuus oli suositusten alarajalla ja booria oli suositusten yli (Jones Jr, Wolf, ja Mills 1991). Toisaalta korkeimmat sokeripitoisuudet mitattiin ruiskasvustosta, jossa oli typen, fosforin, kaliumin, magnesiumin, mangaanin ja sinkin puute (Jones Jr, Wolf, ja Mills 1991).

Tulosten yleistämistä rajoittaa se, että korkeimmat kolme viljan typpipitoisuutta ja alhaisimmat sokerit mitattiin yhdeltä tilalta, jolloin molempiin muuttujiin saattoi vaikuttaa myös muita tekijöitä. Lisäksi palkokasvien osalta mittaukset tehtiin eri kasvuasteilla.



Kuva 7. Kasvuston sokeripitoisuus korreloi heikosti typen kanssa kun kaikkia kasvilajeja tarkastellaan yhdessä.



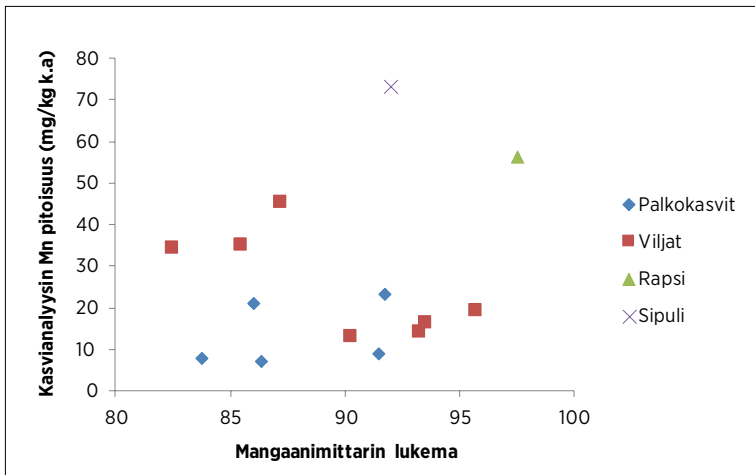
Kuva 8. Kasvilajeittain sokeripitoisuus korreloi voimakkaasti typpipitoisuuden kanssa, mutta korrelaation suunta on erilainen viljoilla ja palkokasveilla.

MANGAANIMITTARI JA KASVIN MANGAANIPITOISUUS

Mangaanimittarin lukemat eivät korreloineet kasvianalyysin tulosten kanssa (Kuva 9). Toisaalta mangaanimittarin lukemat alle 90 viittaavat mangaanin puutokseen ja viljan suositusraja-arvot ovat yli 25-35 mg/kg ka, sipulin yli 40 mg/kg ka ja rapsin yli 30 mg/kg ka. Rapsi- ja sipulinäytteiden osalta mangaanimittarin tai kasvianalyysin perusteella kasveissa ei ollut puutostilaa. Hernenäytteissä sekä mittari- että kasvustoanalyysi näyttivät puutosta. Ruisnäytteiden osalta mangaanimittari näytti puutostilaa, mutta kasvianalyysin perusteella puutetta ei ollut. Mangaanimittaus tehtiin 7 viikkoa myöhemmin kuin kasvustomittaus, joten mangaanin puute on voinut kehittyä kasvukauden aikana. Ruis oli myös jo tuleentumisen alussa, mikä saattoi vaikuttaa tuloksiin. Toisaalta ohra-, syysvehnä- ja härkäpapunäytteissä mangaanimittari ei näyttänyt puutosta, vaikka kasvustoanalyysin perusteella

puutosta oli. Ohran osalta kasvustonäyte oli otettu 3 viikkoa ennen mangaanimittausa, joten mangaanipuutos on voinut korjautua kasvukauden aikana. Härkäpapu- ja syysvehnä näytteet otettiin kuitenkin samaan aikaan kuin mangaanimääritys ja määritys tehtiin myös samoista näytteistä, joten mittausajankohtien ero ei selitä poikkeamaa.

Ero määritettyjen pitoisuuksien ja mittarilukemien välillä voi kuvata eri lajikkeiden ja lajien kykyä sietää alhaisia mangaanipitoisuuksia. Mangaanimittari mittaa kasvin fluoresenssimuutoksia, kun kasvin valoreaktiot muuttuvat mangaanipuutteen seurauksena (Husted ym. 2009). Lajikkeiden välisistä eroista johtuen sama pitoisuus voi kuvata puutostilaa yhdellä lajikkeella, mutta ei toisella (Husted ym. 2009). Kasvianalyysin tulkintanormeja päivitetään harvoin ja ne perustuvat yksittäisiin tutkimuksiin, jotka on tehty eri olosuhteissa ja eri lajikkeilla kuin tässä hankkeessa tutkituilla lohkoilla. Mangaanimittaria voi pitää tässä mielessä luotettavampana mittarina kasvin mangaanipuutokselle.



Kuva 9. NN-Easy55 mangaanimittarin lukemien ja kasvustoanalyysillä mitattujen kasvipitoisuuksien välinen korrelaatio.

VÄÄRÄVÄRIKUVAT JA KASVIEN PÄÄRAVINTEET

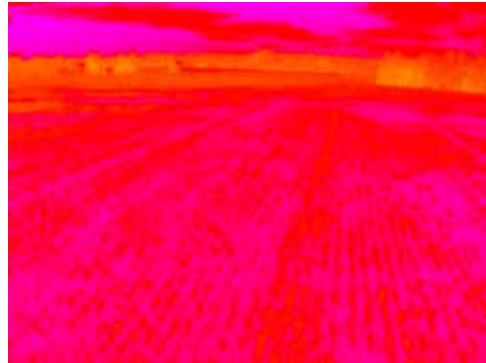
Väärävärικuvien avulla saatiin havainnollistettua kasvuston peittävyttä ja yhteytystehoa (Kuva 10 ja 11). Harvassa viljanoraassa paljasta maata on paljon, mutta sen lisäksi viljan yhteytysteho on alhainen (Kuva 10). Kuivissa oloissa tämä saattoi olla seurausta kasvuston vesirajoitteisuudesta. Kuvan 10 taustalla näkyvä metsä yhteytti kuitenkin selvästi voimakkaammin.

Kun kasvusto oli peittävämpi ja myös selvästi tuuheampi, väärävärικuva korostaa kasvuston aukokopaikkoja ja rivivälejä (Kuva 11). Tiheään rapsikasvuston yhteytysteho oli samaa luokkaa ympäröivän metsän kanssa.

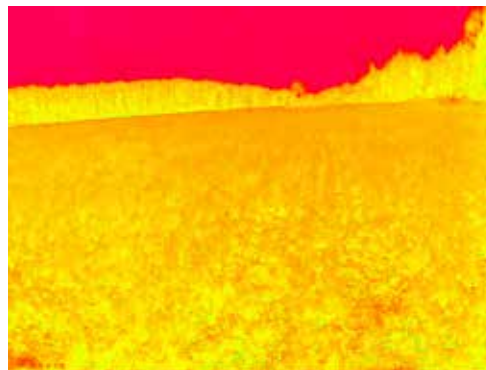
NDVI -muunnos oli selvästi hyödyllinen kasvustojen yhteytystehon tarkasteluun. Kun kasvusto

aloitti tuleentumisen, sen yhteytys väheni selvästi (Kuva 12). Toisaalta NDVI muunnos poisti myös varjojen vaikutuksen kuvasta, sillä varjojen kohdalla sekä punaisen että lähi-infrapun määrää oli alhaisempaa kuin valoisissa kohdissa. NDVI –muunnoksella saatiin myös havainnollistua selvemmin sipulikasvuston ja siinä kasvavien rikkakasvien eroa yhteytyksessä (Kuva 13). Vaikka sipulikasvusto näytti vaalealta väärävärικuvassa, sen alla kasvanut rikkakasvusto yhteytti voimakkaammin. Kuivana kesänä 2018 tämä saattoi hyvinkin johtua veden puutteesta.

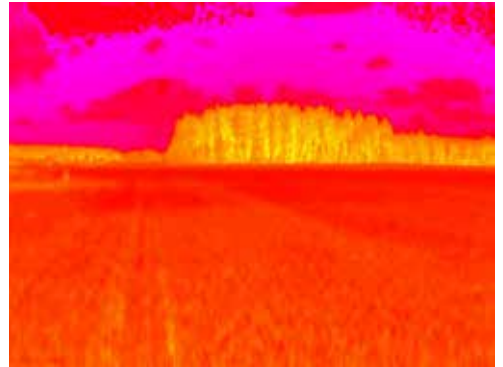
Tällä hetkellä väärävärικuvat soveltuvat lähinnä kasvuston sisäisten erojen tarkasteluun. Kuva-analyysin avulla voitaisiin kuitenkin tunnistaa kuvista kohdat, joissa NDVI on selvästi alle tai yli jonkin raja-arvon, jolloin kuvia voitaisiin käyttää esimerkiksi lannoituksen optimointiin, kuten nykyisin käytössä olevia kaupallisia sensoreita (Tremblay ym. 2008).



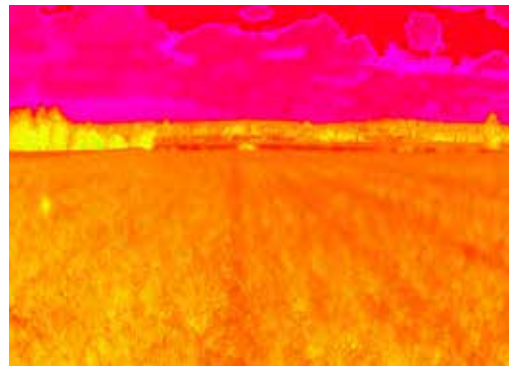
Kuva 10. Väärävärικuva näyttää kasvien heijastaman lähi-infrapun (vasemmalla), tuloksista laskettu NDVI kartta korostaa eroja, mitä lämpimämmät värit, sitä suurempi yhteytys.



Kuva 11. Väärävärικuvasta laskettu NDVI-yhteytyskartta korostaa eroja, etenkin jos osa kasvillisuudesta on tummempaa (metsä kuvan vasemmassa laidassa)



Kuva 12. Tuleentumisen aloittaneessa ohrapellossa yhteytys on alhaisella tasolla (NDVI kuva oikealla), vaikka väärävärivärikuvassa kasvusto näyttää vaalealta.



Kuva 13. Vaikka sipulikasvusto näyttää väärävärivärikuvassa vaalealta, sipulin alla kasvava rikkakasvusto yhteyttää sitä voimakkaammin (keltaisempi, kuumeempi väri oikean puoleisessa NDVI kuvassa).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Pikamittarit eivät toimi sellaisenaan kasvianalyysin korvikkeena. Ne voivat kuitenkin antaa kasvianalyysiä täydentäviä tuloksia. Pikamenetelmien sovellettavuus on parempi, mikäli niitä käytetään vain yksittäisellä kasvilajilla ja kasvuasteella. Menetelmien käytettävyyden kannalta tarvittaisiin lisää tutkimusta yksittäisillä kasvilajeilla tai -ryhmillä (esim. pensomisvaiheen alun vehnä).

Merkittävä ero pikamenetelmien ja kasvustoanalyysin välillä on se, että pikamenetelmät pohjautuvat yksittäisen kasvin tai jopa yksittäisen lehden analyysiin. Mittaustulosten yleistettävyyden parantamiseksi mittauksia tulisi tehdä useita. Koko kasvustoa analysoivat menetelmät, kuten väärävärikuvaus ovat tässä mielessä yksinkertaisempia käyttää, mutta menetelmien tulkinta ja tulosten käsittely on edelleen vaivalloista ja kaipaa jatkokehittelyä.

LÄHTEET

- Akhter, M. M., Hossain, A., Timsina, J., Teixeira, J.A. ja M. S. Islam. 2016. "Chlorophyll meter-a decision-making tool for nitrogen application in wheat under light soils". *International Journal of Plant Production* 10 (3): 289–302.
- Bionutrient Food Association. 2014. "Bionutrient Brix Chart". <http://bionutrient.org/site/sites/all/files/docs/RefractiveIndexOfCropJuices.pdf>.
- Brown, R. 2009. "A systems approach to complete plant nutrition". *ACRES USA* 40 (10): 1-5.
- Campbell, P. K. E., E. M. Middleton, J. E. McMurtrey, L. A. Corp, ja E. W. Chappelle. 2007. "Assessment of Vegetation Stress Using Reflectance or Fluorescence Measurements". *Journal of Environmental Quality* 36 (3): 832–45.
- Cook, R. James. 2000. "Advances in Plant Health Management in the Twentieth Century". *Annual Review of Phytopathology* 38: 95–116.
- Dunn, B.L., Singh, H., Payton, M. ja S. Kincheloe. 2018. "Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on SPAD-502 and atLEAF sensor readings of *Salvia*". *Journal of Plant Nutrition* 41 (13): 1674–83.
- Döring, T. F., M. Pautasso, M. R. Finckh, ja M. S. Wolfe. 2012. "Concepts of Plant Health – Reviewing and Challenging the Foundations of Plant Protection". *Plant Pathology* 61 (1): 1–15.
- Engels, C., Kirkby, E. ja P. White. 2012. "Chapter 5 - Mineral Nutrition, Yield and Source–Sink Relationships". *Teoksessa Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3. painos), toimittanut Petra Marschner*, 85–133. San Diego: Academic Press.
- Husted, S., K.H. Laursen, C.A. Hebborn, S.B. Schmidt, P. Pedas, A. Haldrup, ja P.E. Jensen. 2009. "Manganese Deficiency Leads to Genotype-Specific Changes in Fluorescence Induction Kinetics and State Transitions". *Plant Physiology* 150 (2): 825–33.
- Benton, J.J., B. Wolf, ja H.A. Mills. 1991. *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Micro-Macro Publishing, Inc.
- Kibblewhite, M. G., K. Ritz, ja M. J. Swift. 2008. "Soil Health in Agricultural Systems". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 363 (1492): 685–701.
- van Maarschalkerweerd, M. , ja S. Husted. 2015. "Recent developments in fast spectroscopy for plant mineral analysis". *Frontiers in Plant Science* 6:169.
- Marschner, Petra, ja Zed Rengel. 2012. "Chapter 12 - Nutrient Availability in Soils". *Teoksessa Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3. painos), toimittanut Petra Marschner*, 315–30. San Diego: Academic Press.
- Mattila, T.J. ja J. Rajala. 2017. Mistä ja miten tunnistaa maan hyvän kasvukunnon? Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/229450>.
- Römheld, V. 2012. "Diagnosis of deficiency and toxicity of nutrients". *Teoksessa Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3. painos)*, 299–312. Elsevier.
- Salt, D.E., I. Baxter, ja B. Lahner. 2008. "Ionomics and the Study of the Plant Ionome". *Annual Review of Plant Biology* 59: 709–33.
- Stoltz, E. 2014. "Manganese application increases winter hardiness in barley". *Field crops research* 164: 148–53.
- Syrový, L. ja R. Prasad. 2010. "Brix manipulation for reducing pest pressure: literature review". ES Cropconsult Ltd.
- Tremblay, N., Z. Wang, B.-L. Ma, C. Belec, ja P. Vigneault. 2008. "A Comparison of Crop Data Measured by Two Commercial Sensors for Variable-Rate Nitrogen Application". *Precision Agriculture* 10 (2): 145.
- Weil, R.R., ja N.C. Brady. 2016. *The Nature and Properties of Soils, 15th Edition*. 15 edition. Columbus: Pearson.
- Xiong, D., J. Chen, T. Yu, W. Gao, X. Ling, Y. Li, S. Peng, ja J. Huang. 2015. "SPAD-Based Nitrogen Estimation Is Impacted by Environmental Factors and Crop Leaf Characteristics". *Scientific Reports* 5: 13389.
- Zhu, J., N. Tremblay, ja Y. Liang. 2012. "Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species". *Canadian Journal of Soil Science* 92 (4): 645–648.
- Zimmer, G.F., ja L. Zimmer-Durand. 2016. *The Biological Farmer*. 2. painos. Acres U.S.A.

WWW.HELSINKI.FI/RURALIA



HELSINGIN YLIOPISTO
RURALIA-INSTITUUTTI