

**KYLVÖSIEMENEN RAVINNEKÄSITTELYN VAIKUTUS VIJAKASVIEN  
JUURISTON ALKUKEHITYKSEEN**



Agrologi YAMK opinnäytetyö

Biotalousliiketoiminnan kehittäminen, Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Kevät, 2021

Juvonen Essi

## TIIVISTELMÄ

Kylvösiemenen ravinnekäsittelyä markkinoidaan positiivisella vaikutuksella viljakasvien alkukehitykseen ja sen myötä myös satoon. Tutkimustulokset ravinnekäsittelyn vaikutuksista ovat kuitenkin varsin vaihtelevia. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ravinnekäsittelyn vaikutusta viljakasvien juuriston alkukehitykseen laboratorio- ja kasvihuoneolosuhteissa.

Tutkimuksen ensimmäisessä osiossa eri ravinnevalmisteilla käsiteltyjä siemeniä idätettiin idätyspaperilla ja valokuvattiin päivittäin yhdeksän päivän ajan. Kuvista määritettiin juurten pituus, pinta-ala, tilavuus, halkaisija sekä juurten lukumäärä näytettä kohden. Tutkimuksen toisessa osiossa ravinnekäsitellyjä siemeniä kylvettiin turve-hiekkaseokseen akryyliseinäisiin laatikoihin kasvihuoneelle. Juuria valokuvattiin läpinäkyvän akryylilevyn läpi kahdesti viikossa 19 vuorokauden ajan. Valokuvista määritettiin juuristojen pinta-alat kullakin ravinnekäsittelyllä.

Tulosten mukaan kylvösiemenen ravinnekäsittelyllä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta juuriston alkukehitykseen. Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyillä juuriston keskimääräinen pituus, pinta-ala sekä tilavuus olivat hieman suurempia kuin pelkällä peittauskäsittelyllä, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Avainsanat kylvösiemen, juuristo, kasvinravinteet, kuvantaminen

Sivut 88 sivua ja liitteitä 17 sivua

---

Author Essi Juvonen

Year 2021

Subject The effect of seed nutrient treatment on the early development of the root of cereals

Supervisors Antti Peltola, Ilpo Pölönen

---

ABSTRACT

Seed treatment with nutrients is proposed to have a positive effect on the early development and the yield of cereals. The results of the research made about the effects of nutrient treatment are quite variable. The effect of the nutrient treatment on the early development of the cereals was investigated in this thesis. The study was made in laboratory- and greenhouse conditions.

In the first part of the study the nutrient-treated seeds were germinated at the laboratory on germination paper. The seeds were photographed every day for nine days. Root length, surface, volume, diameter, and number of the roots per sample were determined from the photographs. The second part of the study consisted of nutrient-treated seeds sowed in a greenhouse into rhizotron boxes one side made of acrylic plate. The roots were photographed through the transparent acrylic plate two times per week during the period of 19 days and the surface of the roots was determined from the photographs.

The results showed seed treatment with nutrients had no statistically significant effect on the early root development. The average length, surface and volume of the root system were slightly more extensive with Mantrac and Gramitrel- treated seeds compared to the traditional seed coating, but the differences were not statistically significant.

Keywords sowing seed, root system, plant nutrients, imaging

Pages 88 pages and appendices 17 pages

## Sisälllys

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO.....                                      | 1  |
| 1.1   | Tutkimuksen tausta ja tarkoitus .....              | 2  |
| 1.2   | Tutkimuksen tavoitteet.....                        | 2  |
| 1.3   | Tutkimuskysymykset .....                           | 2  |
| 1.4   | Boreal Kasvinjalostus Oy .....                     | 2  |
| 2     | KYLVÖSIEMENEN RAVINNEKÄSITTELY.....                | 4  |
| 2.1   | Ravinnekäsittelyn hyödyt.....                      | 4  |
| 2.2   | Käsittelyssä käytettävät ravinteet.....            | 5  |
| 2.3   | Ravinnekäsittelyn toteutus käytännössä .....       | 5  |
| 3     | ITÄMISPROSESSI .....                               | 6  |
| 3.1   | Olosuhteet.....                                    | 6  |
| 3.2   | Perimä .....                                       | 7  |
| 3.3   | Entsyymit.....                                     | 7  |
| 3.4   | Fytohormonit .....                                 | 8  |
| 3.5   | Dormanssi .....                                    | 9  |
| 4     | VILJAKASVIEN JUURISTO.....                         | 10 |
| 4.1   | Juuriston rakenne ja tehtävät .....                | 10 |
| 4.2   | Juuriston kehitys .....                            | 10 |
| 4.3   | Juuristo ja ravinteet .....                        | 10 |
| 4.4   | Juuriston kuiva-ainepitoisuus .....                | 11 |
| 5     | KASVIEN RAVINNETALOUS .....                        | 13 |
| 5.1   | Ravinteiden jaottelu pää- ja sivuravinteisiin..... | 13 |
| 5.2   | Kasvin ravinteidenotto .....                       | 14 |
| 5.3   | Ravinteidenottoon vaikuttavat tekijät .....        | 15 |
| 5.3.1 | Maan pH.....                                       | 16 |
| 5.3.2 | Maalaji.....                                       | 17 |
| 5.3.3 | Maan rakenne .....                                 | 18 |
| 6     | RAVINTEIDEN MERKITYS KASVILLE .....                | 19 |
| 6.1   | Typpi.....   | 19 |
| 6.2   | Mangaani .....                                     | 20 |
| 6.3   | Kupari .....                                       | 22 |
| 6.4   | Boori.....   | 23 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.5    | Magnesium.....                                | 24 |
| 6.6    | Sinkki .....                                  | 26 |
| 6.7    | Rikki .....                                   | 27 |
| 6.8    | Molybdeeni .....                              | 27 |
| 6.9    | Natrium .....                                 | 28 |
| 6.10   | Aminohapot .....                              | 28 |
| 7      | AINEISTO JA MENETELMÄT .....                  | 30 |
| 7.1    | Kuvankäsittelyohjelmat .....                  | 31 |
| 7.2    | ImageJ .....                                  | 31 |
| 7.3    | SmartRoot .....                               | 32 |
| 7.4    | Koesiementen käsittely.....                   | 33 |
| 7.5    | Idätyspaperikoe.....                          | 37 |
| 7.5.1  | Kylvö .....                                   | 38 |
| 7.5.2  | Olosuhteet.....                               | 40 |
| 7.5.3  | Valokuvaaminen.....                           | 40 |
| 7.6    | Kasvihuonekoe .....                           | 42 |
| 7.6.1  | Kylvö .....                                   | 42 |
| 7.6.2  | Olosuhteet.....                               | 44 |
| 7.6.3  | Valokuvaaminen.....                           | 47 |
| 7.6.4  | Kuiva-ainemääritys.....                       | 50 |
| 8      | TULOKSET .....                                | 51 |
| 8.1    | Idätyspaperikoe.....                          | 51 |
| 8.1.1  | Juuriston pituus .....                        | 51 |
| 8.1.2  | Juuriston päivittäinen pituuskasvu .....      | 52 |
| 8.1.3  | Juuriston pinta-ala.....                      | 54 |
| 8.1.4  | Juuriston päivittäinen pinta-alan kasvu ..... | 55 |
| 8.1.5  | Juuriston tilavuus .....                      | 57 |
| 8.1.6  | Juuriston päivittäinen tilavuuden kasvu ..... | 58 |
| 8.1.7  | Juurten lukumäärä .....                       | 59 |
| 8.1.8  | Juurten lukumäärän päivittäinen kasvu .....   | 61 |
| 8.1.9  | Juuren halkaisija .....                       | 63 |
| 8.1.10 | Juuren halkaisijan päivittäinen kasvu .....   | 64 |
| 8.2    | Kasvihuonekoe .....                           | 66 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 8.2.1 | Juuriston pinta-ala.....   | 66 |
| 8.2.2 | Juuriston pinta-alan kasvu .....                                 | 67 |
| 8.2.3 | Kuiva-ainepitoisuus .....  | 68 |
| 8.2.4 | Juuriston pinta-alamittausten ja painon välinen korrelaatio..... | 70 |
| 9     | JOHTOPÄÄTÖKSET .....   | 71 |
|       | Lähteet.....   | 75 |

## **Liitteet**

|         |  |
|---------|--|
| Liite 1 | Mallikuvat idätyspaperikoe             |
| Liite 2 | Mallikuvat kasvihuonekoe               |
| Liite 3 | Tilastolliset taulukot idätyspaperikoe |
| Liite 4 | Tilastolliset taulukot kasvihuonekoe   |

## 1 JOHDANTO

Viljelijöiden taloudellinen tilanne on heikentynyt viime vuosina. Alkutuottajan tuotteestaan saama hinta on usein liian alhainen tuotantokustannuksiin nähden. Samaan aikaan maailmalla kuitenkin kärsitään nälänhätää ja ruoan tarve kasvaa jatkuvasti maapallon väkiluvun lisääntyessä.

Ajankohtainen kysymys on kuinka voimme tuottaa tarpeeksi ruokaa niin, että ruoantuotanto on kannattavaa myös viljelijän näkökulmasta.

Kylvösiemenen ravinnepäätely on varsinkin köyhissä maissa käytetty, kustannustehokas menetelmä. Se voisi olla kannattavaa myös suomalaisille viljelijöille. Aiheesta on saatavilla hyvin vähän suomalaista tutkimustietoa ja tutkimustulokset, myös ulkomailla tehdyt, ovat varsin vaihtelevia. Useissa tutkimuksissa, joskaan ei kaikissa, siemenen ravinnepäätelyllä on saatu joko suurempi sato tai parempi sadon laatu kuin ilman ravinnepäätelyä.

Tämä opinnäytetyö perustuu Jokioisilla vuonna 2020 toteutettuihin kasvi-huone- ja laboratoriokokeisiin, joissa kylvösiemen käsiteltiin peittauksen yhteydessä neljällä eri ravinnevalmisteella. Lisäksi kokeissa oli mukana pelkän peittauskäsitelyn saanut verrokki. Tarkoitus oli selvittää, vaikuttaako kylvösiemenen ravinnepäätely viljakasvien juuriston alkukehitykseen ja mitkä mahdolliset vaikutukset ovat.

Tutkimus koostui kahdesta osiosta. Ensimmäinen osio oli laboratorio-olosuhteissa toteutettu idätyspaperikoe, jossa ravinnepääteltyjä siemeniä idätettiin idätyspaperilla ja juuria valokuvattiin yhdeksän päivän ajan päivittäin. Toinen osio oli kasvihuoneolosuhteissa toteutettu koe, jossa ravinnepääteltyjä siemeniä kylvettiin akryyliseinäisiin kasvatuslaatikoihin turve-hiekkaseokseen ja juuria valokuvattiin läpinäkyvän akryylin läpi 19 vuorokauden ajan kahdesti viikossa.

Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin uusia työskentelymenetelmiä, sillä ravinnepäätelyn vaikutuksia juuriston alkukehitykseen selvitettiin juuristoista otetuista valokuvista tietokoneohjelman avulla. Toimivan juuriston kuvantamismenetelmän kehittämisestä olisi hyötyä

opinnäytetyön tilaajalle Boreal Kasvinjalostus Oy:lle. Juuriston kuvantamismenetelmää voitaisiin hyödyntää tulevaisuuden kasvilajikkeiden juuristojen jalostamisessa, jolloin voitaisiin saada esimerkiksi entistä kuivuudenkestävämpiä kasvilajikkeita.

### **1.1 Tutkimuksen tausta ja tarkoitus**

### **1.2 Tutkimuksen tavoitteet**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää vaikuttaako kylvösiemenen ravinnekäsittely viljakasvien alkukehitykseen. Tätä tutkittiin mittaamalla kasvien juuristoja. Tutkimuksessa verrattiin saadaanko ravinnekäsittelyllä kylvösiemenellä suurempi juuriston pituus, pinta-ala, tilavuus, juurten lukumäärä, juurten halkaisija tai kuiva-ainepitoisuus kuin pelkällä peittäuskäsittelyllä. Juuristoa mitattiin laboratoriodätyksistä ja kasvihuonekasvustoista otetuista valokuvista, jolloin voitiin samalla kokeilla uusia työskentelymenetelmiä.

### **1.3 Tutkimuskysymykset**

- 1.) Vaikuttaako kylvösiemenen ravinnekäsittely viljakasvien juuriston alkukehitykseen?
- 2.) Jos ravinnekäsittely vaikuttaa juuriston alkukehitykseen, mitkä vaikutukset ovat?

### **1.4 Boreal Kasvinjalostus Oy**

Työn tilaaja Boreal Kasvinjalostus Oy on kotimaisia peltokasvilajikkeita jalostava yritys Jokioisilla. Tilaajayrityksessä halutaan pysyä mukana kehityksessä ja tehdä ajantasaista tutkimusta viljelyteknisistä menetelmistä kuten kylvösiemenen ravinnekäsittelystä. Jos tutkimuksessa todetaan jollakin tietyllä ravinnekäsittelyllä olevan positiivinen vaikutus juuriston kehitykseen, voidaan tätä tietoa hyödyntää esimerkiksi käsittelemällä tilaajan koesiemenlisäysten kylvösiemen ravinneliuoksella. Tällöin kasvu saisi hyvän alkuunlähdon ja positiivinen kehitys jatkuisi mahdollisesti satoon asti. Myös tilaajalta lajike-edustajille myytävä sertifioitu kylvösiemen

voitaisiin myydä ravinnekäsittelynä, mikä saattaisi kiinnostaa viljelijöitä edellyttäen, että ravinnekäsittelyn oletetuista hyödyistä olisi riittävästi näyttöä. Näyttöä ravinnekäsittelyn mahdollisista hyödyistä pyritään keräämään tässä opinnäytetyössä.

Myös uusista työskentelymenetelmistä olisi hyötyä tilaajalle, sillä jos juurten kuvantaminen onnistuisi hyvin, voisi sitä hyödyntää tulevaisuuden lajikejalostuksessa. Tähän saakka lajikekandidaattien juuristoa ei ole pystytty rutiininomaisesti tarkastelemaan lainkaan soveltuvien menetelmien puuttuessa. Jos kuitenkin vastaisuudessa pystyttäisiin määrittämään maanpäällisen kasvuston fenotyypin lisäksi myös juuriston fenotyyppi, voitaisiin tulevaisuudessa keskittyä uusien lajikkeiden jalostamisessa myös juuriston jalostamiseen ja saada sitä kautta entistä kuivuudenkestävämpiä ja satoisampia lajikkeita.

## 2 KYLVÖSIEMENEN RAVINNEKÄSITTELY

Kylvösiemenen pinnoittamisesta ravinteilla käytetään usein termiä hivenpeittäus (Mäkinen, 2019). Tässä opinnäytetyössä paremmin kuvaava termi on kuitenkin ravinnekäsittely, sillä koesiementen pinnoittamiseen käytettiin muitakin ravinteita kuin pelkästään hivenravinteita, kuten pääravinteisiin lukeutuvaa tyypeä sekä valkuaisaineiden ryhmään kuuluvia aminohappoja. (Alakukku ym., 2009, s. 9; Mäkinen, 2019; Pankakoski, 2006, s. 11)

Ravinnekäsittely ei korvaa perinteistä, siemenlevittäisiä tauteja torjuvaa peittäusta. Yleensä ravinnekäsitelty siemen on käsitelty ravinneliuoksen lisäksi myös perinteisellä peittäusaineella.

### 2.1 Ravinnekäsittelyn hyödyt

Siementen ravinnekäsittely on kustannustehokas menetelmä ja siksi yleisessä käytössä köyhillä alueilla kuten Etelä-Aasian maissa, Australiassa sekä Lähi-Idässä. Kustannustehokkuutensa vuoksi siementen ravinnekäsittely saattaisi tuoda etua myös suomalaisten viljelijöiden talouteen. Kun ravinteet ovat heti itämisvaiheessa kasvin saatavilla, ne voidaan käyttää tehokkaasti kasvuun ja yhteyttämiseen. (Mattila, 2016) Kasvin normaali kasvu ja tehokas yhteyttäminen puolestaan tukevat laadultaan ja määrältään optimaalisen sadon muodostumista (Farmit, n.d.-a). Varsinkin alkukehitys on usein ravinnekäsittelyllä siemenellä nopeampaa kuin tavanomaisella kylvösiemenellä, sillä ravinteiden ollessa heti kasvin saatavilla juuristo kehittyy nopeammin. Tällöin se yltää aikaisemmin maaperässä oleviin muihin ravinteisiin ja pystyy hyödyntämään niitä tehokkaasti. (Seppänen, 2001) Käsiteltäessä siemen peittäusaineen lisäksi ravinneliuoksella tulee kylvösiemenestä normaalia kosteampaa, mikä valmistaa siementä itämisprosessiin ja sitä kautta nopeuttaa varsinaista itämistä (Mattila, 2016).

Kylvösiemenen ravinnekäsittelyllä on useissa tutkimuksissa todettu olevan positiivisia vaikutuksia viljojen kehitykseen ja satoon. Esimerkiksi Tavares ym. (2013) ovat todenneet ravinnekäsittelyn nostavan merkittävästi satotasoa sekä parantavan itävyyttä. Samoin Farooq ym. (2012) ovat

tutkimusartikkelikatsauksessaan päätyneet toteamaan kylvösiemenen ravinnekäsittelyn paitsi parantavan itävyyttä ja satotasoa, myös nostavan satona saatavien jyvien ravinnepitoisuutta.

## **2.2 Käsittelyssä käytettävät ravinteet**

Yleensä siemenen ravinnekäsittelyssä käytetään hivenravinteita, joiden tarve on niin pieni, että se voidaan täyttää ravinnekäsittelyllä. Pääravinteiden kohdalla kasvin tarve on niin suuri, ettei siemenkäsittely riitä läheskään kattamaan tarvetta, jolloin ravinnetta joudutaan joka tapauksessa lisäämään peltoon jossakin muodossa. Tällöin siemenen ravinnekäsittelystä ei saada vastaavaa hyötyä kuin hivenravinteiden osalta. Ravinteita ei myöskään pidä käyttää siemenelle liikaa, sillä se voi aiheuttaa epätoivottuja oireita kasvilla. Esimerkiksi liika boorin saanti näkyy kasvuhäiriöinä. Myös ihmisravitsemuksessa tiettyjen ravinteiden liikasaannista voi seurata vakavia haittoja, joten senkään takia ravinteita ei pidä käyttää ylen määrin. (Mattila, 2016)

## **2.3 Ravinnekäsittelyn toteutus käytännössä**

Ravinnekäsittely voidaan toteuttaa peittauksen yhteydessä tavallisella nestepeittauslaitteistolla sekoittamalla ravinnevalmiste ja peittausaine keskenään. Tällöin liuosta on kuitenkin muistettava sekoittaa riittävän usein lajittumisen estämiseksi. (Mäkinen, 2019)

Toinen tapa ravinnekäsittelylle on sekoittaa siemeniin ravinne ja peittausaine erikseen (Yara, 2020a).

Siemenistä tulee ravinnekäsittelyn jäljiltä selvästi kosteampia kuin pelkän peittauksen jäljiltä, mutta käsittelyn voi tehdä joitakin päiviä etukäteen ja antaa kosteuden hieman haihtua ennen kylvöä (Mäkinen, 2019).

### 3 ITÄMISPROSESSI

Itäminen käynnistyy, kun siemenen kuivat rakenteet imevät itseensä vettä ja siemen turpoaa. Turpoamisen myötä siemenen kuori rikkoutuu. Siemenen elintoiminnot, kuten entsyymien ja hormonien toiminta, käynnistyvät solukkojen saatua riittävästi vettä. (Pankakoski, 2006, ss. 131–133)

Kostumisen seurauksena alkio alkaa tuottaa fytohormoneja, kuten gibberelliiniä ja abskissihappoa. Gibberelliini siirtyy diffuusion avulla aleuronikerrokseen saaden aikaan reaktioketjun, jonka seurauksena syntyy endospermiin erittyviä, hydrolyyttisiä entsyymejä. (Bethke ym., 1997, ss. 1337–1338) Entsyymit pilkkovat siemenen varastoravinnon alkiolle käyttökelpoiseen muotoon (Joshi, 2018).

Kasvuunlähdön seurauksena alkeisjuuri työntyy siemenkuoren läpi, mitä pidetään varsinaisena, silminnähettävänä itämisenä. (Pankakoski, 2006, ss. 131–133) Alkeisjuuresta puolestaan kasvavat varsinaiset 3–7 siemenjuurta (Forbes & Watson, 1992, s. 116). Alkeisjuuren esiintulon jälkeen alkeissilmu alkaa kasvaa ylöspäin kehittyen lopulta versoksi maan pinnalle. (Pankakoski, 2006, s. 133)

Siemenen on pärjättävä oman varastoravintonsa turvin siihen saakka, kunnes alkeisjuuri tulee siemenkuoren alta näkyviin, mutta tämän jälkeen kehittyvä kasvi pystyy alkeisjuuren avulla ottamaan tarvitsemansa ravinteet ympäröivästä maaperästä. (Iowa Agriculture Literacy Foundation, 2018)

#### 3.1 Olosuhteet

Jotta siemen voisi itää, se tarvitsee riittävästi kosteutta. Alkion kasvu sekä uusien solurakenteiden syntyminen vaativat energiaa, jota vapautuu soluhengityksessä. Itäminen vaatii siis paitsi vettä, myös riittävästi happea heti siemenen elintoimintojen käynnistyttyä turpoamisen jälkeen. (Pankakoski, 2006, ss. 131–132)

Lisäksi itämisprosessi edellyttää riittävää lämpötilaa, sillä kullakin kasvilajilla ja -lajikkeella on vähimmäis- ja enimmäislämpötila, jonka puitteissa itäminen on mahdollista. (Pankakoski, 2006, ss. 131–132) Itämisvaiheen lämpötila vaikuttaa itämisajankohtana vallitseviin kosteusoloihin sekä siemenen hormoni- ja entsyymitoimintaan. Korkea lämpötila lisää haihduntaa, mikä puolestaan voi muuttaa itämisolosuhteet liian kuiviksi. (Dove, 2010) Hormonitoimintaan lämpötila vaikuttaa abskissihapon ja gibberelliinien osalta (Toh ym., 2008). Korkea lämpötila lisää abskissihapposynteesiä (Martel ym., 2018) vähentäen samalla gibberelliinisynteesiä ja siten estää siemenen itämisen liian kuumassa (Toh ym., 2008). Lämpötila vaikuttaa myös siemenen entsyymitoimintaan. Korkeammissa lämpötiloissa entsyymitoiminta on yleensä aktiivisempaa kuin matalammissa lämpötiloissa. (Guzmán-Ortiz ym., 2018)

Itämisen kannalta on tärkeää, että paitsi itämisajankohtana, myös siemenen kypsymisen sekä varastoinnin aikana vallinneet olosuhteet ovat olleet optimaaliset (Bentsink & Koornneef, 2008).

### **3.2 Perimä**

Geenit määrittelevät itämiseen vaikuttavien fytohormonien aktiivisuutta ja säätelevät siten omalta osaltaan itämisprosessia. Vastaavasti tietyt geenit puolestaan aktivoituvat tiettyjen hormonien vaikutuksesta. Graeberin (2012) mukaan esimerkiksi itämislevon eli dormanssin ilmenemiseen vaikuttavat siemenen kypsymistä, hormonitoimintaa ja epigeneettistä periytymistä säätelevät geenit sekä geenit, jotka ohjailevat dormanssista vapautumista. (Miransari & Smith, 2014)

### **3.3 Entsyymit**

Hydrolyyttisten entsyymien, kuten proteinaasien, amylaasien ja lipaasien erittymisen seurauksena siemenen varastoravinto eli tärkkelys, rasvat ja valkuaisaineet pilkkoutuvat pienemmiksi, kasville käyttökelpoisiksi yhdisteiksi. Ne kulkeutuvat alkion kasvusolukkaan mahdollistaen alkion kasvun. (Pankakoski, 2006, ss. 131–133; ks. myös Ali & Elozeiri, 2017, ss. 143–146)

### 3.4 Fytohormonit

Itämistä säätelevät olosuhteiden, perimän ja entsyymien lisäksi fytohormonit. Itämisen kannalta tärkeimpiin fytohormoneihin lukeutuvat gibberelliini, abskissihappo, auksiinit, sytokiniinit, etyleeni, brassinosteroidit (Miransari & Smith, 2014) ja jasmonaatit (Xu ym., 2016).

Gibberelliini säätelee solujen perustoimintoja. Se osallistuu esimerkiksi solujen jakautumiseen, laajenemiseen ja erikoistumiseen sekä valkuaisaineiden ja nukleiinihappojen muodostamiseen. (Pankakoski, 2006, s. 121) Koornneefin & Karssenin (1994) mukaan Gibberelliini toimii itämistä hillitsevän abskissihapon vastavaikuttajana (Ali & Elozeiri, 2017, s. 150).

Abskissihappo hillitsee itämistä estämällä siemenen vedenottoa (Schopfer ym., 1979). Se on pääasiallinen siemenen dormanssia aiheuttava kasvihormoni (Liu ym., 2019). Abskissihappoa tarvitaan myös kasvin ilmarakojen toiminnan säätelyssä sekä kasvin stressireaktioissa (Tuteja, 2007).

Vaikka abskissihappo onkin tärkein dormanssia aiheuttava fytohormoni, myös auksiinilla on osuutensa dormanssin syntyyn (Liu ym., 2019). Lisäksi auksiinia tarvitaan solujen jakautumiseen, kasvuun ja erilaistumiseen (Pague & Weijers, 2016). Auksiini vaikuttaa juuriston kasvuun hillitsemällä pääjuurten kasvua, mutta lisäämällä hiusjuurten muodostumista (Alarcón ym., 2019).

Sytokiniinit puolestaan vaikuttavat juuriston kasvuun vähentämällä hiusjuurten määrää (Laplaze ym., 2007). Sytokiniinit osallistuvat solujen jakautumiseen ja sitä kautta alkion kehittymiseen. Ne vaikuttavat viherhiukkasten erilaistumiseen sekä viivästyttävät kasvin vanhenemista (Akhtar ym., 2020). Sytokiniinien on arveltu lieventävän dormanssia aiheuttavan abskissihapon vaikutuksia ja siten mahdollisesti parantavan itävyyttä (Guan ym., 2014). Ne myös säätelevät kasvin ravinnetasapainoa vaikuttamalla nitraatti-, fosfaatti- ja sulfaattikuljettajasolujen ilmentymiseen (Nam ym., 2012).

Etyleenillä on positiivinen vaikutus siemenen itämiseen epäsuotuisissa olosuhteissa, kuten liian korkeissa lämpötiloissa (Gallardo ym., 1991, s. 1), vähähappisissa oloissa (Huang ym., 2019) tai

osmoottisen stressin vallitessa (Wang ym., 2020). Etyleeni toimii stressitilanteissa stressihormonien tavoin (Miransari & Smith, 2014). Lisäksi se vaikuttaa kudosten kasvuun (Miransari & Smith, 2014) ja sillä on myös useita morfogeenisia vaikutuksia (Bleecker, 2000). Kuten gibberelliini ja sytokiniinit, myös etyleeni toimii dormanssia aiheuttavan abskissihapon vastavaikuttajana osallistumalla abskissihapon solusignaalointiin sekä aineenvaihdunnan säätelyyn (Corbineau ym., 2014).

Brassinosteroiditkin kumoavat osaltaan abskissihapon vaikutusta (Steber & McCourt, 2001) ja lisäksi ne säätelevät kasvua, solujen jakautumista sekä hypokotyylin eli alkeisvarren pituuskasvua.

Jasmonaatit ovat juuriston kasvuun, heteiden kehittymiseen ja kasvin vanhenemiseen vaikuttavia hormoneja (Gomi, 2020). Ne hillitsevät juuriston kasvua vähentämällä juurisolujen määrää, pienentämällä niiden kokoa sekä estämällä juuriston kasvusolukon jakautumista (Chen ym., 2011). Lisäksi jasmonaateilla on dormanssia vähentävä vaikutus (Xu ym., 2016).

### **3.5 Dormanssi**

Vaikka olosuhteet olisivat itämisen kannalta otolliset, ei siemen välttämättä dormanssin vuoksi siltikään idä. Dormanssin tarkoitus on estää siementä itämästä tähkässä tai epäsuotuisissa oloissa. (Laurila, 2018) Dormanssi voi olla primääristä tai sekundaarista. Primäärissä dormanssissa itämättömyyden syy on siemenen ominaisuuksissa, jolloin kyse voi olla itämistä estävistä entsyymeistä, kuten abskissihaposta, tai kasvuun tarvittavien entsyymien puutteesta. Siemenkuori voi olla liian kova alkion läpäistäväksi tai se voi olla vedenpitävä, jolloin alkio ei saa vettä kuoren läpi. Kuori voi olla myös hengittämätön, jolloin itäminen ei hapen puutteen vuoksi ole mahdollista. Sekundäärisessä dormanssissa puolestaan on kyse olosuhteiden aikaansaamasta itämättömyydestä. (Pham, 2017)

## 4 VILJAKASVIEN JUURISTO

### 4.1 Juuriston rakenne ja tehtävät

Viljakasveilla juuristo käsittää yleensä noin 10–20 % kasvin painosta (Fageria & Moreira, 2011, s. 252). Viljojen hajajuuristolla on 3–5 pääjuurta. Hajajuuristolla tarkoitetaan juuristoa, jossa ei ole yhtä paksua pääjuurta, vaan useita keskenään saman paksuisia juuria. (Myllys ym., 2014, ss. 23–27) Suurin osa viljakasvin juuristosta sijoittuu maaperässä yleensä maanpinnan ja 20 cm syvyyden välille (Fageria & Moreira, 2011, s. 252). Suoraan siemenestä lähtevät juuret ovat siemenjuuria, jotka kasvavat syvälle maahan tehtävänään turvata kasvin vesitalous. Ravintojuuret puolestaan kasvavat siemenjuuria ylempänä, ruokamultakerroksen tuntumassa. Niiden tehtävä on nimensä mukaisesti toimittaa kasville tarvittavia ravinteita. (Peltonen-Sainio ym., 2005, s. 15). Veden- ja ravinteidenoton lisäksi juuristo osallistuu kasvin hormonitoimintaan sekä kiinnittää kasvin lujasti maahan (Fageria & Moreira, 2011, s. 252).

### 4.2 Juuriston kehitys

Juuriston kehittymistä säätelevät pitkälti samat tekijät kuin itämistä. Olosuhteet ja perimä (Myllys ym. 2014, s. 16) sekä fytohormonit (Tanimoto, 2005) ovat oleellisia juuriston kehityksessä. Myös maanpäällisellä versolla ja auringonvalolla on merkitystä juuriston kasvun kannalta, sillä yhteyttämisprosessissa syntyvä sokeri siirtyy juuriin ja on osaltaan edellytys juuriston kasvulle (Kircher & Schopfer, 2012). Valon vaikutuksesta versossa syntyy myös auksiineja (Reed ym., 1998) sekä gibberelliiniä (Hisamatsu ym., 2005) eli kasvuhormoneja, jotka nekin siirtyvät juureen ja luovat omalta osaltaan perustan juuriston kehitykselle. (Gelderen ym., 2018)

### 4.3 Juuristo ja ravinteet

Ravinteet toimivat osana kasvin signaalijärjestelmää, joka säätelee molekyyllitason prosesseja. Nämä molekyyllitason prosessit säätelevät puolestaan solujen jakautumista ja erilaistumista juuressa vaikuttaen sitä kautta koko juuriston rakenteeseen. Ravinnepitoisuus juuren sisällä sekä

ympäröivässä maaperässä vaikuttaa esimerkiksi juurikarvojen, pääjuurten ja hiusjuurten muodostumiseen. Fytohormonit, kuten auksiini, gibberelliini ja etyleeni, säätelevät juuriston rakennetta vallitsevan ravinnetilanteen mukaan. Juuriston rakenne puolestaan vaikuttaa kasvin veden- ja ravinteidenoton tehokkuuteen. (López-Bucio ym., 2003)

Esimerkiksi tyrellä ja fosforilla on todettu olevan keskenään päinvastaiset vaikutukset sekä pääjuurten pituuskasvuun että hiusjuurten muodostumiseen. Pääjuurten pituuskasvu on osoitettu heikkenevän typen saatavuuden lisääntyessä, kun taas fosforin määrän lisääntyessä pääjuurten pituuskasvu voimistuu. Hiusjuurten tiheys pysyy tutkimusten mukaan vakiona riippumatta typen määrästä, mutta laskee lisättäessä fosforin määrää. Hiusjuurten pituuskasvu sen sijaan heikkenee sekä typen että fosforin runsaan saannin myötä. (Linkohr ym., 2002, s. 751)

Pitkät juuret, juuriston voimakas kasvu ja tiheet juurikarvat yhdessä varmistavat tehokkaan veden- ja ravinteidenoton kasvun alkuvaiheessa (Wang ym., 2016; ks. myös Lynch, 2013). Juurikarvoja kasvaa enemmän, jos ravinteita on riittävästi saatavilla. (Fageria & Moreira, 2011, s. 252) Pitkät juuret ovat yhteydessä verson korkeaan ravinnepitoisuuteen, jota pidetään tärkeänä kasvin myöhemmän kehityksen ja sadonmuodostuksen kannalta. (Wang ym., 2016)

#### **4.4 Juuriston kuiva-ainepitoisuus**

Kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa kasvin kasvuun ja ylipäänsä hengissä selviytymiseen (Birouste ym., 2013). Korkea kuiva-ainepitoisuus voi parantaa kasvin vastustuskykyä sekä pidentää kasvin elinaikaa. Korkean kuiva-ainepitoisuuden omaavien kasvien kasvu on kuitenkin pääsääntöisesti hidasta. (Hummel ym., 2006) Ryserin (2006) mukaan Craine ym. (2001) esittävät korkeaa kuiva-ainepitoisuutta esiintyvän usein kasveissa, jotka elävät stressaavissa olosuhteissa. Ravinteiden niukka saanti on stressitekijä, jonka on osaltaan havaittu nostavan kasvien kuiva-ainepitoisuutta (Ryser & Lambers, 1995).

Matalan kuiva-ainepitoisuuden omaavat kasvit puolestaan kasvavat nopeasti, ja nopeasti kasvava juuristo mahdollistaa tehokkaan ravinteidenoton. Samoin nopeasti kasvava lehtipinta-ala

mahdollistaa yhteyttämisen kannalta tärkeän, tehokkaan hiilensidonnän. Eissenstat (1991), Craine ym. (2002, 2005) sekä Tjoelker ym. (2005) toteavat matalan kuiva-ainepitoisuuden omaavien kasvien olevan kuitenkin herkkiä taudeille ja tuholaisille. Heidän mukaansa matala kuiva-ainepitoisuus on myös yhteydessä kasvin lyhyempään elinkaareen. (Ryser & Lambers, 1995).

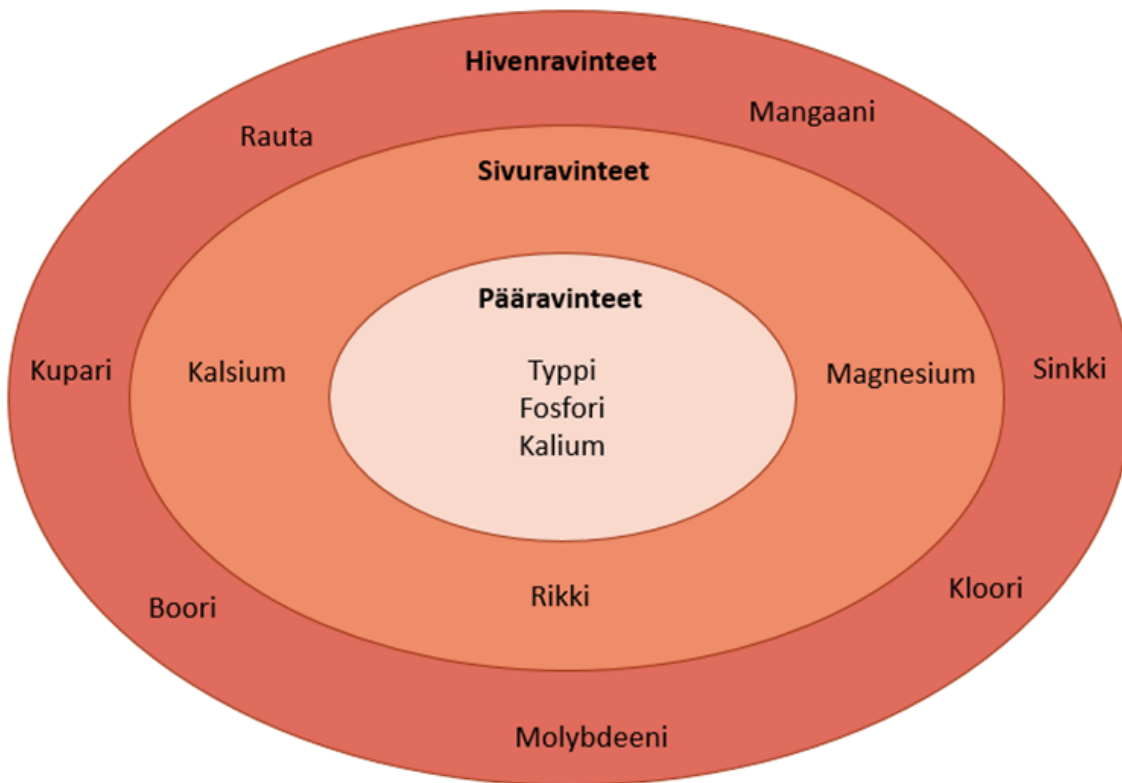
## 5 KASVIEN RAVINNETALOUS

### 5.1 Ravinteiden jaottelu pää- ja sivuravinteisiin

Kasvit tarvitsevat kasvaakseen ja yhteyttääkseen maassa olevia kivennäisaineita eli ravinteita (Pankakoski, 2006, s. 80). Ravinteet voidaan jaotella pää-, sivu- ja hivenravinteisiin sen mukaan kuinka paljon kasvit niitä tarvitsevat. Pää- ja sivuravinteita tarvitaan määrällisesti eniten. Pääravinteisiin lukeutuvat typpi, fosfori ja kalium, sivuravinteisiin puolestaan kalsium, magnesium ja rikki. (Alakukku ym., 2009, s. 9) Näiden hehtaarikohtainen tarve lasketaan kiloina, kun taas hivenravinteiden, joihin lukeutuvat rauta, mangaani, sinkki, kupari, molybdeeni, boori ja kloori, hehtaarikohtainen tarve lasketaan grammoina. Vaikka kasvi tarvitsee joitakin ravinteita enemmän kuin toisia, ovat kaikki ravinteet silti välttämättömiä eikä puuttuvaa ravinnetta voi korvata toisella. Jos jotakin ravinnetta on kasvin tarpeeseen nähden liian vähän, aiheuttaa se puutosoireita ja sadon alenemista. (Pankakoski, 2006, s. 80)

Kuva 1

Ravinteiden luokittelu pää-, sivu- ja hivenravinteisiin (kirjoittajan kuva).

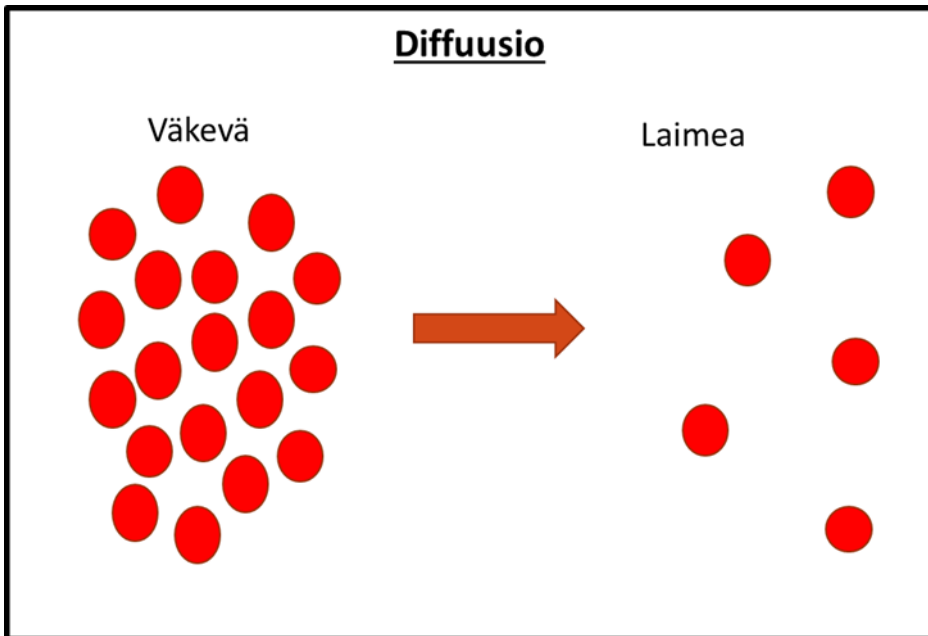


## 5.2 Kasvin ravinteidenotto

Ravinteet voivat siirtyä maaperässä kasvin juurten ulottuville joko massavirtauksen tai diffuusion avulla. Massavirtauksella tarkoitetaan kasvin haihdutusvirtauksen aikaansaamaa veden virtausta juuria kohti. Haihdutusvirtaus puolestaan syntyy kasvin haihduttaessa vettä ilmarakojen kautta, jolloin kasvin sisälle syntyy nestevirtaus. Diffuusiolla tarkoitetaan ionien siirtymistä väkevämmästä laimeampaan. Kun kasvi ottaa ravinteita maaperästä, ravinnepitoisuus juuren lähetyvillä laskee, jolloin maanesteen väkkyserot pyrkivät tasoittumaan ja ravinteita siirtyy diffuusion avulla jälleen lähemmäksi juurta. (Havlin & Nelson, 2013, ss. 40–41)

Kuva 2

Diffuusiolla maanesteen väkyyserot pyrkivät tasoittumaan (kirjoittajan kuva).



Kasvi ottaa ravinteita maanesteestä juurillaan pääasiassa sähköisesti varautuneina ioneina (Alakukku ym., 2009, s. 12). Ravinneionit siirtyvät maasta juurten soluseiniin diffuusion myötä ja soluseinistä edelleen solukelman läpi solulimaan (Pankakoski, 2006, ss. 83–84). Päästyään solulimaan ravinteet kulkeutuvat kasvin sisällä virtaavan veden mukana juurista maanpäällisiin osiin. Veden haihtuminen kasvista ilmarakojen kautta pitää yllä kasvin sisäistä nestevirtausta, jonka mukana ravinteet kulkeutuvat. Kärsiessään kuivuudesta kasvi sulkee ilmarakonsa ja nestevirtaus heikkenee, jolloin myös ravinteiden saanti heikkenee. Kasvi ottaa ravinteita pääsääntöisesti vain tarvettaan vastaavan määrän. (Alakukku ym., 2009, s. 12)

### 5.3 Ravinteidenottoon vaikuttavat tekijät

Vaikka maassa olisi paljon ravinteita, ne eivät silti automaattisesti ole kaikki kasvien hyödynnettävissä. Kasvien kykyyn hyödyntää ravinteita vaikuttaa pellon pH, maalaji sekä maan rakenne. (Alakukku ym., 2009, ss. 19–20) Lisäksi ravinteiden hyödynnettävyyteen vaikuttaa ravinneionien oma sähkövaraus ja maan kyky varastoida ravinteita eli kationinvaihtokapasiteetti.

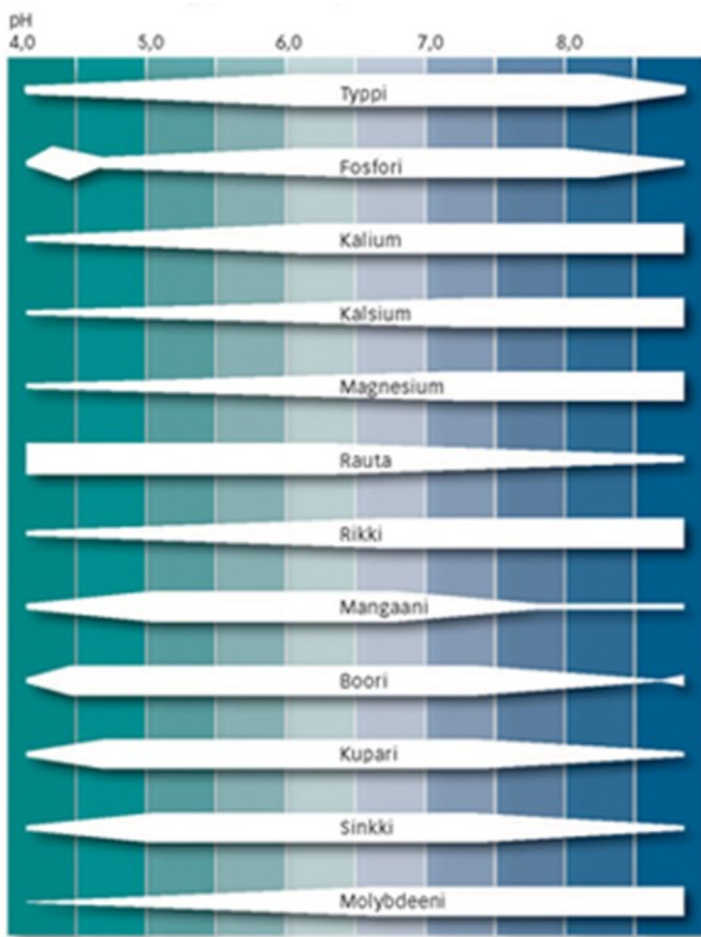
(Pankakoski, 2006, s. 82) Mikäli kasvin saatavilla ei ole riittävästi tarvittavia ravinteita tai niitä ei pystytä hyödyntämään tarpeeksi tehokkaasti, kasvin kasvu voi häiriintyä ja lehtiin tulla herkästi laikkuja ja viiruja, mikä taas on pois tehokkaasti yhteyttävästä lehtipinta-alasta ja näin ollen myös sadosta (Farmit, 2009a).

### **5.3.1 Maan pH**

Mahdollisuus hyödyntää ravinteita kasvin elintoimintoihin riippuu osaltaan siitä, kuinka liukoisessa muodossa ravinteet ovat. Tämä puolestaan riippuu maan pH-arvosta. Useimmat ravinteet ovat hyvin liukoisessa muodossa pH:n ollessa 6–6,5 ja silloin kasvi pystyy ne parhaiten hyödyntämään. Liian happamassa tai emäksisessä maassa ravinteet muuttuvat liukenemattomiksi yhdisteiksi eivätkä ole kasvin hyödynnettävissä. Poikkeuksena tästä ovat jotkin ravinteet kuten rauta, joka on liukoisimmassa muodossaan happamassa maassa tai molybdeeni, joka on liukoisimmillaan emäksisessä maassa. Pellon pH-arvoa voidaan nostaa kalkituksella. (Alakukku ym., 2009, s. 20)

Kuva 3

Ravinteiden liukoisuus maan eri pH-arvoilla (Farmit, n.d.-b).



### 5.3.2 Maalaji

Ravinteiden saatavuus on riippuvainen maalajista, sillä eri maalajeilla on erilainen kationinvaihtokapasiteetti eli kyky varastoida ravinteita (Farmit, 2016). Maahiukkaset ovat sähköiseltä varaukseltaan enimmäkseen negatiivisia, joten ne pidättävät sähkövaraukseltaan positiivisia ravinteita eli kationeja. Pidättyneiden ja maanesteeseen liuenneiden ionien välillä on tasapaino, jonka horjuessa tilanne korjaantuu joko pidättämällä maahiukkasten pinnalle lisää ravinneioneja, mikäli niitä esimerkiksi lannoituksen seurauksena on liikaa maanesteessä tai vaihtoehtoisesti ravinneioneja voi vapautua maahiukkasten pinnalta maanesteeseen esimerkiksi huuhtoutumisen seurauksena poistuneiden ionien tilalle. Tapahtuu siis ionien vaihtoa.

(Pankakoski, 2006, s. 82) Mitä enemmän maassa on hienojakoista kivennäisainesta, sitä enemmän siinä on ravinneioneja sitovaa hiukkaspintaa ja sitä suurempi on kationinvaihtokapasiteetti. Kationinvaihtokapasiteetin ollessa korkea ravinteet eivät pääse huuhtoutumaan maasta pois vaan ovat kasvien saatavilla. Sen sijaan karkeilla mailla kationinvaihtokapasiteetti on usein heikko, jolloin maa ei sido ravinneioneja ja ne pääsevät helposti huuhtoutumaan pois kasvin ulottuvilta. (Farmit, 2016)

### **5.3.3 Maan rakenne**

Maan rakenteen on oltava kunnossa, sillä kasvi ottaa ravintee pääasiassa juurillaan ja maan rakenne puolestaan vaikuttaa juuriston kehittymiseen. Jotta juuristo kasvaisi laajaksi ja tuuheaksi on maan oltava riittävän ilmava ja ravinteikas sekä kosteusolosuhteiden oltava kunnossa. Tiivistyneessä maassa juuret eivät saa tarpeeksi happea eivätkä kehity kunnolla. (Pankakoski, 2006, s. 40)

## 6 RAVINTEIDEN MERKITYS KASVILLE

Alla on esitetty tämän opinnäytetyön tutkimuksessa käytetyt ravinteet sekä niiden merkitys kasville.

### 6.1 Typpi

Kasvi tarvitsee typpeä valkuaisaineiden, lehtivihreän sekä muiden kasville tärkeiden ainesosien muodostamiseen. Sillä on merkittävä vaikutus kasvin aineenvaihduntaan, sillä typen puutteessa kasvi ei pysty valmistamaan riittävästi entsyymitoimintaan vaadittavia aminohappoja.

Puutteellinen entsyymitoiminta taas heikentää koko kasvin aineenvaihduntaa ja sitä kautta kasvin kasvua. Typpi on myös yhteyttämisen kannalta tärkeä ravinne, sillä se toimii yhteyttämisreaktiossa välttämättömän lehtivihreän rakennusosana. (Farmit, 2009b)

Typen liikkua kasvissa hyvin vanhoista lehdistä nuoriin näkyy puutos ensin vanhemmissa lehdistä. Vanhat lehdet muuttuvat ensin hailakan vihreiksi ja myöhemmin keltaisiksi, mikä vähentää yhteyttävää lehtipinta-alaa. Kasvu heikkenee ja lehdet varisevat pois. Sivuersoja ei juurikaan muodostu ja kasvi tuleentuu enneaikaisesti, jolloin sato jää pieneksi ja valkuaispitoisuus alhaiseksi. (Farmit, 2009b)

Typen puutteelle altistavat erityisesti hiekkaiset ja kevyet maalajit, alhainen multavuus, liian kuivat tai liian kosteat olosuhteet sekä korkean satopotentialin omaavat lajikkeet. (Farmit, 2009b)

Kuva 4

Typen puutos näkyy haalean vihreänä värinä sekä heikentyneenä kasvuna (Yara, n.d.-d).



## 6.2 Mangaani

Varsinkin mangaanin merkitys sadonmuodostukselle on suuri, sillä mangaanin puutteessa kasvi ei kykene hyödyntämään muitakaan ravinteita täysipainoisesti. Kasvi tarvitsee mangaania valkuaisainesynteesiin ja siten typen täysipainoinen hyödyntäminen edellyttääkin riittävää mangaaninsaantia. Myös viherhiukkaset tarvitsevat toimiakseen mangaania ja näin ollen mangaanin puute vaikuttaa yhteyttämiseen ja sitä kautta myös satoon negatiivisesti. (Yara, n.d.-a)

Mangaanin puutteen seurauksena juuriston kasvu kärsii, sillä juuriston kasvu on riippuvainen yhteyttämisestä. Jos viherhiukkasilla ei ole riittävästi mangaania saatavilla, yhteyttämisen prosessi heikkenee. Yhteyttämisen prosessissa taas syntyy sokereita, joita juuri tarvitsee kasvaakseen. Juuren kasvu kärsii, jos sokereita ei yhteyttämisen seurauksena synny riittävästi. (Kircher & Schopfer, 2012)

Mangaanin puutteen on havaittu olevan yhteydessä juurisolukon korkkiintumiseen. Korkkiintuessaan solukon veden ja ravinteiden läpäisykyky heikkenee. Mangaanin puutoksen ollessa lievää on korkkiintuminen vähäistä, jotta kasvi voi ottaa mangaania mahdollisimman tehokkaasti mahdollisimman laajalla juurialalla. Sen sijaan mangaanin puutoksen ollessa huomattavaa korkkiintuu juuri laajemmalta alueelta, jolloin veden- ja ravinteidenottokyky heikkenee. Juurisolukon korkkiintuminen huomattavassa mangaanin puutoksessa on kasvin keino estää jo imeytyneen mangaanin vuotaminen pois juurisolujen sisältä. (Chen ym., 2019)

Mangaanin liikkuvuus kasvissa on heikkoa, joten puutosoireet ilmenevät ensin nuorissa lehdissä. Vähäisempi mangaanin puutos näkyy vaaleana kasvustona, mutta pahemmassa puutostilassa lehdissä näkyy ruskean- tai harmaansävyisiä viiruja tai laikkuja. Mangaanin puutos ilmenee yleisimmin kauralla, jolla se tunnetaan harmaalaikkutautina. (Wilhelm & Davey, 2016)

Mangaanin puutosta esiintyy herkimmin pH:n ollessa korkea, sillä silloin mangaanin liikkuvuus maassa on heikkoa. Riski mangaanin puutokseen on suuri myös happipitoisilla lohkoilla, joilla mangaani hapettuu ja muuttuu kasveille vaikeammin hyödynnettävään muotoon. (Yara, n.d.-a)

Kuva 5

Mangaanin puutos aiheuttaa lehtiin ruskean- tai harmaansävyisiä laikkuja (Yara, n.d.-a).



### 6.3 Kupari

Viljat käyttävät kuparia viherhiukkasten, soluseinien sekä entsyymien rakennusaineena. Sitä tarvitaan yhteyttämiseen, typensidontaan, soluhengitykseen ja solujen energia-aineenvaihduntaan sekä hiilihyaatti- ja valkuaisainesynteesiin. (Yara, n.d.-b)

Kuparin puute ei useinkaan näy kasvustossa mitenkään, mikäli puute on vähäistä tai kohtuullista. Silti vähäinenkin puute voi alentaa satoa. Merkittävässä puutostilassa oireet ilmenevät ensin nuorimmissa lehdistä. Lehdet ovat kapeita ja vaalenevat ja niiden kärjet kellastuvat sekä kiertyvät. Korren kasvu voi olla heikkoa. Kasvuston kukinta jää vähäiseksi ja tähkän kehitys keskeneräiseksi, mikä johtaa pieniin tai jopa tyhjiin jyviin. Kauralla ja ohralla kuparin puutosoireet tunnetaan keltakärkitautina. (Yara, n.d.-b)

Koska kuparin liikkuminen maassa on vähäistä, on juurten päästävä kuparin luo. Siksi juurten huono kasvu johtaa herkästi kuparin puutteeseen. Myös maan korkea pH heikentää kuparin liukoisuutta, jolloin sitä on kasvin vaikea hyödyntää. (Yara, n.d.-b) Orgaaniseen ainekseen kupari sitoutuu tiukasti, joten eloperäisillä mailla viljat kärsivät herkästi kuparin puutteesta (Alakukku ym., 2009, s. 21). Samoin karkeilla kivennäismailla riski kuparin puutteeseen on suuri, sillä karkeiden maiden ravinnevarat ovat usein vähäiset ja ravinteet huuhtoutuvat herkästi (Yara, n.d.-b).

Kuva 6

Kuparin puutos näkyy kellastuneina ja kiertyneinä lehtien kärkinä (Farmit, n.d.-c).



#### 6.4 Boori

Boori on osallisena kasvin kasvussa, soluhengityksessä, solujen jakautumisessa ja erilaistumisessa (Jones, 2012, s. 23). Se toimii rakennusosana kasvin soluseinien rakenteissa, osallistuu solujen kasvuun ja jakautumiseen sekä valkuais- ja hiilihydraattiaineenvaihduntaan (Shireen ym., 2018). Boorilla on tärkeä osuus veden, ravinteiden ja sokereiden kuljetuksessa kasvin sisällä (Pommerrenig ym., 2019) sekä siitepölyn muodostumisessa ja siementen kehittämisessä (Xu ym., 2001).

Puutosoireet ilmenevät ensin nuorten lehtien vaalenemisena, sillä boori liikkuu viljakasveissa huonosti vanhoista lehdistä nuoriin. Kasvu heikkenee, korsi voi haurastua, lehdet voivat paksuuntua, nuutua, rypistyä ja vääntyä. (Havlin ym., 2013, ss. 287–288) Kukkia ja jyviä ei välttämättä muodostu (Jones, 2012, s. 30).

Kuivuus altistaa boorin puutokselle, koska kuivassa maassa boori on sitoutuneena maahiukkasiin eikä ole kasvin käytettävissä. Kuivissa olosuhteissa boori ei myöskään pääse juuren ulottuville heikentyneen diffuusion ja massavirtauksen vuoksi. Eloperäisillä mailla booripitoisuus on yleensä korkea, joten mitä vähemmän maassa on eloperäistä ainesta, sen suurempi on todennäköisyys boorin puutokselle. Korkean pH:n mailla boorin liukoisuus heikkenee ja riski puutokselle kasvaa. (Havlin ym., 2013, ss. 289–290)

Kuva 7

Boorin puute voi aiheuttaa kasvupisteiden kuolemisen (Yara, n.d.-e).



## 6.5 Magnesium

Magnesiumia tarvitaan lehtivihreän muodostumiseen, yhteyttämiseen, proteiinisynteesiin ja hiilihydraatti- sekä energia-aineenvaihduntaan (Cakmak & Yazici, 2010). Riittävä magnesiumin saanti edesauttaa kasvin typenottoa sekä sen hyödyntämistä. Lisäksi se suojaa kasvia liian kuumuuden ja valon aiheuttamalta stressiltä. (Cakmak, 2013)

Magnesiumin puutos aiheuttaa lehtiin nekroottisia laikkuja (Hermans & Verbruggen, 2005), jotka ilmenevät ensin vanhemmissa lehdissä (University of Missouri, 2011). Lisäksi puutos aiheuttaa juuren ja verson heikentynyttä kasvua (Hermans ym., 2010).

Magnesiumin puutosta ilmenee herkimmin happamilla ja karkeilla mailla, joilla on alhainen kationinvaihtokapasiteetti (Washington State University, n.d.). Myös runsas kaliumlannoitus aiheuttaa magnesiumin puutosta, sillä Dingin ym. (2006) mukaan runsaalla määrällä kaliumia on antagonistinen vaikutus kasvin magnesiumin hyödyntämiseen (Ding ym., 2008, s. 316).

#### Kuva 8

Magnesiumin puutos näkyy lehtien kärjistä alkavana reunojen kellertymisenä ja ruskeina laikkuina (Yara International, n.d.).



## 6.6 Sinkki

Sinkkiä kasvi tarvitsee muodostaakseen valkuaisaineita, kasvuhormoneja ja lehtivihreää. Sitä tarvitaan solukalvojen muodostumiseen sekä entsyymitoimintoihin. (Havlin ym., 2013, s. 270)

Merkkejä sinkin puutoksesta ovat erityisesti nuorissa lehdissä lehtisuonten väliset vaaleat alueet (Wilhelm & Davey, 2016). Lehdissä voi esiintyä kloroottisia laikkuja, joissa on kuollutta solukkoa. Lehdet ovat pieniä, paksuuntuneita sekä mahdollisesti epämuodostuneita ja ne putoavat ennenaikaisesti. (Havlin ym., 2013, s. 270) Korsi jää usein lyhyeksi ja satotaso matalaksi (Wilhelm & Davey, 2016).

Maan pH:n ollessa korkea sinkin liukoisuus heikkenee, joten korkea pH lisää puutosriskiä. Samoin eloperäisillä mailla sinkki on huonosti kasvin käytettävissä. Kylmä ja märkä sää altistavat puutokselle. (Havlin ym., 2013, ss. 272–273)

Kuva 9

Kloroottiset laikut ja lehtisuonten väliset vaaleat alueet ovat merkkejä sinkin puutoksesta (Yara, n.d.-f).



## 6.7 Rikki

Rikkiä tarvitaan aminohappojen muodostumiseen kasvissa (The sulphur institute, 2020). Lisäksi sitä tarvitaan koentsyymi A:n muodostamiseen, joka puolestaan on osallisena rasva- ja aminohapposynteesissä (Havlin ym., 2013, ss. 240–242). Myös lehtivihreän muodostumiseen tarvitaan rikkiä (The sulphur institute, 2020).

Kitukasvuisuus, hentokortisuus ja haalea väri voivat olla merkkejä rikin puutoksesta (Havlin ym., 2013, s. 242). Juuret voivat olla normaalia pidemmät (Jones, 2012, s. 82). Rikki liikkuu kasvissa huonosti, joten puutosoireet ovat ensimmäisenä havaittavissa nuorissa lehdissä (Zhao ym., 1998, s. 5). Rikin ja typen puutosoireet ovat keskenään hyvin samanlaisia ja voi olla vaikeaa erottaa kummasta on kyse (The sulphur institute, 2020).

Jos maassa on vähänlaisesti orgaanista ainesta tai matala pH, lisää se alttiutta rikin puutostilalle (Yara, n.d.-c). Kasvin juuret ottavat rikin sulfaattimuodossa (Havlin ym., 2013, s. 239). Puutosriskiä lisää liian märkä maa, joka hidastaa sekä rikin muuttumista sulfaatiksi että juurten kasvua. Myös alkukasvukauden nopea kasvuston kehittyminen yhdessä juuriston heikon kehityksen kanssa voivat johtaa rikin puutokseen. (Yara, n.d.-c)

## 6.8 Molybdeeni

Molybdeenilla on tärkeä osa kasvin entsyymitoiminnassa. Sitä tarvitaan kasvin aminohappo- ja valkuaisainesynteesiin, sillä molybdeeni toimii rakenneosana nitraattireduktaasi-entsyymissä. Nitraattireduktaasi-entsyymi puolestaan katalysoi nitraatin pelkistymistä nitriitiksi, joka pelkistyy edelleen ammoniumtypeksi. Ammoniumtyppi taas toimii aminohappojen ja valkuaisaineiden rakenneosana. (Farmit, 2009c) Molybdeeni on tärkeää myös rikin (Havlin ym., 2013, s. 297) ja raudan hyväksikäytölle kasvissa (Farmit, 2009c).

Vaalea lehtien väri, kitukasvuisuus, kuollut solukko lehtien reunoilla sekä kiertyneet lehdet voivat kertoa molybdeenin puutteesta (Havlin ym., 2013, s. 297). Puutosoireet muistuttavat typen puutosoireita ja ilmaantuvat ensin nuoriin lehtiin (Farmit, 2009c).

Maan alhainen pH on molybdeenin puutoksen riskitekijä, sillä pH:n ollessa matala on molybdeeni kasveille käyttökelvottomassa muodossa. Molybdeeni pidättyy herkästi rauta- ja alumiinioksidien pinnoille, joten mitä enemmän näitä oksideja löytyy maaperästä, sen vähemmän molybdeenia on kasvin käytettävissä. Puutosriskiä lisää myös hiekkaiset maat, joilla eloperäisen aineksen määrä on vähäinen ja ravinteet pääsevät huuhtoutumaan. (Havlin ym., 2013, ss. 297–298)

## 6.9 Natrium

Natriumia voidaan antaa kasveille hyvin pieninä määrinä edistämään aineenvaihduntaa ja lehtivihreän muodostumista. Natriumin saanti ei kuitenkaan ole kasveille välttämätöntä. (Bloodnick, 2018)

## 6.10 Aminohapot

Hivenravintetuotteiden lisäksi markkinoilla on myös tässä opinnäytetyössä käytettävä Bernerin aminohappovalmiste Aminosol. Kyseessä on lehtilannoite, joka sisältää paitsi typpeä, kaliumia, rikkiä ja natriumia, myös aminohappoja. (Viljelijän Avena Berner, n.d.-a)

Aminohapot ovat yhdisteitä, joita kasvi pystyy valmistamaan myös itse (Popko ym., 2018). Niitä tarvitaan esimerkiksi proteiinien, hiilihydraattien sekä lehtivihreän muodostumiseen (Lebosol, n.d.). Moe (2013), Watanabe ym. (2013), Zeier (2013), Fagard ym. (2014), Galili ym. (2014), Häusler ym. (2014) ja Pratelli & Pilot (2014) täsmentävät aminohapoilla olevan tärkeä rooli kasvin kasvussa ja kehityksessä, solunsisäisessä pH:n säätelyssä, energia-aineenvaihdunnassa ja stressinsietokyvyssä (Hildebrandt ym., 2015).

Vaikka Popkon ym. (2018) mukaan kasvi kykenee syntetisoimaan aminohappoja itse, Sauheitl ym., (2009) kirjoittavat Virtasen ja Linkolan (1946) todenneen kasvien pystyvän ottamaan aminohappoja maaperästä myös juurillaan. Kuten ravinteet, myös aminohapot siirtyvät maaperässä juuren ulottuville joko diffuusion tai massavirtauksen avulla. Aminohapot siirtyvät ravinteiden tavoin juuren pinnasta kuljettajasolujen avulla solukalvon läpi edelleen solun sisälle (Rentsch ym., 2007).

Popko ym. (2014), Paleckiene ym. (2007), Albion (1994), Maini (2006) ja Seadh ym. (2008) esittävät, että jos aminohapot voidaan saada kasvin ulottuville muodossa, jossa ne pystytään suoraan hyödyntämään, niiden valmistamiseen ei tarvitse kuluttaa energiaa. Heidän mukaansa aminohapposynteesissä säästetty energia voidaan tällöin käyttää kasvin muihin toimintoihin. (Popko ym., 2018) Tähän teoriaan perustuu myös tässä opinnäytetyössä tehty Aminosol-ravinnekäsittelykokeilu. Jos kasvi voi hyödyntää ravinnekäsittelyssä annetun aminohappolisän siemenen pinnasta, se voi mahdollisesti käyttää aminohapposynteesissä säästämänsä energian esimerkiksi kasvuun.

## 7 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tässä tutkimuksessa haluttiin juuria mittaamalla selvittää vaikuttaako kylvösiemenen ravinnekäsittely viljakasvien alkukehitykseen. Tarkoitus oli tutkia mitkä ovat ravinnekäsittelyiden mahdolliset vaikutukset verrattuna pelkän peittauskäsittelyn saaneeseen kylvösiemeneseen ja millä ravinnevalmisteilla mahdolliset vaikutukset ovat havaittavissa. Tutkimuksessa keskityttiin ravinnekäsittelyn vaikutuksiin kasvin juuriston alkukehityksessä, sillä oletettavasti kylvösiemenen ravinnekäsittelyssä käytetyt ravinnemäärät ovat niin pieniä, että kasvi ehtii käyttää ravinteet jo kasvun alkutaipaleella.

Tutkimus oli kokeellinen, kvantitatiivinen tutkimus, joka toteutettiin ensin laboratorio-olosuhteissa idätyspaperilla ja sen jälkeen kasvihuoneolosuhteissa turve-hiekkaseoksessa. Ravinnekäsittelyn vaikutuksia mitattiin tietokoneohjelmalla juuristoista otetuista valokuvista juuriston pituuden, kaksikulotteisen pinta-alan, tilavuuden, juurten keskimääräisen halkaisijan sekä juurten lukumäärän osalta. Lisäksi juuristoista tehtiin kuiva-ainemääritys. Ravinnekäsitteltyjen näytteiden juuristoja verrattiin pelkän peittauskäsittelyn saaneisiin näytteisiin. Sekä idätyspaperi- että kasvihuonekokeessa käytettiin lajikkeena tasakokoiseksi seulottua, kaksitahoista Fennica-ohraa.

Idätyspaperikokeessa kylvösiemenen käsittely toteutettiin neljällä eri ravinneliuoksella ja perinteisesti peitatulla verrokkikäsittelyllä. Jokaista viittä käsittelymenetelmää kohti idätettiin 10 näytettä, jolloin idätettyjen näytteiden kokonaismäärä idätyspaperikokeessa oli 50 näytettä.

Kasvihuonekokeeseen valittiin kaksi ravinnekäsittelyä idätyspaperikokeesta saatujen tulosten perusteella. Lisäksi verrokkikäsittelynä käytettiin perinteistä peittausta. Kaikkia kolmea eri käsittelyä kylvettiin kasvihuoneelle turve-hiekkaseokseen 20 siementä. Yhteensä kasvihuonekoetta varten kylvettiin siten 60 siementä.

## 7.1 Kuvankäsittelyohjelmat

Juuristoista otetut valokuvat käsiteltiin ImageJ-ohjelmalla ja sen lisäosana toimivalla SmartRoot-ohjelmalla.

## 7.2 ImageJ

ImageJ on tieteellisiin käyttötarkoituksiin kehitetty avoimen lähdekoodin kuvankäsittelyohjelma (ImageJ, 2018). Se käsittää lukuisia kuvankäsittelyssä tarpeellisia toimintoja ja lisäosia. Tässä tutkimuksessa ImageJ:tä käytettiin kasvihuoneella kasvaneiden kasvien juuristojen pinta-alojen mittaamiseen. Kaikista tarjolla olevista ohjelmista valittiin ImageJ, koska ohjelman laajan tutkimuskäytön ansiosta sen käyttäjätuki todettiin heti alussa monipuoliseksi.

Plaza-Bonilla ym. (2012) ovat kehittäneet menetelmän juurien pinta-alan mittaamiseen käyttäen ImageJ:tä ja saaneet tuloksia, jotka vastasivat hyvin referenssimittausta. Heidän kehittämänsä pinta-alanmittausmenetelmä vastaa suurelta osin tässä opinnäytetyössä käytettyä menetelmää.

Plaza-Bonilla ym. (2012) käyttivät ImageJ:tä maanäytteistä erotettujen ohran juurien pinta-alan määrittämiseen. Juuret skannattiin ja skannatuista kuvista erotettiin juuri taustasta ImageJ:n threshold-toiminnolla. Sen jälkeen juuren pinta-ala voitiin määrittää analyze particles-toiminnolla. (Plaza-Bonilla ym., 2012)

Referenssimenetelmänä käytettiin lineaarista leikkausmenetelmää, jossa juurinäytteet värjättiin kongonpunaisella elävien ja kuolleiden juurien erottamiseksi toisistaan. Juuret levitettiin suodatinpaperille ja peitettiin 1x1 cm ritilällä. Juurien ja ristikon keskinäiset leikkauspisteet laskettiin 25 satunnaisesti valitun neliön sisällä. Juuripituus määritettiin kaavalla  $L = (\sum A/2 * l) * i$ , jossa A on suodatinpaperin pinta-ala, l ristikon kokonaispituus ja i leikkauspisteiden lukumäärä. (Plaza-Bonilla ym., 2012)

Sekä ImageJ:llä että referenssimenetelmällä tehtyjen mittausten tulokset suhteutettiin kuivan maa-aineksen tilavuuteen (cm<sup>3</sup> maata). ImageJ:llä tehdyistä pinta-alamittauksista laskettiin juurien

kokonaispinta-ala maaperän tilavuusyksikköä kohti kaavalla  $S/V$ , jossa  $S$  tarkoittaa juurten pinta-alaa ja  $V$  maaperän tilavuutta. Tulos esitettiin neliösenttimetreinä yhtä maa-aineskuutiosenttimetriä kohden. Referenssimittauksille puolestaan laskettiin juurien kokonaispituus maaperän tilavuusyksikköä kohti kaavalla  $L/V$ , jossa  $L$  on juurten pituus ja  $V$  maaperän tilavuus. Tulos esitettiin senttimetreinä yhtä maa-aineskuutiosenttimetriä kohden. (Plaza-Bonilla ym., 2012)

ImageJ:llä mitatuista kuvista saadut juurten kokonaispinta-alat korreloivat voimakkaasti referenssimittauksista saatujen juurten kokonaispituuksien kanssa ( $R^2 = 0,77$ ) (Plaza-Bonilla ym. 2012). Koska tässä opinnäytetyössä käytetty kuvankäsittelymenetelmä on pitkälti sama kuin Plaza-Bonillan ym. (2012) tutkimuksessa, voitiin ImageJ:llä olettaa saatavan luotettavia mittaustuloksia myös opinnäytetyön osalta.

### 7.3 SmartRoot

Idätyspaperikokeessa juurten mittaamiseen käytettiin ImageJ-ohjelman lisäosana toimivaa SmartRoot-ohjelmaa. Se on ilmaisohjelma, joka on kehitetty juurten analysoimista varten. (SmartRoot, n.d.) Käytettäväksi ohjelmaksi valittiin SmartRoot ohjelman monipuolisuuden ja hyvän käyttäjätuen vuoksi.

Ohjelmalla voidaan mitata juuria valokuvista edellyttäen, että kuvat muunnetaan ensin 8-bittisiksi mustavalkokuviksi (SmartRoot User Guide, 2014, s.14). SmartRootilla voidaan mitata valokuvasta juurten pituus ja halkaisija sekä pinta-ala ja tilavuus. Lisäksi ohjelmalla voidaan mitata juurten juurikulmaa ja juurikarvojen tiheyttä. (SmartRoot, n.d.) SmartRoot käyttää kuvien pikselitietoa eri ominaisuuksien mittaamiseen. Valokuvista tulee pystyä määrittämään pikseleiden ja halutun mittayksikön suhde eli esimerkiksi montako pikseliä on yksi senttimetri. Kun suhde on määritetty, antaa SmartRoot juurten mitat suoraan halutussa yksikössä. (SmartRoot User Guide, 2014, s. 30)

Esimerkiksi juuriston kuvantamismenetelmiä tutkineet Le Marié ym., (2014) ovat todenneet SmartRootilla voitavan arvioida tarkasti juuriston kehittymistä. He totesivat SmartRootilla tehdyillä

juurten pituusmittauksilla olevan korkea toistettavuus ja lisäksi vahva korrelaatio WinRhizo-ohjelmalla tehtyjen juurimittausten kanssa. Huolimatta siitä, että SmartRoot on puoliautomaticoitu ohjelma, todettiin tässä tutkimuksessa ohjelman haittapuolena SmartRootin vaativan kuitenkin käyttäjältä paljon manuaalista työtä. (Le Marié ym., 2014)

#### 7.4 Koesiementen käsittely

Taulukossa 1 (Taulukko 1) on esitetty siementen käsittelyissä käytetyt ravinneliuokset sekä niiden sisältämät ravinteet. Siementen käsittelyyn on käytetty tuotekohtaisten ohjeiden mukaisia ravinnemääriä. Aminosol-ravinnelisälle ei löytynyt ohjemäärää kylvösiemenen käsittelyyn, sillä Aminosol on tarkoitettu ruiskutettavaksi lehtilannoitteeksi. Tässä opinnäytetyössä Aminosolille on laskettu käyttömäärä typen perusteella. Käyttömäärä on laskettu siten, että siemenen samaa typpimäärä on samaa luokkaa kuin Gramitrellilla.

##### Taulukko 1

Opinnäytetyössä käytetyt ravinnevalmisteet sekä niiden sisältämät ravinnemäärät grammoina litraa kohti (Viljelijän Avena Berner, n.d.-a; Viljelijän Avena Berner, n.d.-b; Yara, 2020b; Yara, n.d.-g).

| Valmisteiden sisältämät ravinteet g/l |     |      |     |      |      |      |      |                  |      |                  |
|---------------------------------------|-----|------|-----|------|------|------|------|------------------|------|------------------|
|                                       | N   | Mn   | Mg  | Cu   | Zn   | S    | Mo   | K <sub>2</sub> O | Na   | Orgaaninen aines |
| <b>Mantrac Pro</b>                    | 69  | 500  | –   | –    | –    | –    | –    | –                | –    | –                |
| <b>Wuxal Terios Mn+</b>               | 67  | 40,1 | –   | 20,1 | 13,4 | 10,3 | 1,34 | –                | –    | –                |
| <b>Gramitrell</b>                     | 64  | 150  | 150 | 50   | 80   | –    | –    | –                | –    | –                |
| <b>Aminosol</b>                       | 116 | –    | –   | –    | –    | 3,2  | –    | 14               | 15,2 | 818,2            |

Koesiemenenä käytettiin tasakokoisiksi seulottuja 2,75 mm-3,00 mm siemeniä. Siemenet käsiteltiin pienissä, 5 gramman erissä, sillä kokeita varten tarvittava siemenmäärä oli hyvin pieni. Koska kerralla käsiteltävä siemenmäärä oli niin vähäinen, olivat myös ravinteiden käyttömäärät

erittäin pieniä, minkä vuoksi ravinteita täytyi laimentaa vedellä tasaisen lopputuloksen aikaansaamiseksi. Ravinteiden osuudet käyttöliuoksista on esitetty taulukoissa 2 ja 3 (Taulukko 2 ja Taulukko 3).Taulukko 2

Ravinteiden osuus prosentteina käyttöliuoksesta idätyspaperikokeessa kullakin ravinnevalmisteella (MyWuxal, n.d.; Viljelijän Avena Berner, n.d.-a; Yara, 2020b; Yara, n.d.-g).

Taulukko 2

Ravinteiden osuus prosentteina käyttöliuoksesta idätyspaperikokeessa kullakin ravinnevalmisteella (MyWuxal, n.d.; Viljelijän Avena Berner, n.d.-a; Yara, 2020b; Yara, n.d.-g).

| Valmisteiden sisältämät ravinteet % käyttöliuoksesta idätyspaperikokeessa |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |                  |                                  |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------------------|----------------------------------|
|   | N    | Mn   | Mg   | Cu   | Zn   | S    | Mo   | K <sub>2</sub> O | Na   | Orgaaninen aines | Käyttöliuos $\mu$ l/1 g siementä |
| <b>Mantrac Pro</b>  | 1,17 | 8,50 | –    | –    | –    | –    | –    | –                | –    | –                | 12,50                            |
| <b>Wuxal Terios Mn+</b>   | 0,72 | 0,43 | –    | 0,22 | 0,14 | 0,11 | 0,01 | –                | –    | –                | 14,40                            |
| <b>Gramitrel</b>  | 1,28 | 3,00 | 3,00 | 1,00 | 1,60 | –    | –    | –                | –    | –                | 15,00                            |
| <b>Aminosol</b>   | 1,37 | –    | –    | –    | –    | 0,04 | –    | 0,17             | 0,18 | 9,67             | 14,94                            |

Taulukko 3

Ravinteiden osuus prosentteina käyttöliuoksesta kasvihuonekokeessa kullakin ravinnevalmisteella (Yara, 2020b; Yara, n.d.-g).

| Valmisteiden sisältämät ravinteet % käyttöliuoksesta kasvihuonekokeessa |      |      |      |      |      |                                  |
|---|------|------|------|------|------|----------------------------------|
|   | N    | Mn   | Mg   | Cu   | Zn   | Käyttöliuos $\mu$ l/1 g siementä |
| <b>Mantrac Pro</b>  | 1,01 | 7,31 | –    | –    | –    | 15,00                            |
| <b>Gramitrel</b>  | 1,28 | 3,00 | 3,00 | 1,00 | 1,60 | 15,00                            |

Taulukko 4

Idätyspaperikokeessa käytetyt ravinnevalmisteiden käyttömäärät sekä laimennussuhteet.

| Idätyspaperikokeen ravinnevalmisteiden käyttömäärät |                          |                      |                     |                                  |                           |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Aine  | Käytetty määrä ml/100 kg | Käytetty määrä µl/1g | Laimennusvesi µl/1g | Peittäusaine laimennettuna µl/1g | Nestemäärä yhteensä µl/1g |
| <u>Peittäusaine Celest Trio</u>                     | 200                      | 2                    | 6                   | -                                | 8                         |
| <u>Mantrac Pro</u>                                  | 250                      | 2,5                  | 10                  | 8                                | 20,5                      |
| <u>Wuxal Terios Mn+</u>                             | 160                      | 1,6                  | 12,8                | 8                                | 22,4                      |
| <u>Gramitrel</u>                                    | 300                      | 3                    | 12                  | 8                                | 23                        |
| <u>Aminosol</u>                                     | 166                      | 1,66                 | 13,28               | 8                                | 22,94                     |

*Selite.* Käyttömäärät on ilmoitettu sekä tilatason mittakaavassa millilitroina 100 kiloa kohden että laboratoriomittakaavassa mikrolitroina yhtä grammaa kohden.

Taulukko 5

Kasvihuonekokeessa käytetyt ravinnevalmisteiden käyttömäärät sekä laimennussuhteet.

| Kasvihuonekokeen ravinnevalmisteiden käyttömäärät |                          |                      |                     |                                  |                           |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Aine  | Käytetty määrä ml/100 kg | Käytetty määrä µl/1g | Laimennusvesi µl/1g | Peittausaine laimennettuna µl/1g | Nestemäärä yhteensä µl/1g |
| Peittausaine <u>Celest Trio</u>                   | 200                      | 2                    | 21                  | -                                | 23                        |
| <u>Mantrac Pro</u>                                | 250                      | 2,5                  | 12,5                | 8                                | 23                        |
| <u>Gramitrel</u>                                  | 300                      | 3                    | 12                  | 8                                | 23                        |

*Selite.* Käyttömäärät on ilmoitettu sekä tilatason mittakaavassa millilitroina 100 kiloa kohden että laboratoriomittakaavassa mikrolitroina yhtä grammaa kohden.

Siemenet käsiteltiin pienissä lasipulloissa magneettisekoittajan avulla. Magneetin sekoittaessa siemeniä lasipullossa annosteltiin pipetillä ensin ravinne, jonka jälkeen annosteltiin vielä peittausaine. Verrokkisiemen käsiteltiin pelkällä peittausaineella ilman ravinnetta. Peittausaineena käytettiin kaikissa käsittelyissä Celest Trioa.

Kuva 10

Koesiementen ravinne- ja peittauskäsittely lasipulloissa magneettisekoittajalla (kirjoittajan kuva).



## 7.5 Idätyspaperikoe

Ensimmäisenä perustettiin laboratoriokoe, jossa ravinnekäsiteltyjä siemeniä idätettiin idätyspaperin ja muovin välissä niin, että paperi oli pystyasennossa ja juuret kasvoivat siten suoraan alaspäin. Koe toteutettiin menetelmällä, jonka Takkinen (2020, ss.21–24) kehitti omaa opinnäytetyötään varten. Juuret kuvattiin päivittäin ja niistä tarkasteltiin juurten pituutta, 2-ulotteista pinta-alaa, tilavuutta, lukumäärää sekä halkaisijaa. Esimerkkikuvat jokaiselta kuvauspäivältä on esitetty liitteessä 1.

### 7.5.1 Kylvö

Taulukossa 6 (Taulukko 6) on esitetty idätyspaperikokeessa käytetyt kylvösiemenen käsittelyt ja taulukossa 4 (Taulukko 4) ravinnevalmisteiden käyttömäärät sekä laimennussuhteet. Kaikilla neljällä ravinneliuoksella käsiteltiin peittauksen yhteydessä 10 siementä ja samoin pelkällä peittausaineella 10 siementä. Yhteensä näytteitä oli siis 50 kappaletta, mutta koska kaikista käsittelyistä peittauskäsittelyä lukuun ottamatta jäi yksi siemen itämättä, oli kokonaisnäytemäärä lopulta 46 siementä.

#### Taulukko 6

Idätyspaperikokeessa käytetyt kylvösiemenen käsittelyt sekä kylvettyjen ja itäneiden näytteiden lukumäärät.

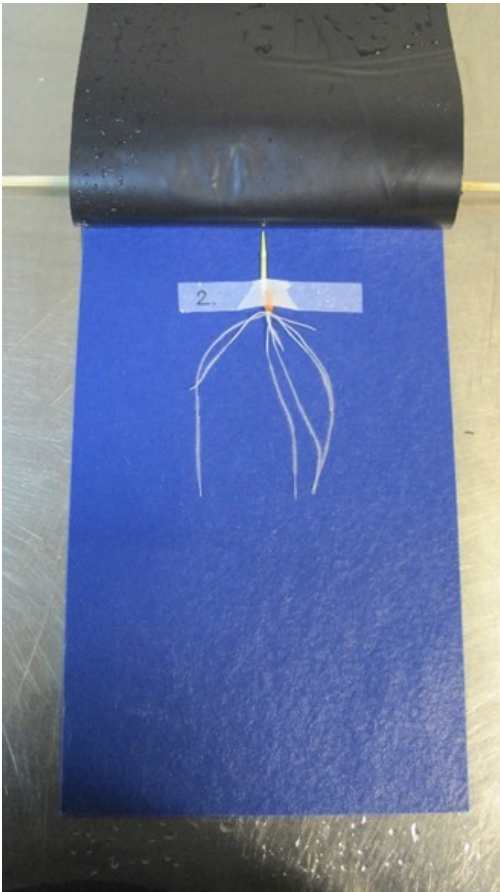
| Idätyspaperikokeen käsittelyt      |                       |                      |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Käsittely                          | Kylvetyt näytteet kpl | Itäneet näytteet kpl |
| Peittaus                           | 10                    | 10                   |
| Peittaus + <u>Mantrac Pro</u>      | 10                    | 9                    |
| Peittaus + <u>Wuxal Terios Mn+</u> | 10                    | 8                    |
| Peittaus + <u>Gramitrel</u>        | 10                    | 10                   |
| Peittaus + <u>Aminosol</u>         | 10                    | 9                    |

Koesiemenet käsiteltiin ravinneliuoksilla ja peittausaineella saman päivän aamuna, jolloin koe aloitettiin. Muovilaatikon pohjalle laitettiin 10 cm vettä ja idätyspaperit, joihin käsitellyt siemenet oli teipattu kangasteipillä kiinni, kasteltiin sumutuspullolla kauttaaltaan märäksi ja ripustettiin bambukeppien varassa roikkumaan laatikkoon niin, että idätyspaperin alareunasta 6 cm oli vedessä. Näytteet olivat laatikossa sattumanvaraisessa järjestyksessä. Jotta valkoinen juuri erottuisi

taustasta mahdollisimman selvästi, käytettiin sinistä idätyspaperia tavanomaisen valkoisen idätyspaperin sijaan.

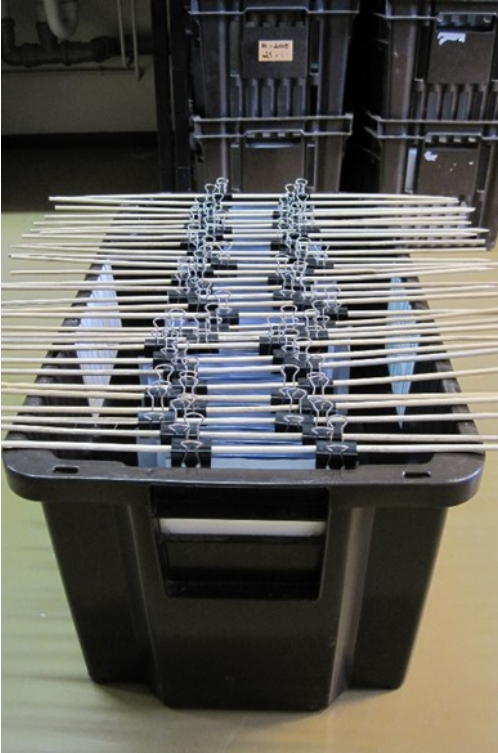
Kuva 11

Juurinäytteet idätettiin muovin ja idätyspaperin välissä (kirjoittajan kuva).



Kuva 12

Idätyspaperikokeen näytteet järjestettynä muovilaatikkoon (kirjoittajan kuva).



### 7.5.2 Olosuhteet

Siemenet laitettiin itämään perjantaina ja ne vietiin viikonlopuksi +4 asteen kylmiöön, jotta juuret eivät kasvaisi vielä viikonlopun aikana. Kolmantena päivänä itämälaitosta idätyspaperikoe siirrettiin +10 asteen kylmiöön, jotta itämisessä ei kestäisi kohtuuttoman kauaa. Koetta haluttiin kuitenkin säilyttää viileässä koko ajan, jotta juuret eivät kasvaisi liian nopeasti, jolloin jokin tärkeä ero eri käsittelyjen välillä olisi saattanut jäädä huomaamatta. Neljäntenä päivänä itämaan laitosta näytteissä oli näkyvissä ensimmäiset juuret ja kuvaaminen aloitettiin.

### 7.5.3 Valokuvaaminen

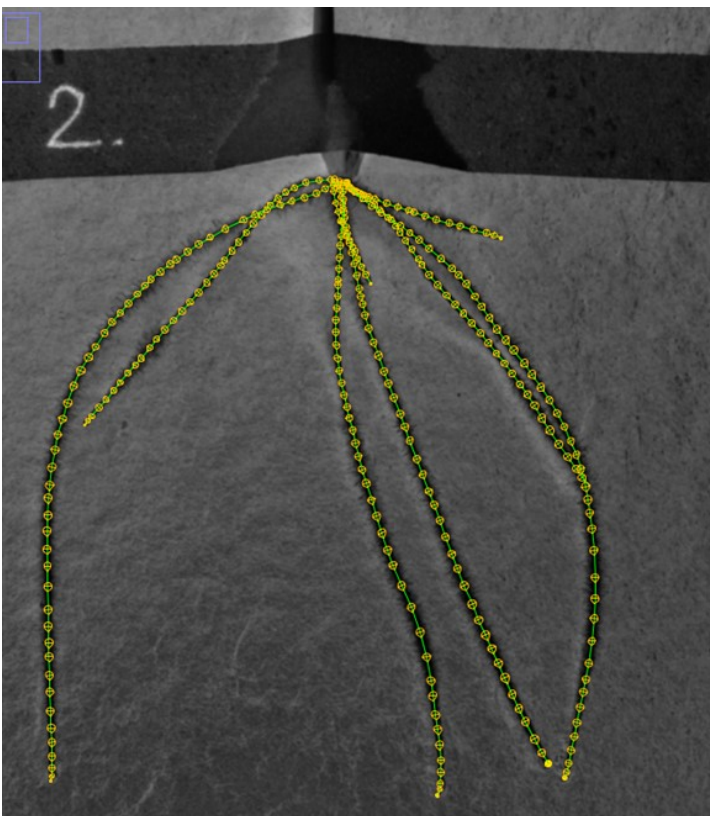
Kuvaaminen suoritettiin Nikon D3300-järjestelmäkameralla asetuksilla ISO-luku 200, valotusaika 1/40 sekuntia ja f-luku 6.3. Lisäksi kamerassa käytettiin erillistä makrosalamaa kuudenteen

kuvauspäivään asti. Makrosalamasta aiheutui kuitenkin heijastus keskelle paperia. Kun juuret kasvoivat heijastuksen kohtaan, oli makrosalamasta luovuttava, sillä juurten mittojen määrittämisessä olisi saattanut ilmetä ongelmia heijastuskohdissa. Kaikki näytteet kuvattiin kerran päivässä, aina samaan aikaan vuorokaudesta. Juuret mahtuivat kasvamaan idätyspaperilla 9 kuvauspäivää, jonka jälkeen kuvaaminen lopetettiin juurten kasvettua ulos paperilta.

Juurikuvat käsiteltiin SmartRoot-ohjelmalla, jolla jokaisesta juuresta pystyttiin määrittämään pituus, pinta-ala, tilavuus, halkaisija ja näytekohtainen juuriston juurten lukumäärä.

Kuva 13

Juuret piirrettyinä SmartRoot-ohjelmalla (kirjoittajan kuva).



*Selite.* Vihreä viiva juuren keskellä mittaa pituutta ja keltaiset pallot mittaavat juuren halkaisijaa.

## 7.6 Kasvihuonekoe

Kasvihuonekokeessa ravinnekäsittelyt siemenet kylvettiin kasvihuoneelle muovilaatikoihin, joiden yksi sivu oli läpinäkyvää akryylilevyä. Laatikoita säilytettiin telineessä, jossa ne olivat 45 asteen kulmassa akryylipuoli lattiaa kohti, jolloin juuret hakeutuivat kasvaessaan automaattisesti akryyliin kiinni. Juuria valokuvattiin akryylilevyn läpi 19 vuorokauden ajan kahdesti viikossa ja kuvista määritettiin juuristojen pinta-alat eri ravinnekäsittelyillä. Liitteessä 2 on esitetty jokaista kuvauskertaa edustava juurinäyte sekä verson kuva ja kasvuaste Zadoksin asteikon mukaan.

Akryylilevyn taakse, akryylin ja maa-aineksen väliin asennettiin musta vuorisilkkikangas, jotta valokuvissa juuri olisi mahdollista erottaa mahdollisimman helposti taustasta. Vuorisilkki läpäisee veden ja ravinteet, jolloin juuri sai kankaan läpi vettä ja ravinteita maa-aineksesta.

Ajatus kankaan lisäämisestä akryylilevyn ja maa-aineksen väliin syntyi tutkimuksesta, jossa Passot ym. (2016) tutkivat helmihirssin juuriston rakennetta kyseisellä menetelmällä. Passot ym. (2016) totesivat maa-aineksella täytetyissä pleksilaatikoissa kankaan ja pleksin välissä kasvatettujen helmihirssien juuristojen kehitysrytmin olevan samaa luokkaa kuin luonnollisissa olosuhteissa. Pleksilaatikkomenetelmällä pystyttiin SmartRoot-ohjelmalla määrittämään helmihirssin juurten pituus sekä juurihaarojen asento ja juurikulma (Passot ym. 2016).

### 7.6.1 Kylvö

Kasvihuonekokeessa käytettiin kahta idätyspaperikokeessa suurimman juuriston pituuden, pinta-alan ja tilavuuden kasvattanutta ravinnekäsittelyä, Mantracia ja Gramitrelia. Lisäksi kylvettiin pelkällä peittäusaineella käsitellyt verrokkisiemenet. Käytetyt käsittelyt on esitetty taulukossa 7 (Taulukko 7) ja käytetyt ravinnevalmisteiden määrät sekä laimennussuhteet puolestaan taulukossa 5 (Taulukko 5). Jokaista käsittelyä kylvettiin yhteensä 20 siementä, jolloin kylvettyjen näytteiden kokonaismäärä oli 60. Kasvatuslaatikoiden rajallisen määrän vuoksi koe jouduttiin kuitenkin toteuttamaan kolmessa osassa. Yhdellä kerralla kylvettiin 20 siementä. Kaikissa kolmessa kylvöerässä käytettiin kaikkia kolmea käsittelymenetelmää.

## Taulukko 7

Kasvihuonekokeessa käytetyt käsittelyt sekä kylvettyjen ja itäneiden näytteiden lukumäärät.

| Kasvihuonekokeen käsittelyt   |                       |                      |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Käsittely                     | Kylvetyt näytteet kpl | Itäneet näytteet kpl |
| Peittaus                      | 20                    | 17                   |
| Peittaus + <u>Mantrac Pro</u> | 20                    | 19                   |
| Peittaus + <u>Gramitrel</u>   | 20                    | 18                   |

Jokaiseen laatikkoon punnittiin 4280 g Kekkilän turve-hiekkaseoksesta koostuvaa taimiseosta. Täyttövaiheessa laatikoihin ei vielä ollut asennettu akryylilevyä, jotta laatikon täyttäminen turve-hiekkaseoksella sujuisi helposti. Akryylilevyn reunoihin kiinnitettiin musta teippi, jotta reunoista ei heijastuisi valoa laatikon juuritilaan. Vuorisilkistä leikattiin laatikon kokoinen pala, johon siemen teipattiin kiinni mustalla teipillä. Siemenelle mitattiin kankaan yläreunasta tarkka kohta siten, että kylvösyvyudeksi tuli 3,5 cm taimiseoksen pinnasta. Kankaaseen tehtiin reiät akryylilevyn pulttien kohdalle ja kangas pingotettiin akryyliä vasten pulttien varaan. Sen jälkeen akryylilevy kiinnitettiin muovilaatikkoon ja kylvö oli valmis.

Taulukko 8

Kasvihuonekokeessa käytetyn taimiseoksen tuoteseloste (Kekkilä, n.d.)

|   |
|---|
| <b>Kekkilän Taimiseos W HS R8030</b>  |
| <b>Raaka-aineet:</b> vaalea rahkaturve, hiekka, hietasavi   |
| <b>Seulonta:</b> <20 mm   |
| <b>pH:</b> 5,9  |
| <b>Lisätty:</b> kalkki (Ca, Mg) 3,0 kg/m <sup>3</sup><br>KS 1 (NPK 15-5-24, N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O 15-12-29) 0,9 kg/m <sup>3</sup><br>Humistar (humushappo 16,5%, fulvohappo 3,3%) 200g/m <sup>3</sup><br>Kostutusaine AquaGro 2000 M 0,04l/m <sup>3</sup> |
| <b>Vesiliukoinen typpi:</b> 800 mg/kg kuiva-ainetta   |
| <b>Liukoinen fosfori:</b> 300 mg/kg kuiva-ainetta   |
| <b>Liukoinen kalium:</b> 1200 mg/kg kuiva-ainetta   |

### 7.6.2 Olosuhteet

Kylvetyt laatikot asetettiin omaan, varta vasten rakennettuun telineeseensä ja vietiin kasvihuoneeseen. Kasvihuoneeseen asennettiin kylvetyille laatikoille kaksi omaa suurpainenatriumvaloa. Yhden lampun valoteho oli 400 W ja päivän valojakson pituus 16 tuntia. Kasvit kasteltiin ensimmäisen kuuden päivän ajan joka päivä 2,5 desilitralla puhdasta vettä. Kun laatikoihin oli saatu sopiva peruskosteus, voitiin kastelua vähentää. Ensimmäisten kuuden päivän jälkeen kasvit kasteltiin kahdesti viikossa aina valokuvauksen jälkeen 1 desilitralla puhdasta vettä. Olosuhteet kasvihuoneessa pyrittiin vakioimaan mahdollisimman tasaisiksi ja samanlaisiksi kaikkien kolmen kasvatuserän kesken.

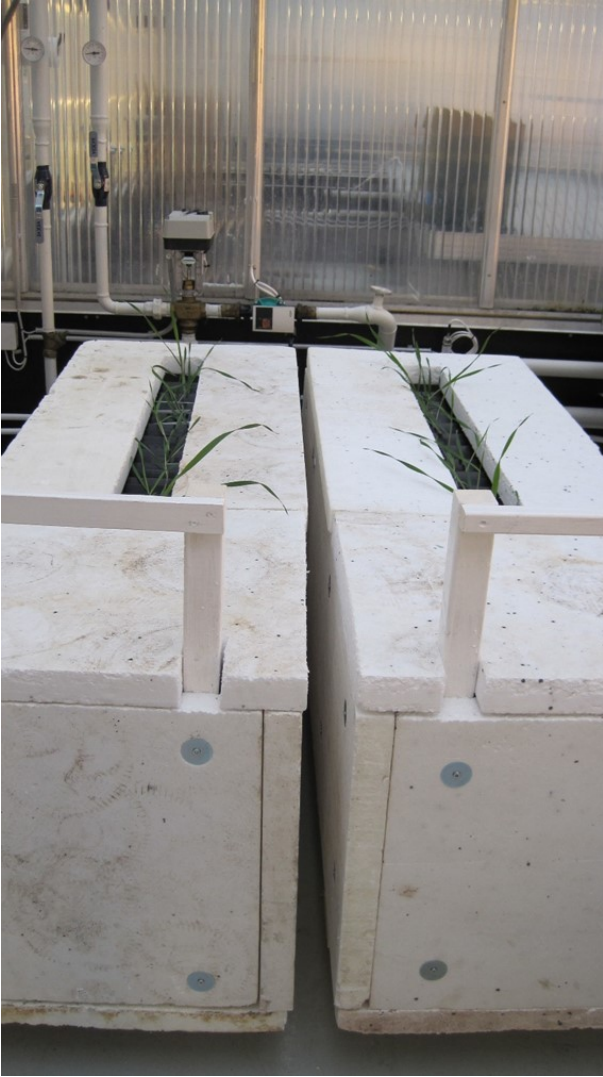
Kasvatuslaatikoita säilytettiin kahdessa telineessä, jotka oli vuorattu styroxilla. Styroxin tarkoitus oli toimia eristeenä, sillä yöllä lämpötilan laskiessa kasvihuoneessa akryyliin tiivistyi kosteutta niin

paljon, että se häytti huomattavasti valokuvaamista. Kosteustiivistymät näkyivät valokuvissa vaaleina alueina, jolloin ne olivat juuren kanssa niin saman sävyisiä, että niitä ei pystynyt erottamaan juuresta automaattisesti kuvankäsittelyohjelmalla. Kosteustiivistymät sai kuvista pois vain manuaalisesti, mikä hidasti kuvankäsittelyä. Kun kasvatuslaatikoiden ympärillä oli styroksite, ei lämpötila laatikoiden sisällä päässyt vaihtelemaan yön ja päivän välillä yhtä paljoa kuin ilman eristettä. Ratkaisu ei poistanut kosteustiivistymiä kokonaan, mutta vähensi niitä huomattavasti.

Jotta kaikilla koekasveilla olisi mahdollisimman samanlaiset olosuhteet, kylvettiin molempien laatikkotelineiden päätyihin ylimääräiset, kokeeseen kuulumattomat kasvit. Telineiden reunimmaisten kasvatuslaatikoiden lämpötila oli mahdollisesti matalampi kuin muiden laatikoiden, koska reunimmaiset kasvatuslaatikot olivat aina toiselta puoleltaan suoraan kosketuksissa telineisiin jäävän ilmatilan kanssa. Keskenmällä olevat laatikot sen sijaan olivat molemmilta puolilta tiiviisti toinen toisissaan kiinni, jolloin lämpökin luultavasti säilyi keskenmällä olevissa kasvatuslaatikoissa paremmin kuin reunimmaisissa.

Kuva 14

Kylvetyt laatikot telineissään styroxilla eristettyinä (kirjoittajan kuva).



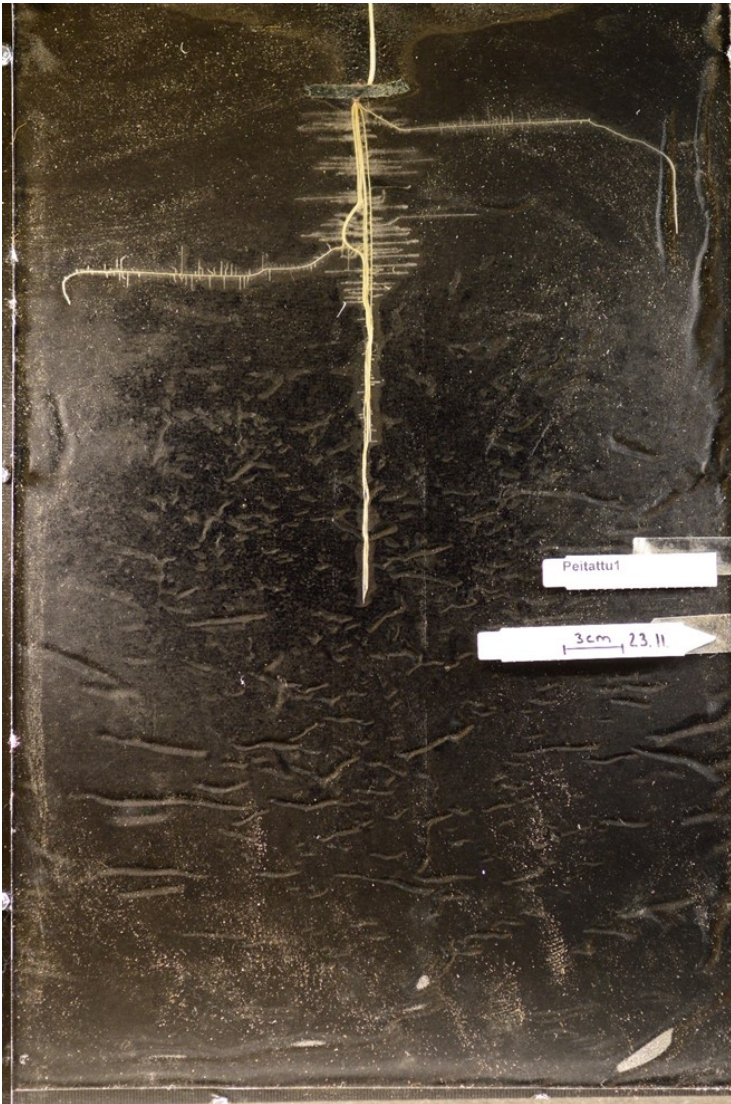
Kasvihuoneen lämpötila oli päivisin noin 21 astetta ja laski yöksi noin 16,5 asteeseen. Styroxlaatikoiden sisällä lämpötila pysytteli kuitenkin hieman muuta kasvihuonetta vakaampana. Styroxlaatikoiden sisällä päivälämpötilaksi mitattiin 19,5 astetta ja yölämpötilaksi 17 astetta. Kasvihuoneen ilmankosteus oli keskimäärin 65 %.

### 7.6.3 Valokuvaaminen

Koekasvien juuret kuvattiin kahdesti viikossa 19 vuorokauden kasvatusjakson aikana. Kuvauskertoja oli kaikkiaan kuusi yhtä kasvia kohti. Kuvaaminen aloitettiin kaksi vuorokautta kylvön jälkeen. Kamerana käytettiin Nikon D3200-järjestelmäkameraa asetuksilla ISO-luku 400, valotusaika 1/30 sekuntia ja f-luku 2.8. Laatikot kuvattiin pystyasennossa ja laatikon molemmille sivuille lisättiin ylimääräinen valaistus. Kuvauspaikan ympäristö oli vuorattu mustalla kankaalla, jotta akryylissa ei näkyisi heijastuksia kuvissa. Kuvat käsiteltiin ImageJ-ohjelmalla.

Kuva 15

Esimerkkikuva juurinäytteestä (kirjoittajan kuva).

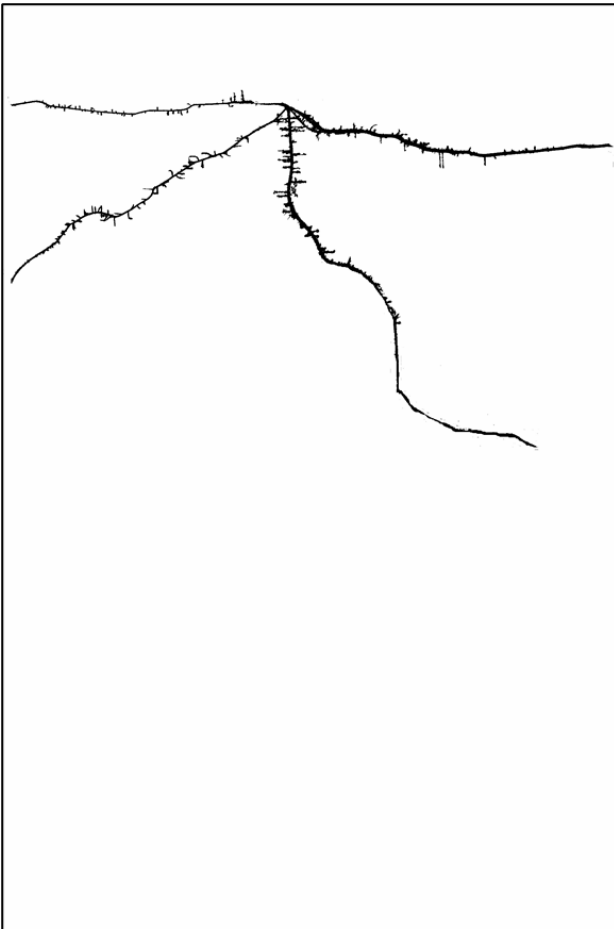


Kuvankäsittelyssä pikseleiden ja senttimetrien suhteen määrittämisen jälkeen käytettiin ImageJ:n color threshold-toimintoa, jolla voitiin värin kirkkauden perusteella erottaa valkoinen juuri mustasta taustasta. Sen jälkeen kuvat muutettiin mustavalkoisiksi binary-toiminnolla. Kuvista poistettiin ylimääräiset partikkelit partikkelin koon ja muodon perusteella analyze particles-toiminnolla, jolloin kuvaan jäi pelkkä juuristo. Tämän kaiken pystyi automatisoimaan ImageJ:n macro- sekä batch-toiminnoilla. Lisäksi kuvista piti manuaalisesti siivota pois ylimääräisiä partikkeleita, jotka muistuttivat kooltaan ja muodoltaan juurta niin paljon, ettei niitä pystytty

poistamaan koko- ja muotosuodattimen avulla. Myös juuressa kiinni olevat partikkelit, kuten ylimääräiset kosteustiivistymät ja heijastukset, aiheuttivat manuaalista työtä. Niitä ei voinut poistaa automaattisesti ilman, että kuvasta hävisi samalla koko juuri.

Kuva 16

Esimerkkikuva ImageJ-ohjelmalla käsitellystä valokuvasta (kirjoittajan kuva).



Kun kuvat oli saatu käsiteltyä niin, että ne olivat mustavalkoisia ja niissä näkyi ainoastaan juuristo, voitiin juuriston pinta-ala mitata measure area-toiminnolla. Kuvien tuli olla mustavalkoisia, jotta pinta-ala voitiin mitata ImageJ:llä. Tuloksissa näkyi juuren prosenttiosuus koko kuvan pinta-alasta. Kuvan pinta-ala näkyi suoraan neliösenttimetreinä, jos kuvasta oli määritetty, montako pikseliä on yksi senttimetri. Jos määrittystä ei ole tehty, näkyy valokuvan pinta-ala pikseleinä. Pikseleiden ja senttimetrien suhteen määrittämistä varten kuvissa tuli olla mukana jokin varmaksi tiedetty mitta.

Juurikuvissa jokaisessa alkuperäisessä kuvassa näkyi valkoinen paalu, johon oli piirretty kolmen senttimetrin mittainen jana, jonka avulla kuvista voitiin määrittää montako pikseliä kuvissa edustaa yhtä senttimetriä.

#### **7.6.4 Kuiva-ainemääritys**

Viimeisen kuvauskerran jälkeen, 19. päivänä kylvöstä kasvatuslaatikot avattiin ja juuret irrotettiin kankaasta kuiva-ainemääritystä varten. Jokaisesta juurinäytteestä punnittiin tuorepaino, jonka jälkeen ne laitettiin lämpökaappiin +60 asteeseen 15 tunniksi. Tämän jälkeen punnittiin juurten kuivapaino ja laskettiin kullekin näytteelle kuiva-ainepitoisuus prosentteina.

Kuiva-ainemäärityksen yhteydessä punnittua juurten tuorepainoa käytettiin mittaamaan valokuvista tehtyjen pinta-alamittausten luotettavuutta. Esimerkiksi Mathieu ym. (2015, s. 5) havaitsivat hydroponisissa kasvatuslaatikoissa kasvatettujen lituruohojen juuristokuvista tehtyjen pinta-alamääritysten korreloivan juuriston biomassan kanssa ( $r=0,94$ ). Samaisessa tutkimuksessa todettiin juuristosta otettujen valokuvien olevan luotettava tapa selvittää juuriston rakennetta. (Mathieu ym., 2015, s. 5)

## 8 TULOKSET

### 8.1 Idätyspaperikoe

Tuloksia vertailtiin päiväkohtaisesti varianssianalyysilla. Varianssianalyysin osoittaessa käsittelyiden välillä tilastollisen merkitsevyyden vertailtiin tuloksia vielä parivertailulla. Kaikkia neljää ravinnekäsittelyä verrattiin pelkän peittauskäsittelyn saaneisiin verrokinäytteisiin. Lisäksi siemenen hivenpeittaukseen tarkoitetuilla Mantracilla, Wuxalilla ja Gramitrelillä tehtyjä käsittelyitä verrattiin yhtenä ryhmänä peittauskäsittelyn saaneisiin näytteisiin. Lehtilannoite Aminosol jätettiin pois tästä ryhmävertailusta, sillä se ei ole varsinainen hivenpeittausaine. Varianssianalyysien osoittamat päiväkohtaiset keskiarvot, keskivirheet ja p-arvot eri käsittelyillä on esitetty taulukoina liitteessä 3.

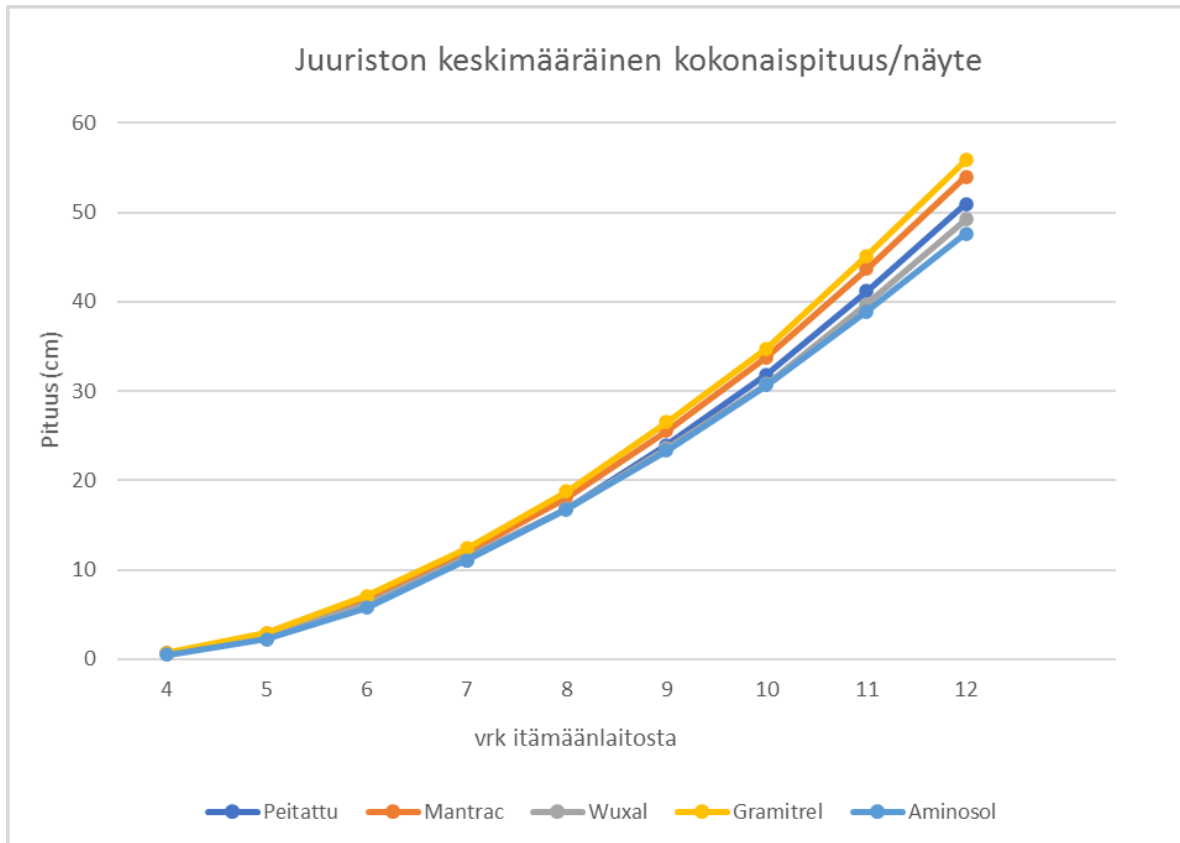
#### 8.1.1 Juuriston pituus

Erot juuriston pituuden suhteen eri käsittelyjen välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Myöskään tarkasteltaessa yhtenä kokonaisuutena hivenpeittausainekäsittelyitä Mantrac, Wuxal ja Gramitrel ei juuriston pituuden suhteen saatu tilastollisesti merkitseviä eroja peittauskäsittelyyn verrattuna.

Juuriston pituus eri ravinnekäsittelyillä noudatti samaa kaavaa koko kuvausjakson ajan. Gramitrel- ja Mantrac-näytteiden juuret olivat kaikkina kuvauspäivinä hieman muiden ravinnekäsittelyjen juuria pidempiä. Kuudentena päivänä itämäänlaitosta ja siitä eteenpäin Gramitrel-käsittelyllä saatiin kaikkein pisin juuristo. Gramitrel-näytteiden juuristo oli viimeisenä kuvauspäivänä, 12. päivänä itämäänlaitosta, pituudeltaan keskimäärin 55,9 cm. Aminosol-käsittelyjen näytteiden juuristo oli kaikkein lyhyin koko kuvausjakson ajan, viimeisenä kuvauspäivänä 47,7 cm.

Kuva 17

Juuriston keskimääräinen kokonaispituus näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Erot juuriston pituuden suhteen eri käsittelyjen välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Gramitrel- ja Mantrac-käsittelyillä saatiin kaikkina kuvauspäivinä hieman pidemmät juuristot kuin muilla ravinnekäsittelyillä.

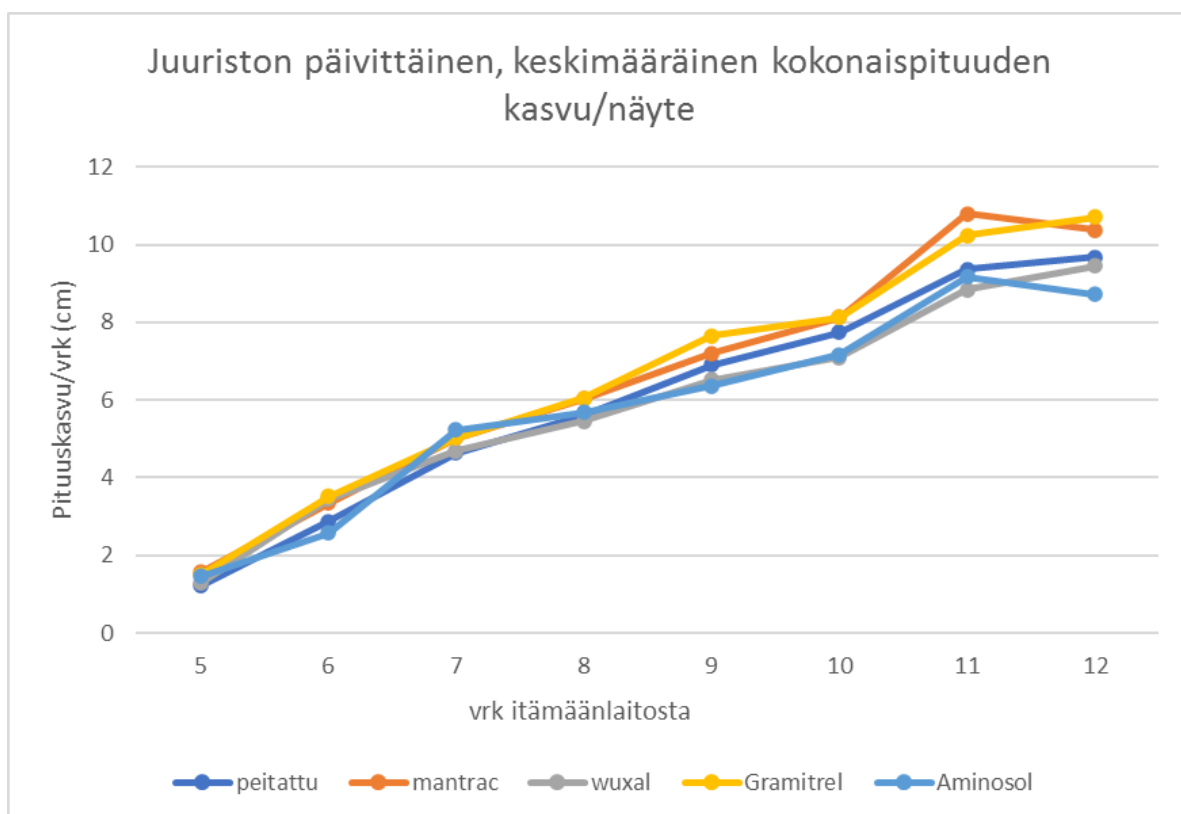
### 8.1.2 Juuriston päivittäinen pituuskasvu

Kaikkien ravinnekäsittelyjen juuristojen pituuksien päiväkasvut olivat suurimmillaan 11.päivänä itämälaitosta, parhaimmillaan Mantrac-käsittelyllä 10,8 cm vuorokaudessa näytettä kohden, kun vastaava pituuskasvulukema peitatulla verrokilla kyseisenä päivänä oli 9,4 cm. Ero oli tilastollisesti merkitsevä ( $p=0,015$ ). Varianssianalyysin tulokset tästä on esitetty lukuina liitteen 3 taulukossa b. Hivenpeittausainekäsittelyillä Mantrac, Wuxal ja Gramitrel ei yhdessä ollut merkitseviä eroja verrattuna peittauskäsittelyn saaneisiin verrokkinäytteisiin.

Pääsääntöisesti Mantrac- ja Gramitrel-käsiteltyjen juuristojen pituuksien päiväkasvut olivat muiden käsittelyiden päiväkasvuja suurempia. Viimeisenä kuvauspäivänä juuriston päivittäinen pituuskasvu oli suurinta Gramitrel-käsitellyillä näytteillä, jotka kasvoivat keskimäärin 10,7 cm päivässä. Pienin juuriston päiväkasvu viimeisenä kuvauspäivänä oli Aminosol-näytteissä, jotka kasvoivat keskimäärin 8,7 cm päivässä.

#### Kuva 18

Juuriston päivittäinen, keskimääräinen kokonaispituuden kasvu näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Pääsääntöisesti suurimmat juuriston pituuden päiväkasvut saatiin Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyillä.

\* Mantrac- ja peittauskäsittelyn välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero juuriston pituuskasvussa 11. päivänä itämäänlaitosta ( $p=0,015$ ).

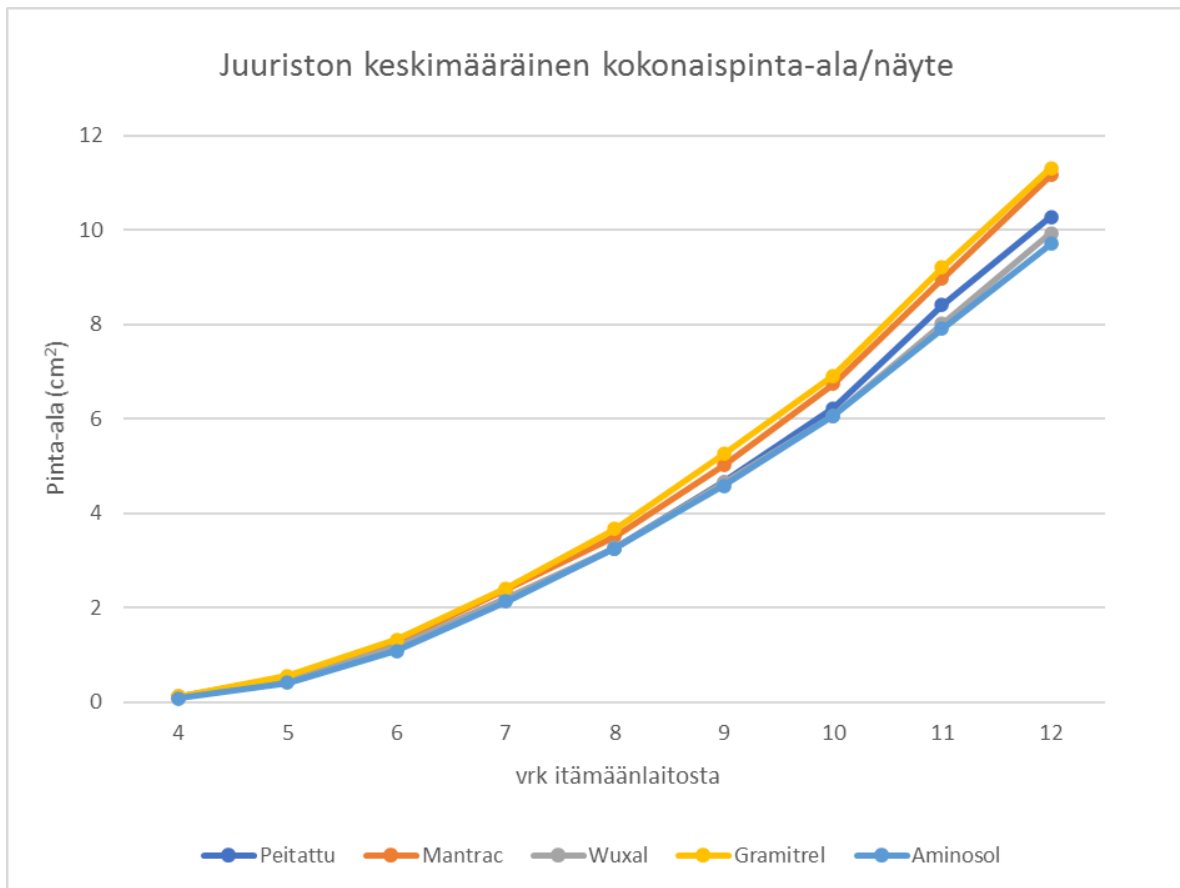
### 8.1.3 Juuriston pinta-ala

Erot eri käsittelyjen välillä juuriston kaksiulotteisen pinta-alan suhteen eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Tarkasteltaessa yhtenä kokonaisuutena hivenpeittauskäsittelyitä Mantrac, Wuxal ja Gramitrel ei voitu havaita merkitseviä eroja pelkän peittauskäsittelyn saaneisiin näytteisiin verrattuna.

Kuten juuriston pituuden suhteen, myös kaksiulotteisen pinta-alan suhteen saavutettiin Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyillä suurimmat lukemat. Tarkasteltaessa viimeistä kuvauspäivää oli Gramitrel-näytteiden juuristopinta-ala suurin, keskimäärin  $11,3 \text{ cm}^2$  yhtä näytettä kohden. Kaikkein pienimmät juuristopinta-alat viimeisenä kuvauspäivänä olivat Aminosol-käsitellyissä näytteissä. Viimeisenä kuvauspäivänä Aminosol-näytteiden keskimääräinen juuristopinta-ala oli  $9,7 \text{ cm}^2$ .

Kuva 19

Juuriston keskimääräinen kokonaispinta-ala näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Juuriston pinta-alassa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä minkään kuvauspäivän kohdalla. Gramitrel- ja Mantrac-käsittelyillä saatiin hieman suuremmat juuriston pinta-alat kuin muilla käsittelyillä.

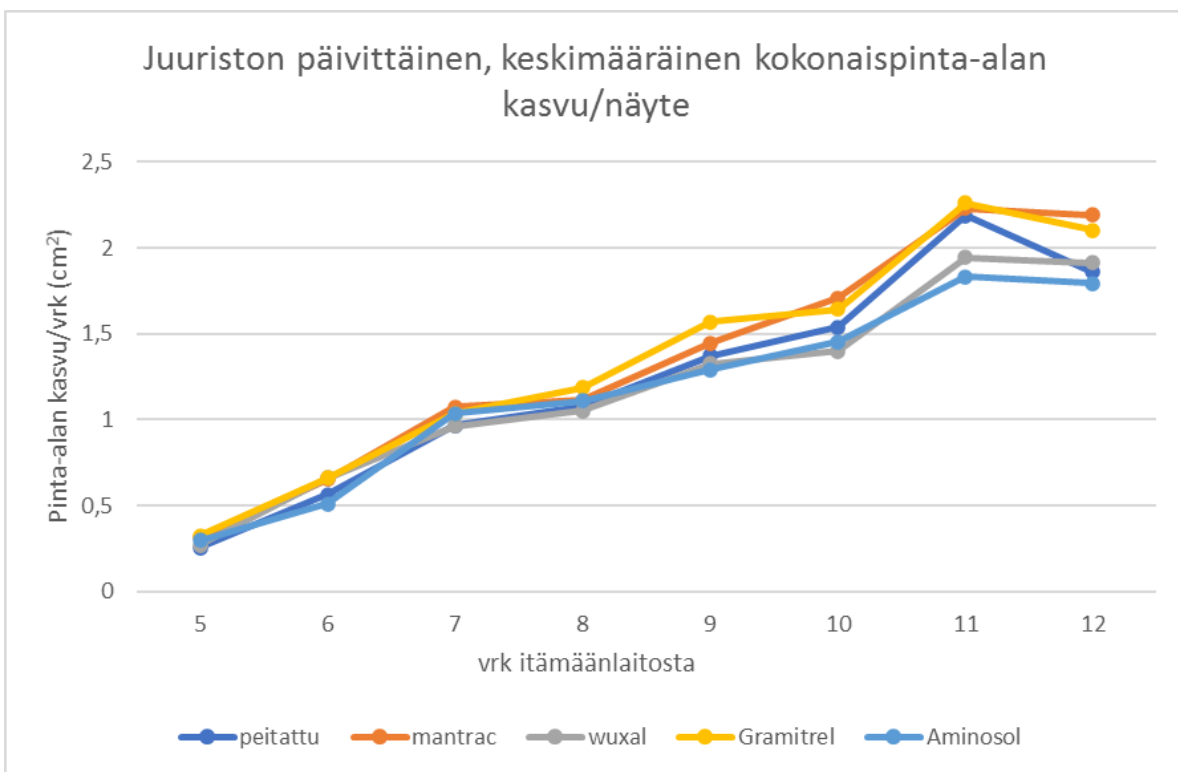
#### 8.1.4 Juuriston päivittäinen pinta-alan kasvu

Päivittäisessä kaksiulotteisen pinta-alan kasvussa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut myöskään verrattaessa hivenpeittäusaineryhmää Mantrac, Wuxal ja Gramitrel pelkän peittäuskäsittelyn saaneisiin verrokinäytteisiin.

Juuriston pinta-alan päiväkasvu oli pääsääntöisesti suurinta Mantrac- ja GramitreI-käsitellyissä näytteissä, heikointa puolestaan Aminosol- ja Wuxal-käsitellyissä näytteissä. Viimeisen kuvauspäivän suurin pinta-alan päivittäinen kasvu oli Mantrac-käsitellyissä näytteissä, joiden pinta-ala kasvoi keskimäärin 2,2 cm<sup>2</sup> päivässä. Viimeisen kuvauspäivän pienin pinta-alan päivittäinen kasvu oli Aminosol-näytteissä, jotka kasvoivat keskimäärin 1,8 cm<sup>2</sup> päivässä.

#### Kuva 20

Juuriston päivittäinen, keskimääräinen kokonaispinta-alan kasvu näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Juuriston päivittäisessä pinta-alan kasvussa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyiden välillä. Mantrac- ja GramitreI-käsitelyjen näytteiden juuriston päivittäinen pinta-alan kasvu oli hieman muita käsittelyjä suurempi.

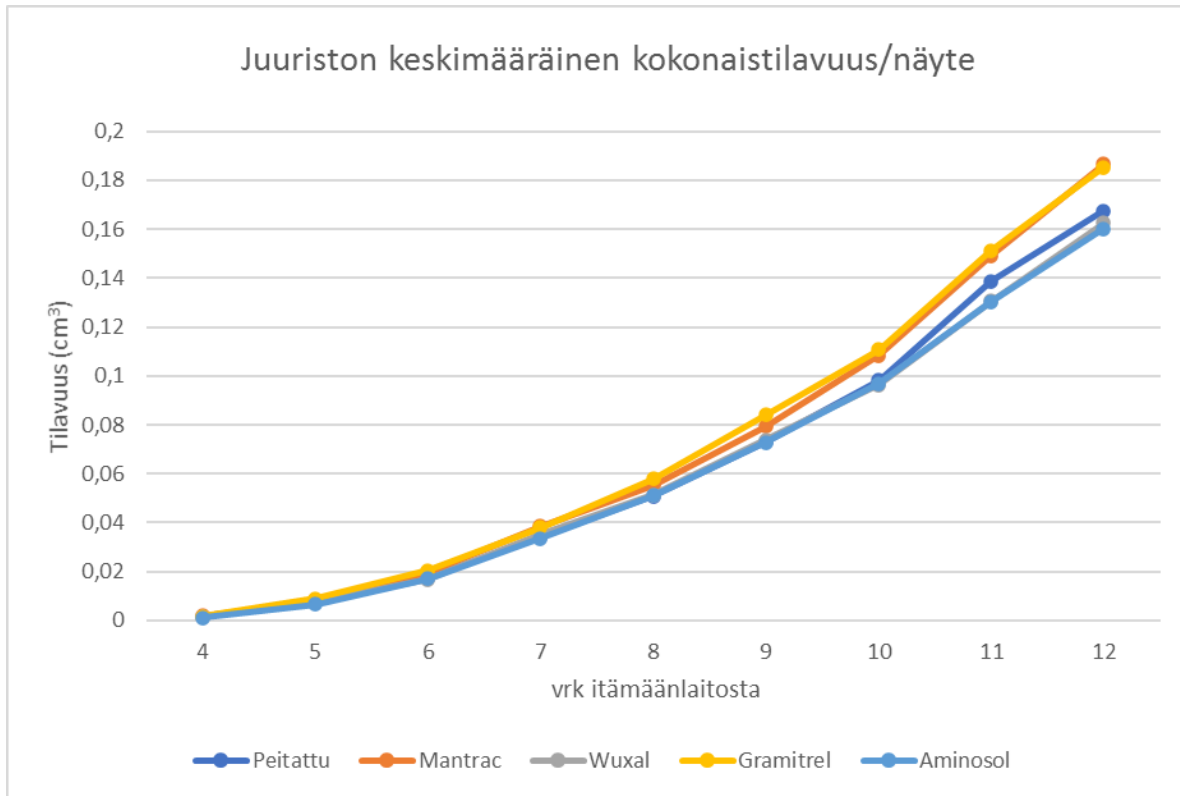
### 8.1.5 Juuriston tilavuus

Käsittelyiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja juuriston tilavuuden suhteen. Myöskään verrattaessa yhtenä kokonaisuutena hivenpeittäusainekäsittelyitä Mantrac, Wuxal ja Gramitrel pelkän peittäuskäsittelyn saaneisiin verrokinäytteisiin ei juuristojen tilavuuksissa ollut merkitseviä eroja.

Juuriston tilavuus eri ravinnekäsittelyillä noudatti samansuuntaista linjaa kuin pituus ja pinta-ala. Gramitrel- ja Mantrac-käsiteltyjen näytteiden juuristojen tilavuus oli koko kuvausjakson ajan suurempi kuin muiden ravinnekäsittelyjen juuristojen tilavuudet. Gramitrel- ja Mantrac-näytteiden juuristojen tilavuus oli keskenään samaa luokkaa, suurimmillaan viimeisenä kuvauspäivänä 0,19 cm<sup>3</sup>. Viimeisen kuvauspäivän pienin tilavuus oli Aminosol-käsitellyillä näytteillä, keskimäärin 0,16 cm<sup>3</sup>.

Kuva 21

Juuriston keskimääräinen kokonaistilavuus näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Juuriston tilavuudessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Gramitrel- ja Mantrac-käsitellyillä näytteillä juuriston tilavuus oli hieman muita käsittelyjä suurempi.

### 8.1.6 Juuriston päivittäinen tilavuuden kasvu

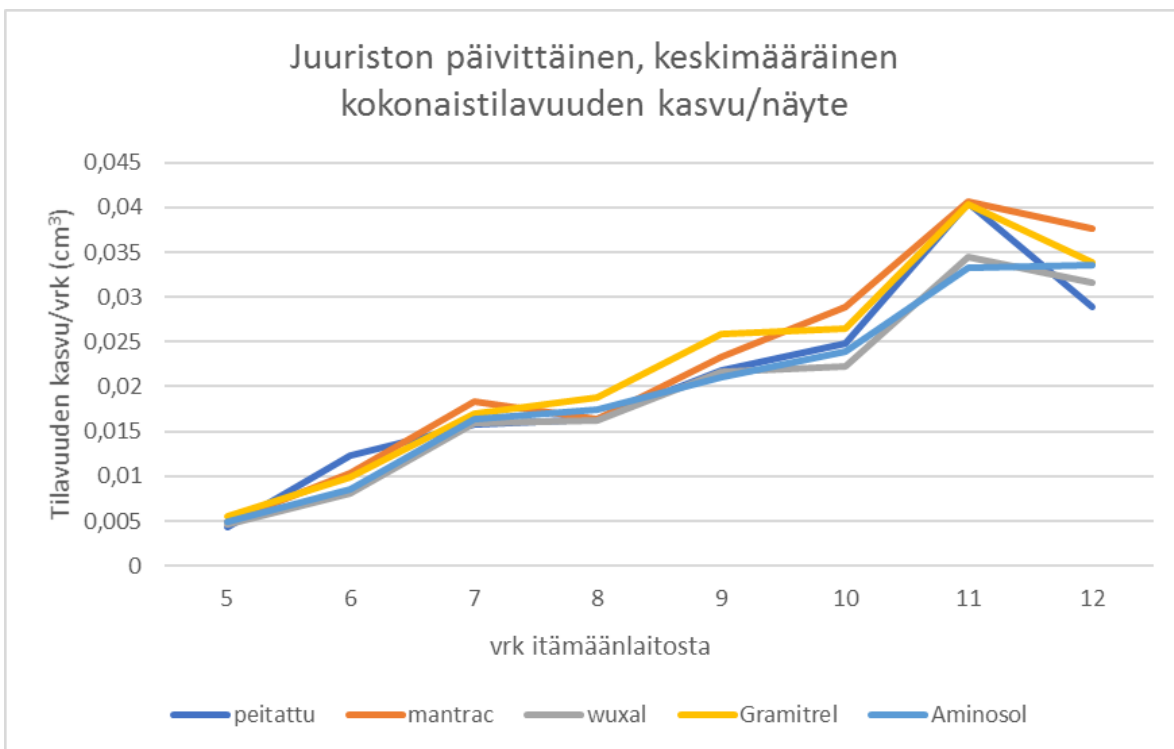
Eri käsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja juuriston päivittäisessä tilavuuden kasvussa. Verrattaessa hivenpeittausaineryhmää Mantrac, Wuxal ja Gramitrel peittauskäsittelyn saaneisiin verrokinäytteisiin ei tilastollisesti merkitseviä eroja ollut koko kuvausjakson aikana.

Mantrac- ja Gramitrel-käsitellyillä saatiin pääsääntöisesti kaikkein suurimmat juuriston tilavuuden päiväkasvut. Viimeisen kuvauspäivän suurin tilavuuskasvu oli Mantrac-käsitellyillä näytteillä, jotka kasvoivat keskimäärin  $0,038 \text{ cm}^3$  päivässä. Viimeisen kuvauspäivän pienimmät tilavuuskasvut

puolestaan olivat peittauskäsitellyissä näytteissä, joiden keskimääräinen tilavuuden päiväkasvu oli 0,029 cm<sup>3</sup>.

## Kuva 22

Juuriston päivittäinen, keskimääräinen kokonaistilavuuden kasvu näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Eri käsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja juuriston päivittäisessä tilavuuden kasvussa. Pääsääntöisesti juuriston päivittäinen tilavuuskasvu oli suurinta Gramitrel- ja Mantrac-käsitellyillä näytteillä.

### 8.1.7 Juurten lukumäärä

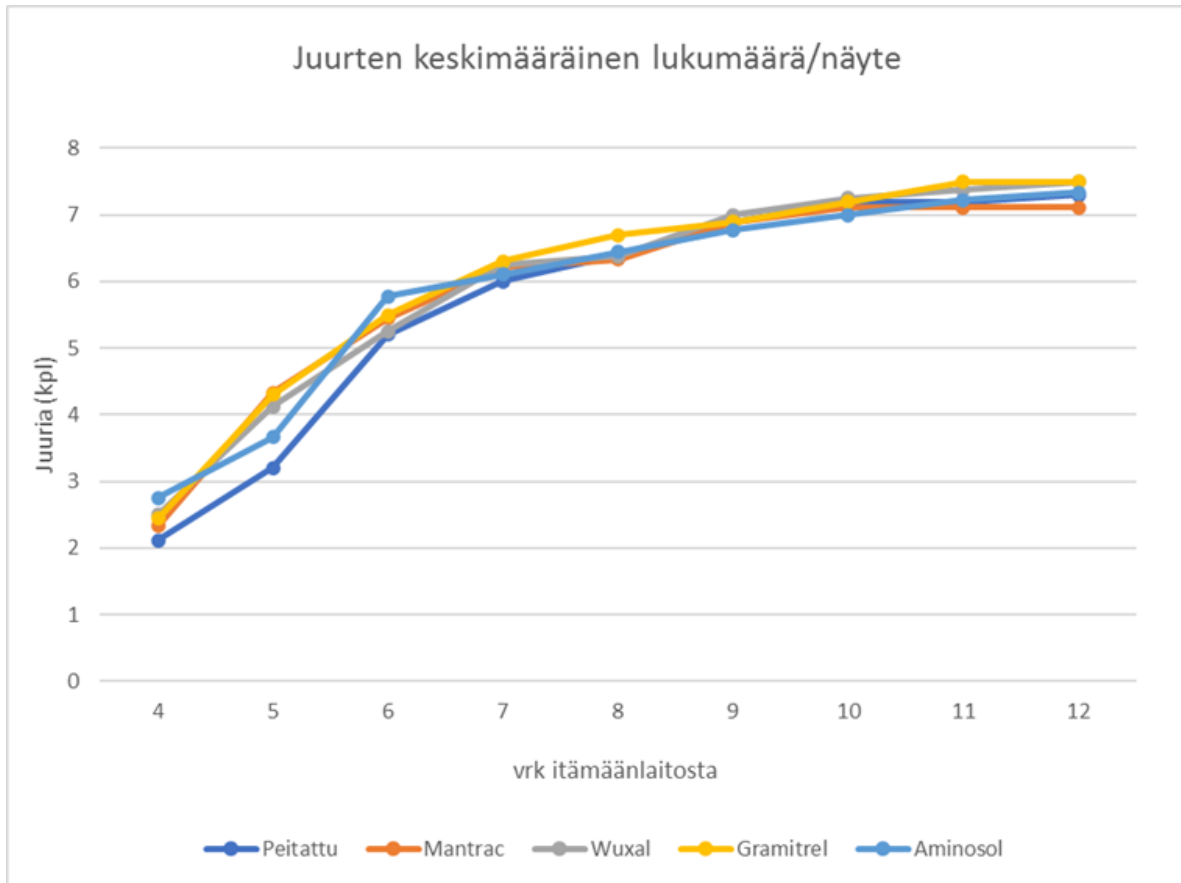
Eri käsittelyjen väliset erot juurten lukumäärän suhteen eivät olleet tilastollisesti merkitseviä minkään päivän kohdalla. Erot eivät olleet merkitseviä myöskään verrattaessa yhtenä

kokonaisuutena hivenpeittausaineita Mantrac, Wuxal ja Gramitrel peittauskäsittelyn saaneisiin verrokinäytteisiin.

Juurten lukumäärä näytettä kohden oli eri ravinnepöytäkirjoilla samaa luokkaa keskenään. Viimeisen kuvauspäivän suurin juurten lukumäärä oli Gramitrel- ja Wuxal-käsitellyillä näytteillä, joiden keskimääräinen juurilukumäärä oli 7,5 juurta näytettä kohden. Viimeisen kuvauspäivän pienin juurten lukumäärä oli Mantrac-näytteillä. Mantrac-näytteiden juurten lukumäärä näytettä kohden oli kyseisenä päivänä 7,1.

Kuva 23

Juurten keskimääräinen lukumäärä näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Juurten keskimääräisessä lukumäärässä näytettä kohden ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä minkään päivän kohdalla. Juurten lukumäärä näytettä kohden oli samaa luokkaa keskenään kaikilla eri ravinnekäsittelyillä.

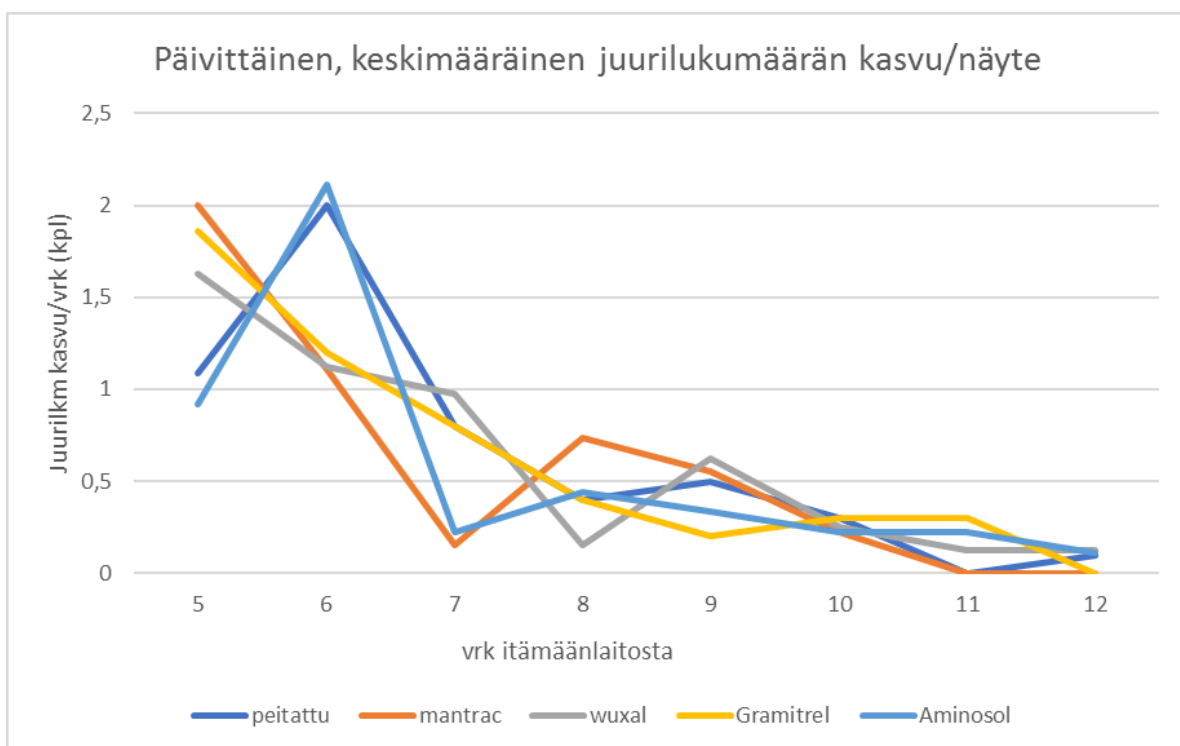
### 8.1.8 Juurten lukumäärän päivittäinen kasvu

Juurten lukumäärän päivittäisessä kasvussa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyiden välillä. Myöskään verratessa kaikkia kolmea hivenpeittausainekäsittelyä Mantrac, Wuxal ja Gramitrel pelkän peittauskäsittelyn saaneisiin näytteisiin ei merkitseviä eroja ollut minkään kuvauspäivän kohdalla.

Juurten lukumäärän kasvu oli suurimmillaan viidentenä ja kuudentena päivänä itämäänlaitosta. Parhaimmillaan uusia juuria kasvoi Aminosol-käsittelyllä 2,1 kappaletta vuorokaudessa. Seitsemäntenä päivänä itämäänlaitosta ja siitä eteenpäin juurten lukumäärän kasvu vuorokautta kohti väheni kaikilla käsittelyillä.

Kuva 24

Päivittäinen, keskimääräinen juurilukumäärän kasvu näytettä kohden eri ravinne-käsittelyillä.



*Selite.* Eri käsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja juurilukumäärän päivittäisessä kasvussa. Juurten lukumäärän päivittäinen kasvu oli kaikilla käsittelyillä suurimmillaan viidentenä ja kuudentena päivänä itämäänlaitosta.

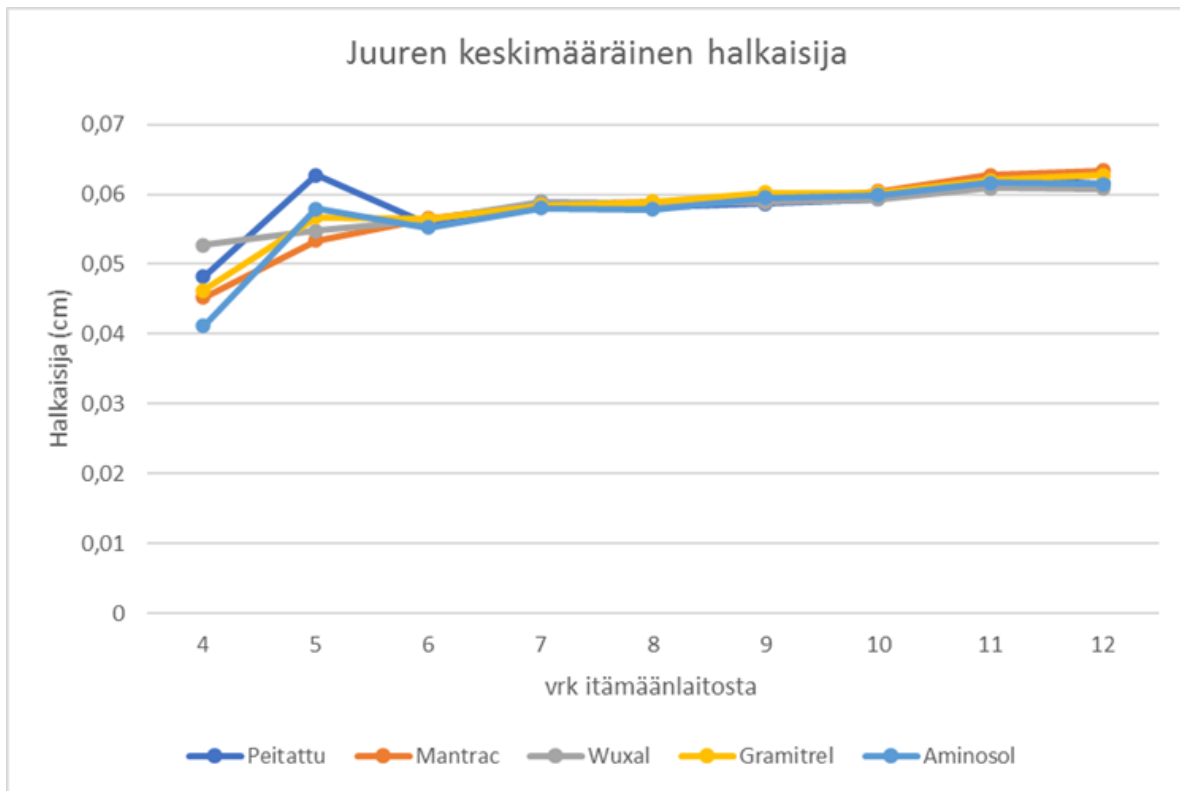
### 8.1.9 Juuren halkaisija

Juuren halkaisijassa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri ravinnekäsittelyjen kesken. Verrattaessa yhdessä kaikkia kolmea hivenpeittäusainekäsittelyä peitattuun verrokkiin ei tilastollisia eroja ollut minkään kuvauspäivän kohdalla.

Juuren keskimääräinen halkaisija pysytteli kaikilla käsittelyillä hyvin samoissa lukemissa koko kuvausjakson ajan, lukuun ottamatta kahta ensimmäistä kuvauspäivää. Viimeisen kuvauspäivän suurimmat halkaisijat olivat Mantrac-käsiteltyjen näytteiden juurilla, keskimäärin 0,063 cm. Viimeisen kuvauspäivän pienimmät halkaisijat puolestaan olivat Wuxal-käsiteltyjen näytteiden juurilla, joiden halkaisija oli keskimäärin 0,061 cm.

Kuva 25

Yhden juuren keskimääräinen halkaisija eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Juuren halkaisijassa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri ravinnekäsittelyjen välillä.

Juuren keskimääräinen halkaisija oli eri ravinnekäsittelyjen kesken samaa luokkaa keskenään lähes koko kuvausjakson ajan.

#### 8.1.10 Juuren halkaisijan päivittäinen kasvu

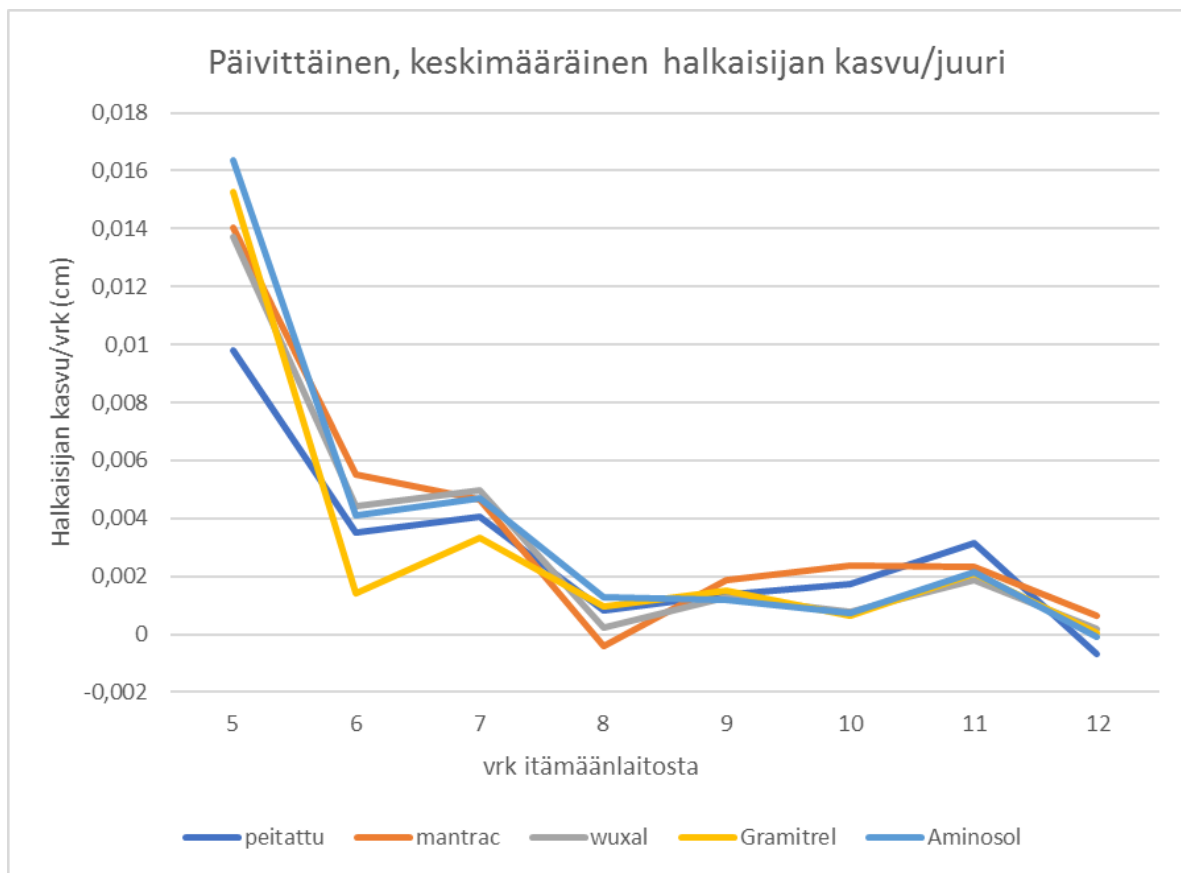
Eri käsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja juuren halkaisijan päivittäisessä kasvussa. Vertailtaessa yhdessä kaikkien kolmen ravinnekäsittelyn juurten halkaisijoiden päiväkasvuja peitattuun verrokkiryhmään ei tilastollisesti merkitseviä eroja ollut tässäkään suhteessa.

Juuren halkaisijan vuorokautinen päiväkasvu vaihteli eri käsittelyillä eri kuvauspäivinä ilman säännönmukaista kaavaa. Viimeisen kuvauspäivän suurimmat halkaisijan päiväkasvut olivat

Mantrac-käsittelyjen näytteiden juurilla, joiden halkaisija kasvoi keskimäärin 0,0002 cm päivässä. Peittaus- ja Aminosol-käsittelyjen näytteiden juurten halkaisijat eivät puolestaan kasvaneet enää viimeisenä kuvauspäivänä lainkaan.

Kuva 26

Päivittäinen, keskimääräinen halkaisijan kasvu juurta kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Eri käsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja juuren päivittäisessä halkaisijan kasvussa. Juuren halkaisijan vuorokautinen päiväkasvu vaihteli eri käsittelyillä eri kuvauspäivinä ilman säännönmukaista kaavaa.

## 8.2 Kasvihuonekoe

Myös kasvihuonekokeen osalta tuloksia vertailtiin päiväkohtaisesti varianssianalyysillä juuriston pinta-alan ja kuiva-ainepitoisuuden osalta. Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyitä verrattiin pelkän peittauskäsittelyn saaneisiin näytteisiin. Lisäksi hivenpeittauskäsittelyitä Mantrac ja Gramitrel verrattiin yhtenä ryhmänä peittauskäsittelyn saaneisiin verrokinäytteisiin. Varianssianalyysien osoittamat päiväkohtaiset keskiarvot, keskivirheet ja p-arvot eri käsittelyillä on esitetty taulukoina liitteessä 4.

Kasvihuonekokeen pinta-alamittausten luotettavuuden todentamiseksi laskettiin myös juuriston pinta-alamittausten ja tuorepainojen välinen korrelaatio.

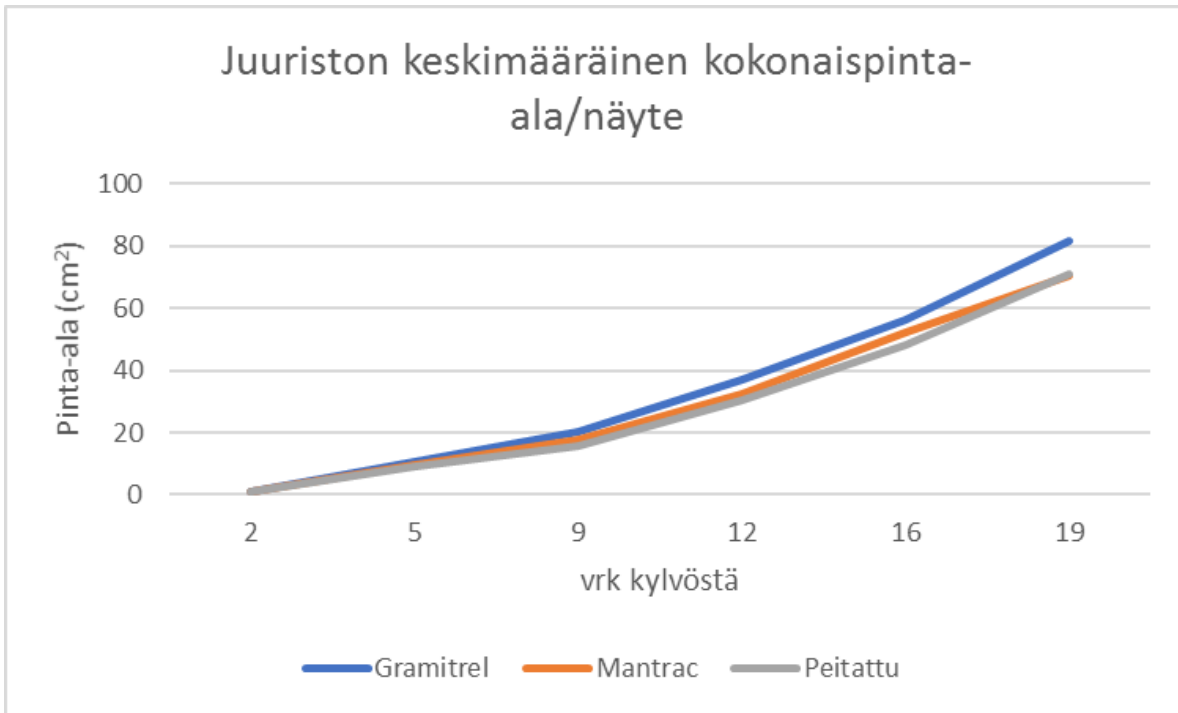
### 8.2.1 Juuriston pinta-ala

Juuriston kaksiulotteisessa pinta-alassa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri käsittelyjen kesken. Tilastollista eroa pinta-alan suhteen ei ollut myöskään verrattaessa yhtenä ryhmänä hivenpeittausaineita Gramitrel ja Mantrac pelkän peittauskäsittelyn saaneisiin näytteisiin.

Gramitrel-käsitteltyjen näytteiden juuristojen pinta-alat olivat koko kuvausjakson ajan hieman suurempia kuin Mantrac- ja peittauskäsitteltyjen näytteiden. Viimeisenä kuvauspäivänä Gramitrel-käsitteltyjen näytteiden juuriston pinta-ala oli keskimäärin  $81,7 \text{ cm}^2$ . Mantrac-käsitteltyjen näytteiden juuriston keskimääräinen pinta-ala oli puolestaan viimeisenä kuvauspäivänä pienin,  $70,4 \text{ cm}^2$ .

Kuva 27

Juuriston keskimääräinen kokonaispinta-ala näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



*Selite.* Juuriston pinta-alassa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri käsittelyjen kesken. Gramitrel-käsittelyllä saatiin hieman suurempi juuristopinta-ala kuin Mantrac- ja peittauskäsittelyllä.

### 8.2.2 Juuriston pinta-alan kasvu

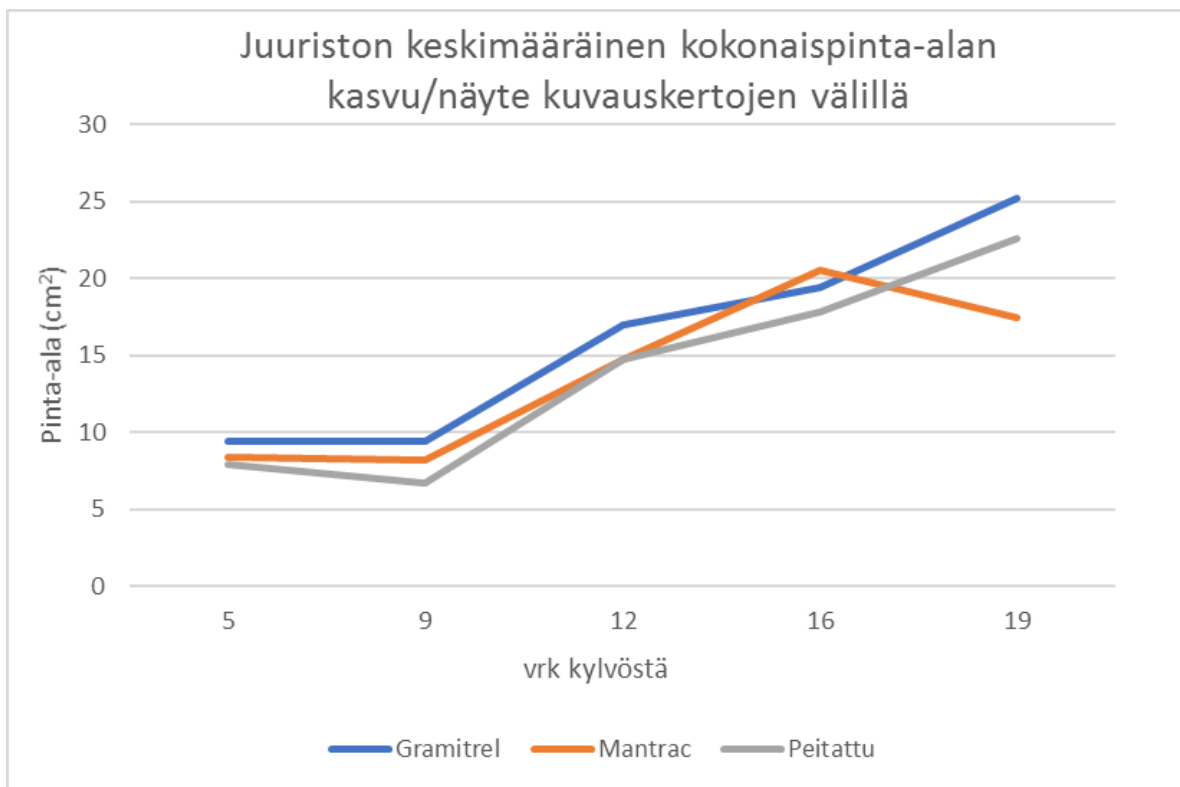
Juuriston kaksiulotteisen pinta-alan kasvussa kuvauskertojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyiden välillä. Verrattaessa yhdessä hivenpeittauskäsittelyitä Gramitrel ja Mantrac pelkkään peittauskäsittelyyn ei tilastollisesti merkitseviä eroja ollut tässäkään suhteessa.

Pääsääntöisesti Gramitrel-käsittelyjen näytteiden juuriston keskimääräinen kasvu oli hieman suurempaa kuin Mantrac- ja peittauskäsittelyjen näytteiden. Viimeisenä kuvauspäivänä Gramitrel-

näytteiden juuristot olivat kasvaneet keskimäärin 25,2 cm<sup>2</sup> edellisestä kuvauskerrasta, kun puolestaan Mantrac-käsiteltyjen näytteiden juuristot olivat kasvaneet vähiten, vain 17,4 cm<sup>2</sup>.

#### Kuva 28

Juuriston keskimääräinen kokonaispinta-alan kasvu kuvauskertojen välillä näytettä kohden eri ravinnekäsittelyillä.



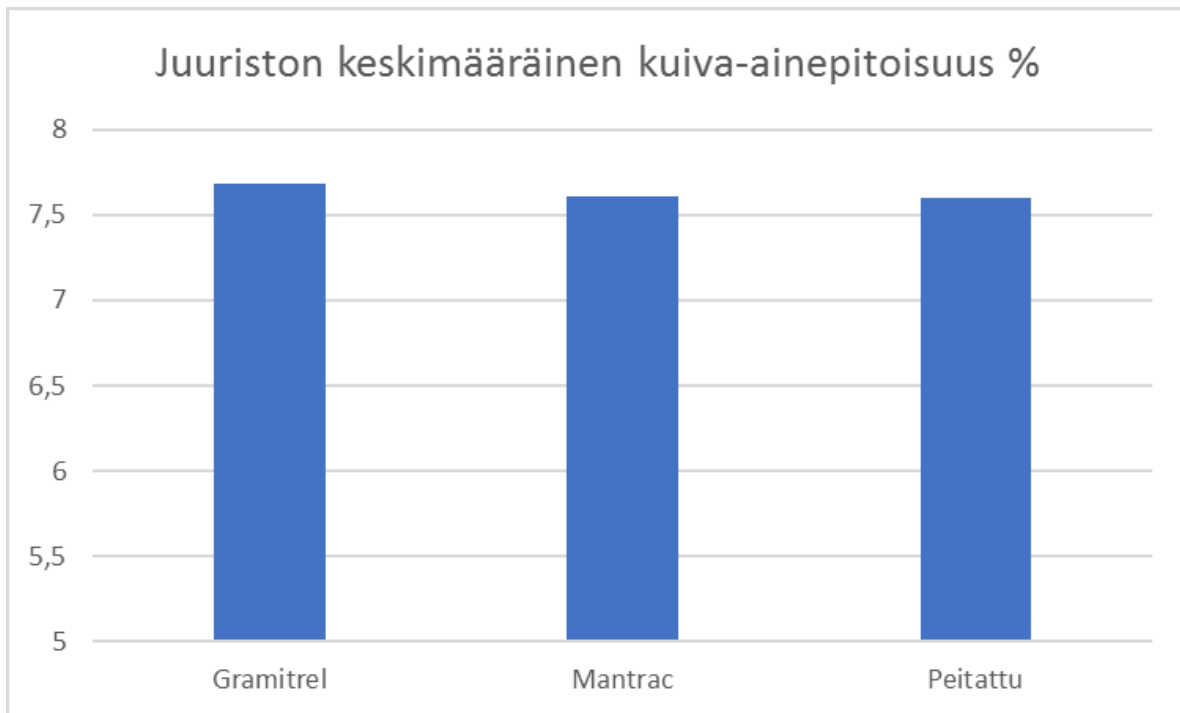
*Selite.* Juuriston pinta-alan kasvussa kuvauskertojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyiden välillä.

### 8.2.3 Kuiva-ainepitoisuus

Juuristojen kuiva-ainepitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Gramitrel-käsiteltyjen näytteiden juuristojen kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin 7,7 % ja Mantrac- sekä peittauskäsiteltyjen 7,6 %.

Kuva 29

Juuriston keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus eri ravinnekäsittelyillä.



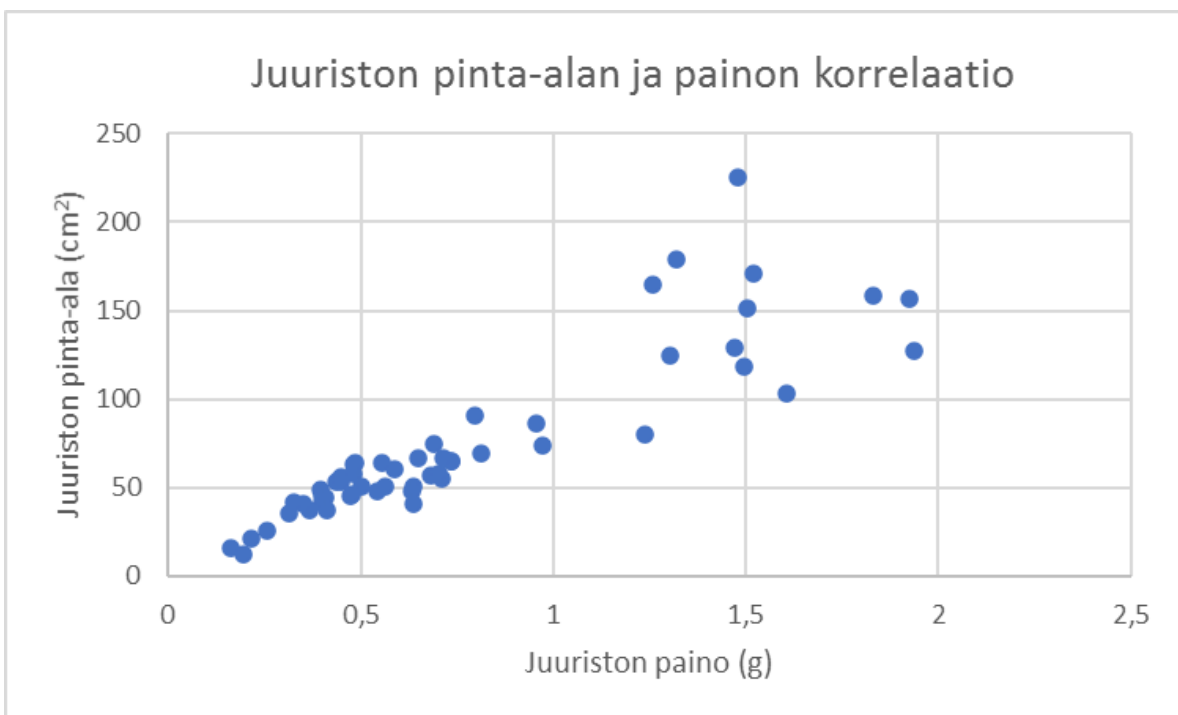
*Selite.* Juuristojen kuiva-ainepitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Juuristojen kuiva-ainepitoisuudet olivat samaa luokkaa keskenään kaikilla käsittelyillä.

### 8.2.4 Juuriston pinta-alamittausten ja painon välinen korrelaatio

Valokuvista mitattujen juuristopinta-alojen ja juuristojen tuorepainojen välillä ilmeni vahva positiivinen korrelaatio ( $r=0,89$ ).

Kuva 30

Juuristojen valokuvista mitattujen pinta-alojen ja tuorepainojen korrelaatio.



*Selite.* Valokuvista mitattujen juuristopinta-alojen ja juuristojen tuorepainojen välillä ilmeni positiivinen korrelaatio ( $r=0,89$ ).

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mikään ravinnekäsittely ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi pelkästä peittäuskäsittelystä juuriston pituuden, pinta-alan, tilavuuden, juurilukumäärän, juuren halkaisijan tai kuiva-ainepitoisuuden suhteen. Myöskään mitattujen ominaisuuksien päiväkasvuissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä paitsi juuriston pituuskasvussa 11.päivänä itämälaitosta Mantrac- ja peittäuskäsittelyn välillä. Yksittäinen tilastollinen merkitsevyys muiden, tilastollisesti merkitsemättömien tulosten joukossa voi kuitenkin olla pelkkä sattuma. Tulosten mukaan Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyillä saatiin säännönmukaisesti hieman pidempi sekä pinta-alaltaan ja tilavuudeltaan suurempi juuristo kuin peittäuskäsittelyllä. Tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

Sekä Mantrac- että Gramitrel-liuos sisälsivät mangaania enemmän kuin muut käytetyt ravinneliuokset. Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyjen peittäuskäsittelyä hieman pidempi juuristo sekä suurempi pinta-ala ja tilavuus voisivat selittyä mangaanin määrällä. Jos mangaania ei ole riittävästi kasvin saatavilla, ei kasvi pysty hyödyntämään tehokkaasti muitakaan ravinteita (Yara, n.d.a). Yhteyttämisprosessin kannalta tärkeät viherhiukkaset vaativat toimiakseen riittävästi mangaania, ja juuriston kasvu puolestaan on riippuvainen yhteyttämisestä. Jos kasvi kärsii mangaanin puutteesta, yhteyttäminen heikkenee ja sen myötä myös juuriston kasvu kärsii. (Kircher & Schopfer, 2012)

Koska Mantrac-ravinnevalmiste sisälsi vain mangaania ja typpeä, on mangaani todennäköisempi selitys Mantac- valmisteella saaduille, peittäuskäsittelyä hieman pidemmille juurille sekä juurten suuremmalle pinta-alalle ja tilavuudelle. Typen määrä Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyillä oli samaa luokkaa kuin Aminosol-käsittelyllä ja siksi Mantrac- ja Gramitrel-käsittelyjen hienoista eroa peittäuskäsittelyyn nähden ei voida perustella typen määrällä. Gramitrel-valmisteen osalta selitystä tuloksille voi hakea mangaanin lisäksi useammasta ravinteesta. Gramitrel sisälsi magnesiumia, kuparia ja sinkkiä enemmän kuin muut valmisteet, joten ne saattavat osaltaan selittää tuloksia Gramitrelin osalta.

Tutkimuksen kasvimateriaalilla oli optimaaliset olosuhteet, mutta tutkimuksen voisi toteuttaa tarkoituksellisesti kasveille stressaavissa olosuhteissa. Esimerkiksi kuivissa olosuhteissa toteutetusta vastaavanlaisesta tutkimuksesta voisi tulla ilmi onko ravinnekäsittelyn vaikutus suurempi, jos kasvuolosuhteet ovat puutteelliset. Jos kasvuympäristö olisi kuiva ja juuriston kasvu sen vuoksi hidasta, voisi tällaisissa olosuhteissa mahdollisesti tulla helpommin ilmi auttaako ravinnekäsittely juuristoa kasvamaan nopeammin ja siten saavuttamaan aiemmin maaperässä olevat ravinteet.

Tutkimuksessa käytetyt ravinne määrät olivat valmistajien ohjeiden mukaisia. Käsiteltävän siemenmäärän ollessa kuitenkin hyvin pieni eivät tässä tutkimuksessa käytetyt ravinne määrät välttämättä siltikään vastaa täysin valmistajan suosituksia, sillä hyvin pienten käyttömäärien takia ravinnevalmisteista merkittävä osa on saattanut jäädä sekoitusastioiden ja pipettien seinämiin. Siksi laboratoriomittakaavan ravinnekäsittely ei välttämättä vastaa täysin tilatason mittakaavan ravinnekäsittelyä, vaikka ravinnevalmisteiden annostelu toteutettiin äärimmäistä tarkkuutta noudattaen.

Ravinneliuosten laimentamisessa olisi pitänyt jo alusta asti huomioida, että kokonaisnestemäärän olisi pitänyt olla sama kaikilla käsittelyillä. Idätyspaperikokeen osalta näin ei ollut.

Idätyspaperikokeessa huomiota kiinnitettiin vain siihen, että kustakin ravinneliuoksesta saatiin vettä lisäämällä tarpeeksi juoksevaa, jotta ravinne sekoittui hyvin käsiteltäviin siemeniin. Jos eri käsittelyillä käytetään eri nestemääriä, ei lopulta voida tietää johtuvatko mahdolliset erot käsittelyjen välillä varsinaisista käsittelyistä vai nesteen määrästä. Kasvihuonekokeessa asia kuitenkin korjattiin ja kaikille käsittelyille käytettiin samaa kokonaisnestemääriä.

Idätyspaperikokeessa käytetyllä SmartRoot-ohjelmalla pystyi mittaamaan juuria tarkasti, ja samalla työllä sai mitattua montaa eri ominaisuutta. Mittaaminen oli kuitenkin hidasta eikä sen vuoksi sovellu suurille aineistoille. Vaikka ohjelmalla pystyi piirtämään juuret automaattisesti, automaattipiirto vaati paljon manuaalista korjaamista niissä kohdissa, missä kuva oli vähääkään epätarkka. SmartRoot-ohjelmassa käytettävien juurikuvien tulisi olla äärimmäisen tarkkoja ja

teräviä jokaista juurikarvaa myöten, jotta juurten piirtäminen toimisi moitteettomasti automaattitoiminnolla. Silloin ohjelmalla voisi käsitellä suurempiakin aineistoja.

Idätyspaperikokeessa SmartRoot-ohjelmalla mitatuille juuristoille olisi kannattanut tehdä tuorepainomääritys, jotta SmartRootilla saatuja mittaustuloksia olisi voitu verrata juuristojen tuorepainoihin. Tällöin olisi saatu käsitys siitä, kuinka luotettavia SmartRootilla mitatut tulokset ovat. Idätyspaperikokeen juuristot olivat kuitenkin viimeisenä kuvauspäivänä vielä niin pieniä, että virheen mahdollisuus juuristojen punnituksessa olisi ollut suuri. Vaa'an lukeman muuttuessa vähänkin ilmapirran vaikutuksesta pieniä juuristoja punnittaessa olisi mahdollisen virheen prosenttiosuus juuriston painosta ollut huomattava.

Juuriston pinta-alan määrittäminen kasvihuonekokeen valokuvista ImageJ-ohjelmalla osoittautui luotettavaksi menetelmäksi valokuvista mitattujen juuristopinta-alojen korreloidessa vahvasti juuristojen tuorepainojen kanssa. Mitä nuorempi juuristo oli, sen helpompaa pinta-alojen määrittäminen valokuvista oli. Tämä johtui oletettavasti siitä, että nuori juuristo ei yleensä ole vielä ehtinyt kasvaa huomattavan toispuoleiseksi. Mitä laajemmaksi juuristo kasvaa, sen epätasaisemmin valo osuu kuvattavalle alueelle. Juuristo ei kasva täydellisen symmetrisesti, vaan juurimassaa saattaa olla jossakin kohdassa kuvaa enemmän kuin toisessa kohtaa, minkä vuoksi juuristo myös heijastaa valoa epäsymmetrisesti. Epäsymmetriset heijastukset puolestaan haittasivat kuvankäsittelyä ImageJ-ohjelmalla, sillä juuri erotettiin taustasta kirkkauden perusteella. Epäsymmetriset heijastukset loivat kuviin epätasaisen kirkkauden, jolloin myös pinta-alan määrittäminen valokuvista kirkkauden perusteella oli vaikeampaa. ImageJ-ohjelmassa valokuville määritettiin tietyt kirkkauden raja-arvot, jotka edustivat keskimääräistä juuren kirkkautta. Jos jokin osa juurta jäi näiden kirkkausarvojen ulkopuolelle, oli se piirrettävä manuaalisesti uudelleen kuvaan.

Myös juuriston väri vaikutti kuvankäsittelyyn. Nuori juuristo on väriltään puhtaan valkoinen, jolloin kontrasti tummaan taustaan nähden teki kuvankäsittelystä helppoa. Valkea juuri oli helposti erotettavissa tummasta tausta juuriston ollessa alle 10 päivän ikäinen, mutta tämän jälkeen juurissa alkoi ilmetä paikoin tummumista. Tummat kohdat juuristossa eivät erottuneet taustasta

automaattisesti, vaan ne piti piirtää kuviin käsin. Tummuneet kohdat juuristoissa olivat kuitenkin useimmiten vain lyhyitä, yksittäisiä pätkiä, joten niiden aiheuttama manuaalinen työ pysyi kohtuuden rajoissa.

Vaikka pinta-alan mittaaminen valokuvista ImageJ-ohjelmalla osoittautuikin tässä opinnäytetyössä luotettavaksi menetelmäksi, ei sekään kuitenkaan suuren työmäärän vuoksi sovellu suurille aineistoille. Kylväminen oli hidasta ja työlästä, koska kankaan asentaminen akryylilevyn ja turvehiekkaseoksen väliin vaati aikaa ja tarkkuutta. Myös akryylilevyjen kiinnittäminen pultein ja mutterein kasvatustelikkoon oli hidasta, samoin niiden purkaminen kokeen loputtua. Valokuvaamiseen tulisi suurille aineistoille kehittää nopeampi menetelmä, sillä kasvatustelikkoiden nostaminen yksittäin kuvauspaikalle oli hidasta. Juuristot pitäisi pystyä kuvaamaan niin, että niitä ei tarvitsisi nostaa erikseen pois telineestään. Silloin kuitenkin kuvattavan juuriston molemmiin puoliin kasvavat naapurikasvit olisivat luoneet omat varjonsa kuviin, mikä olisi hankaloittanut kuvankäsittelyä liikaa.

Tutkimuksessa käytetty aineisto oli pieni eikä sen perusteella voida tehdä yleistyksiä tai varmoja johtopäätöksiä. Tämän laboratorio- ja kasvihuoneolosuhteissa toteutetun tutkimuksen perusteella ei myöskään voida tietää, miten ravinnepölyt olisivat vaikuttaneet pellolla kasvavaan materiaaliin. Haluttaessa tietää varmuudella onko kylvösiemenen ravinnepölystä hyötyä vai ei tulisi tutkimus toistaa useita kertoja erilaisissa olosuhteissa. Tämän tutkimuksen perusteella ei pystytty osoittamaan hyötyjä kylvösiemenen ravinnepölyn suhteen, mutta juuristojen pinta-alojen mittaaminen valokuvista ImageJ-ohjelmalla voitiin kuitenkin todeta luotettavaksi menetelmäksi valokuvista mitattujen pinta-alojen ja juuristojen tuorepainojen välisen vahvan korrelaation perusteella.

## Lähteet

Akhtar, S., Mekureyaw, M., Pandey, C. & Roitsch, T. (2020). Role of cytokinins for interactions of plants with microbial pathogens and pest insects. *Frontiers in plant science*, 19 Feb. 2020. Viitattu 22.12.2020.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01777>

Alakukku, L., Jaakkola, A., Kari, M., Kleemola, J., Mäntylähti, V., Partanen, E., Peltonen, J., Puustinen, M., Savela, P., Sipiläinen, T., Tauriainen, S. & Yli-Halla, M. (2009). *Ravinteet kasvintuotannossa*. ProAgria Keskusten Liiton julkaisu nro 1071.

Alakukku, L., Hartikainen, H., Kanerva, S., Palojärvi, A. & Soenne, H. (2017). Maan käyttökelpoisten ravinnevarojen arviointi vaatii testattua tietoa. *Käytännön maamies*, 4/2017. Viitattu 30.10.2019.

<https://kaytannonmaamies.fi/digilehti/04-2017/maan-kayttokelpoisten-ravinnevarojen-arviointi-vaatii-testat>

Alarcón, M.V., Salguero, J. & Lloret, P. (2019). Auxin modulated initiation of lateral roots is linked to pericycle cell length in maize. *Frontiers in plant science*, 24 January 2019. Viitattu 19.12.2020.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00011>

Ali, A. & Elozeiri, A. (2017). Metabolic processes during seed germination. *Advances in seed biology*, December 2017. Viitattu 19.12.2020.

[https://www.researchgate.net/publication/321636892\\_Metabolic\\_Processes\\_During\\_Seed\\_Germination](https://www.researchgate.net/publication/321636892_Metabolic_Processes_During_Seed_Germination)

Bentsink, L. & Koornneef, M. (2008). Seed dormancy and germination. *The arabidopsis book* (6). Viitattu 21.12.2020.

<https://doi.org/10.1199/tab.0119>

- Bethke, P., Schuurink, R. & Jones, R. (1997). Hormonal signalling in cereal aleurone. *Journal of experimental botany*, Vol. 48, No. 312, p. 1337–1365. July 1997. Viitattu 19.12.2020.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/48.7.1337>
- Birouste, M., Zamora-Ledezma, E., Bossard, C., Pérez-Ramos, I. & Roumet, C. (2013). Measurement of fine root tissue density: a comparison of three methods reveals the potential of root dry matter content. *Plant and soil*, 374, 2014, p.299–313. Viitattu 13.12.2020.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1874-y>
- Bleecker, A. (2000). Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. *Annual review of cell and developmental biology*, Jan 01, 2000, 16:1–18. Viitattu 21.12.2020.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.16.1.1>
- Bloodnick, E. (2018). Role of sodium and chloride in plant culture. Viitattu 1.12.2019.  
<https://www.pthorticulture.com/en/training-center/role-of-sodium-and-chloride-in-plant-culture/>
- Cakmak, I. (2013). Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant Soil*, 1. June 2013. Viitattu 15.1.2021.  
[https://www.researchgate.net/publication/257639323\\_Magnesium\\_in\\_Crop\\_Production\\_Food\\_Quality\\_and\\_Human\\_Health](https://www.researchgate.net/publication/257639323_Magnesium_in_Crop_Production_Food_Quality_and_Human_Health)
- Cakmak, I. & Yazici, A. (2010). Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better crops*, vol. 94, no.2. Viitattu 17.1.2021.  
<http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/en/pdf-articles/article-201006-better-crops-magnesium.pdf>
- Chen, A., Husted, S., Salt, D., Schjoerring, J. & Persson, D. (2019). The intensity of manganese deficiency strongly affects root endodermal suberization and ion homeostasis. *Plant physiology*, Oct. 2019. Viitattu 15.11.2020.  
<https://doi.org/10.1104/pp.19.00507>

Chen, Q., Sun, J., Zhai, Q., Zhou, W., Qi, L., Xu, L., Wang, B., Chen, R., Jiang, H., Qi, J., Li, X., Palme, K. & Li, C. (2011). The basic helix-loop-helix transcription factor MYC2 directly represses plethora expression during jasmonate-mediated modulation of the root stem cell niche in arabidopsis. *The plant cell*, Sep. 2011. Viitattu 23.12.2020.

<https://doi.org/10.1105/tpc.111.089870>

Corbineau, F., Xia, Q., Bailly, C. & El-Maarouf-Bouteau, H. (2014). Ethylene, a key factor in the regulation of seed dormancy. *Frontiers in plant sciences*, 10. Oct. 2014. Viitattu 21.12.2020.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00539>

Ding, Y.-C., Chang, C.-R., Luo, W., Wu, Y.-S., Ren, X.-L., Wang, P. & Xu, G.-H. (2008). High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. *Pedosphere*, Vol. 18, issue 3, p. 316-327. Viitattu 15.1.2021.

[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60021-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60021-1)

Dove, N. (2010). The effect of increasing temperature on germination of native plants species in the north woods region. University of Vermont. Viitattu 25.12.2020.

<https://underc.nd.edu/assets/156376/fullsize/dove2010.pdf>

Fageria, N.K. & Moreira, A. (2011). The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in agronomy*, 110, p. 251–331. December 2011. Viitattu 14.12.2020.

[https://www.researchgate.net/publication/251449023\\_The\\_Role\\_of\\_Mineral\\_Nutrition\\_on\\_Root\\_Growth\\_of\\_Crop\\_Plants](https://www.researchgate.net/publication/251449023_The_Role_of_Mineral_Nutrition_on_Root_Growth_of_Crop_Plants)

Farmit (2009a). Opi tunnistamaan ravinteiden aiheuttamat puutosoireet. Viitattu 31.3.2019.

<https://www.farmit.net/kasvinviljely/2009/03/13/opi-tunnistamaan-ravinteiden-aiheuttamat-puutosoireet>

Farmit (2016). Mikä ihmeen kationinvaihtokapasiteetti? Viitattu 18.4.2020.

<https://www.farmit.net/blog/2016/10/24/mika-ihmeen-kationinvaihtokapasiteetti>

Farmit (2009b). Tunnista typen puutosoireet kasvustosta-typin ravinteena. Viitattu 19.10.2019.

<https://www.farmit.net/kasvinviljely/2009/04/03/tunnista-typen-puutosoireet-kasvustosta-typin-ravinteena>

Farmit (2009c). Molybdeenin merkitys kasvilla. Viitattu 1.12.2019.

<https://www.farmit.net/kasvinviljely/2009/05/04/molybdeenin-merkitys-kasvilla>

Farmit (n.d.-a). Ravinteet mahdollistavat fotosynteesin. Viitattu 23.10.2019.

<https://www.farmit.net/kasvinviljely/lannoitus/ravinteet>

Farmit (n.d.-b). Kalkituksen vaikutukset. Viitattu 26.6.2020.

<https://www.farmit.net/kasvinviljely/kalkitus/kalkin-vaikutukset>

Farmit (n.d.-c). Kupari. Viitattu 26.6.2020.

<https://www.farmit.net/kasvinviljely/lannoitus/ravinteet/kupari>

Farooq, M., Wahid, A. & Siddique, K. (2012). Micronutrient application through seed treatments – a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 2012, 12 (1) s. 125–142. Viitattu 14.11.2020.

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/jsspn/v12n1/art11.pdf>

Forbes, JC & Watson, RD (1992). *Plants in agriculture*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Gallardo, M., Delgado, M., Sánchez-Calle, I. & Matilla A. (1991). Ethylene production and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid conjugation in thermoinhibited cicer arietinum L. seeds. *Plant physiology*, Sept. 1991. Viitattu 21.12.2020.

<https://doi.org/10.1104/pp.97.1.122>

Gelderen, K., Kang, C. & Pierik, R. (2018). Light signaling, root development, and plasticity. *Plant physiology*, Feb 2018. Viitattu 12.12.2020.

<http://www.plantphysiol.org/content/176/2/1049>

Gomi, K. (2020). Jasmonic acid: an essential plant hormone. *International journal of molecular sciences*, 2020 Feb; 21(4): 1261. Viitattu 23.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.3390%2Fijms21041261>

Guan, C., Wang, X., Feng, J., Hong, S., Lian, Y., Ren, B., & Zuo, J. (2014). Cytocinin antagonizes abscisid acid-mediated inhibition of cotyledon greening by promoting the degradation of abscisid acid insensitive5 protein in arabidopsis. *Plant physiology*, March 2014. Viitattu 22.12.2020.

<https://doi.org/10.1104/pp.113.234740>

Guzmán-Ortiz, F., Castro-Rosas, J., Gomez-Aldapa, C. & Mora-Escobedo, R. (2018). Enzyme activity during germination of different cereals: a review. *ResearchGate*, Sept. 2018. Viitattu 25.12.2020.

[https://www.researchgate.net/publication/327814891\\_Enzyme\\_activity\\_during\\_germination\\_of\\_different\\_cereals\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/327814891_Enzyme_activity_during_germination_of_different_cereals_A_review)

Havlin, T., Tisdale, S., Nelson, B. & Beaton, J. (2013). *Soil fertility and fertilizers*. New Jersey: Pearson.

Hermans, C. & Verbruggen, N. (2005). Physiological characterization of of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of experimental botany*, 27 June 2005. Viitattu 17.1.2021.

<https://academic.oup.com/jxb/article/56/418/2153/471024>

Hermans, C., Vuylsteke, M., Coppens, F., Cristescu, S., Harren, F., Inzé, D. & Verbruggen, N. (2010). Systems analysis of the responses to long-term magnesium deficiency and restoration in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist*, 04 June 2010. Viitattu 20.1.2021.

<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2010.03257.x>

Hildebrandt, T., Nesi, A., Araújo, W. & Braun, H.-P. (2015). Amino Acid Catabolism in Plants. *Molecular plant*, Vol 8, issue 11. 2 November 2015. s.1563–1579. Viitattu 3.12.2019.

<https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.09.005>

Hisamatsu, T., King, R., Helliwell, C. & Koshioka, M. (2005). The involvement of gibberellin 20-oxidase genes in phytochrome -regulated petiole elongation of arabidopsis. *Plant physiology*, June 2005. Viitattu 14.12.2020.

<https://doi.org/10.1104/pp.104.059055>

Huang, Y.-C., Yeh, T.-H. & Yang, C.-Y. (2019). Ethylene signaling involves in seed germination upon subemergence and antioxidant response elicited confers subemergence tolerance to rice seedlings. *US national library of medicine national institutes of health*, 2019 Apr 11. Viitattu 22.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.1186%2Fs12284-019-0284-z>

Hummel, I., Vile, D., Violle, C., Devaux, J., Ricci, B., Blanchart, A., Garnier, É. & Roumet, C. (2006). Relating root structure and anatomy to whole-plant functioning in 14 herbaceous Mediterranean species. *New phytologist*, 02 Nov 2006. Viitattu 13.12.2020.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01912.x>

ImageJ (2018). ImageJ. Viitattu 3.9.2020.

<https://imagej.net/Welcome>

Iowa Agriculture Literacy Foundation (2018). Science 101: Germination. Viitattu 10.10.2020.

<https://iowaagliteracy.wordpress.com/2018/05/04/science-101-germination/>

Jones, J.B. (2012). Plant nutrition and soil fertility manual. Boca Raton: CRC Press.

Joshi, R. (2018). Role of enzymes in seed germination. *International journal of creative research thoughts*, Vol. 6, Issue 2, April 2018, issn: 2320-2882. Viitattu 19.12.2020.

[https://www.researchgate.net/publication/325668819\\_Role\\_of\\_Enzymes\\_in\\_Seed\\_Germination](https://www.researchgate.net/publication/325668819_Role_of_Enzymes_in_Seed_Germination)

Kekkilä (n.d.). Tamiseossäkin tuoteseloste. Luettu säkin kyljestä 28.11.2020.

- Kircher, S. & Schopfer, P. (2012). Photosynthetic sucrose acts as cotyledon-derived long-distance signal to control root growth during early seedling development in arabidopsis. *Proceedings of the national academy of sciences of the united states of America*, July 10, 2012 109 (28) s. 11217 – 11221. Viitattu 15.11.2020.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1203746109>
- Laplaze, L., Benkova, E., Casimiro, I., Maes, L., Vanneste, S., Swarup, R., Weijers, D., Calvo, V., Parizot, B., Herrera-Rodrigues, M.B., Offringa, R., Graham, N., Doumas, P., Friml, J., Bogusz, D., Beeckman, T. & Bennett, M. (2007). Cytokinins act directly on lateral root founder cells to inhibit root initiation. *The plant cell*, 2007 Dec; 19 (12): 3889-3900. Viitattu 22.12.2020.  
<https://dx.doi.org/10.1105%2Ftpc.107.055863>
- Laurila, J. (2018). Mitä itämislepo on ja miksi sitä on? *Kylvösiemen* 3/2018. Viitattu 10.2.2021.  
[https://www.researchgate.net/publication/333642711\\_Mita\\_itamislepo\\_on\\_ja\\_miksi\\_sita\\_on](https://www.researchgate.net/publication/333642711_Mita_itamislepo_on_ja_miksi_sita_on)
- Lebosol (n.d.) Aminosol. Viitattu 5.4.2019.  
<https://www.lebosol.de/en/product/aminosol/>
- Le Marié, C., Kirchgessner, N., Marschall, D., Walter, A. & Hund, A. (2014). Paper-based growth system for non-destructive, high throughput phenotyping of root development by means of image analysis. *Plant methods*, 2014 May no 10 article no 13. Viitattu 11.10.2020.  
<https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/1746-4811-10-13>
- Linkohr, B., Williamson, L., Fitter, A. & Leyser, H.M. (2002) Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of arabidopsis. *The plant journal*, (2002) 29 (6), 751-760. Viitattu 25.12.2020.  
<http://eprints.whiterose.ac.uk/489/1/fitterah5.pdf>
- Liu, L., Liu, F., Chu, J., Yi, X., Fan, W., Tang, T., Chen, G., Guo, Q. & Zhao, X. (2019). A transcriptome analysis reveals a role for the indole GLS-linked auxin biosynthesis in secondary dormancy in rapeseed (*Brassica napus* L.) *BMC Plant biology*, 19 article no. 264. Viitattu 19.12.2020.  
<https://bmcpplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-019-1866-z>

López-Bucio, J., Cruz-Ramírez, A. & Herrera-Estrella, L. (2003) The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current opinion in plant biology*, 2003, 6: 280-287. Viitattu 25.12.2020.

[10.1016/S1369-5266\(03\)00035-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00035-9)

Lynch, J. (2013). Steep, cheep and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of botany*, Vol. 112, issue 2, July 2013, p. 347-357. Viitattu 26.12.2020.

<https://academic.oup.com/aob/article/112/2/347/162759>

Martel, C., Blair, L. & Donohue, K. (2018) PHYD prevents secondary dormancy establishment of seeds exposed to high temperature and is associated with lower PIL5 accumulation. *Journal of experimental botany*, 2018 Apr. 10. Viitattu 25.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.1093%2Fjxb%2Fery140>

Mathieu, L., Lobet, G., Tocquin, P. & Périlleux, C. (2015). "Rhizoponics": a novel hydroponic rhizotron for root system analyses on mature *Arabidopsis thaliana* plants. *Plant methods*, Vol 11, 2015, No 1 p.3. Viitattu 13.12.2020.

[10.1186/s13007-015-0046-x](https://doi.org/10.1186/s13007-015-0046-x)

Mattila, T. (2016). Hivenlannoitteet testissä. *Käytännön maamies* 17.3.2016. Viitattu 22.3.2019.

<https://kaytannonmaamies.fi/hivenlannoitteet-testissa/>

Miransari, M. & Smith, D.L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and experimental botany*, 99 (2014) p. 110-121. Viitattu 19.12.2020.

<https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Miransari-y-Smith-2014.pdf>

Myllys, M., Gustafsson, M., Koppelmäki, K., Känkänen, H., Palojärvi, A. & Alakukku, L. (2014). Juuristotietopaketti -Juuret maan rakenteen parantajina. *Faktaa* 8. Elokuu 2014. Viitattu 12.12.2020.

[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103454/ely%20juuristotieto\\_LR.PDF](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103454/ely%20juuristotieto_LR.PDF)

MyWuxal (n.d.). Special Mn pronounced nutrient seed treatment for cereals. Viitattu 1.3.2021.

<https://www.mywuxal.com/en/product/terios-mn>

Mäkinen, H. (2019). Mangaanipeittauksella 800 kilon sadonlisä. *Maatilalla* 25.02.2019. Viitattu 22.3.2019.

<https://www.lantmannenagro.fi/maatilalla/artikkelit/2019/mangaanipeittauksella-800-kilon-sadonlisa/>

Nam, Y.-J., Tran, L.-S., Kojima, M., Sakakibara, H., Nishiyama, R. & Shin, R. (2012). Regulatory roles of cytokinins and cytokinin signaling in response to potassium deficiency in Arabidopsis. *PLoS one*, 2012; 7 (10): e47797. Viitattu 22.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0047797>

Pague, S. & Weijers, D. (2016). Q&A: Auxin: The plant molecule that influences almost anything. *BMC Biology*, 14, article no. 67. 10 august 2016. Viitattu 19.12.2020.

<https://bmcbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12915-016-0291-0>

Pankakoski, A. (2006). *Puutarhurin kasvioppi*. Helsinki: Edita.

Passot, S., Gnacko, F., Moukouanga, D., Lucas, M., Guyomarc'h, S., Ortega, B., Atkinson, J., Belko, M., Bennett, M., Gantet, P., Wells, D., Guédon, Y., Vigouroux, Y., Verdeil, J-L., Muller, B. & Laplaze, L. (2016). Characterization of pearl millet root architecture and anatomy reveals three type of lateral roots. *Frontiers in plant science*, 2016 June 13. Viitattu 13.11.2020.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00829>

Peltonen-Sainio, P., Rajala, A. & Seppälä, R. (2005). Viljojen kehityksen ja kasvun ABC. Viitattu 12.12.2020.

<http://www.mtt.fi/met/pdf/met67.pdf>

Pham, L.B. (2017). What is primary dormancy? July 21, 2017. Viitattu 19.12.2020.

<https://sciencing.com/what-is-primary-dormancy-12000204.html>

Plaza-Bonilla, D., Cantero-Martínez, C., Álvaro-Fuentes, J. & Lampurlanés, J. (2012). Low-cost image analysis method to quantify root surface area. Viitattu 13.11.2020.

[http://www2.atb-potsdam.de/cigr-imageanalysis/images/images12/tabla\\_137\\_C1448.pdf](http://www2.atb-potsdam.de/cigr-imageanalysis/images/images12/tabla_137_C1448.pdf)

Pommerrenig, B., Eggert, K. & Bienert, G.P. (2019) Boron deficiency effects on sugar, ionome, and phytohormone profiles of vascular and non-vascular leaf tissues of common plantain (*Plantago Major* L.). *International journal of molecular sciences*. 09 Aug. 2019. Viitattu 28.12.2020.

<https://doi.org/10.3390/ijms20163882>

Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K. & Górecki, H., (2018). Effect of new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules*, 2018 Feb 21. Viitattu 3.4.2019.

<https://dx.doi.org/10.3390%2Fmolecules23020470>

Reed, R., Brady, S. & Muday, G. (1998). Inhibition of auxin movement from the shoot into the root inhibits lateral root development in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, December 1998. Viitattu 14.12.2020.

<https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1369>

Rentsch, D., Schmidt, S. & Tegeder, M. (2007). Transporters for uptake and allocation of organic nitrogen compounds in plants. *Febspress*, 2007 April 18. Viitattu 15.1.2021.

<https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.013>

Ryser, P. (2006). The mysterious root length. *Plant and soil*, 286, p. 1–6 (2006). Viitattu 13.12.2020.

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-006-9096-1>

Ryser, P. & Lambers, H. (1995). Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow- growing grasses at different nutrient supply. *Plant and soil*, 170, p. 251–265 (1995). Viitattu 13.12.2020.

<https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00010478>

Saulheitl, L., Glaser, B. & Weigelt, A. Uptake of intact amino acids depends on soil amino acid concentration. *Environmanetal and experimental botany*, 2009 May vol. 66 issue 2 p. 145–152. Viitattu 11.10.2020.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.009>

Schopfer, P., Bajracharya, D. & Blachy, C. (1979). Control of seed germination by abscisic acid.

*Plant physiology*, Nov 1979; 64 (5): 822-827. Viitattu 19.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.1104%2Fpp.64.5.822>

Seppänen, M. (2001). Siemeneen kannattaa satsata. Maatilan Pellervo. Toukokuu 2001. Viitattu 15.6.2020.

[https://www.pellervo.fi/maatila/5\\_01/siemeneen.htm](https://www.pellervo.fi/maatila/5_01/siemeneen.htm)

Shireen, F., Nawaz, M., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y. & Bie, Z. (2018). Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International journal of molecular sciences*, Jun 24, 2018. Viitattu 27.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.3390%2Fijms19071856>

SmartRoot (n.d.). Viitattu 25.2.2021.

<https://smartroot.github.io/>

SmartRoot (2014). User Guide. Viitattu 26.6.2020.

<https://smartroot.github.io/SmartRoot-Installation/>

Steber, C. & McCourt, P. (2001). A role of brassinosteroids in germination in arabidopsis. *Plant physiology*, Feb. 2001. Viitattu 23.12.2020.

<https://doi.org/10.1104/pp.125.2.763>

Takkinen, A. (2020). *Viljakasvien juuriston kuvantamismenetelmän kehittäminen* [Opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu]. Viitattu 26.6.2020.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339360/Takkinen\\_Anniina.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339360/Takkinen_Anniina.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Tanimoto, E. (2005) Regulation of root growth by plant hormones—roles for auxin and gibberellin. *Critical reviews in plant sciences*, 24 (4): 249-265. Viitattu 25.12.2020.

[https://www.researchgate.net/publication/248936847\\_Regulation\\_of\\_Root\\_Growth\\_by\\_Plant\\_Hormones-Roles\\_for\\_Auxin\\_and\\_Gibberellin](https://www.researchgate.net/publication/248936847_Regulation_of_Root_Growth_by_Plant_Hormones-Roles_for_Auxin_and_Gibberellin)

Tavares, L., Brunes, A., de Tunes, L., Gadotti, G., Barros, A. & Villela, F. (2013). The yield and physiological quality of oat seeds subjected to cover with zinc. *Acta scientiarum. Agronomy, Vol. 35*, No.3. July/Sept. 2013. Viitattu 7.3.2020.

<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.16359>

The Sulphur Institute (2020). Sulphur — the fourth major plant nutrient. Viitattu 27.12.2020.

<https://www.sulphurinstitute.org/about-sulphur/sulphur-the-fourth-major-plant-nutrient/>

Toh, S., Imamura, A., Watanabe, A., Nakabayashi, K., Okamoto, M., Jikumary, Y., Hanada, A., Aso, Y., Ishiyama, K., Tamura, N., Iuchi, S., Kobayashi, M., Yamaguchi, S., Kamiya, Y., Nambara, E. & Kawakami, N. (2008). High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in arabidopsis seeds. *Plant physiology*, 2008 Mar; 146 (3): 1368-1385. Viitattu 25.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.1104%2Fpp.107.113738>

Tuteja, N. (2007). Abscisic acid and abiotic stress signaling. *Plant signaling & behavior*, 2007 May-Jun; 2 (3): 135–138. Viitattu 19.12.2020.

<https://dx.doi.org/10.4161%2Fpsb.2.3.4156>

University of Missouri (2011). Diagnosing nutrient deficiencies. June 1, 2011. Viitattu 20.1.2021.

<https://ipm.missouri.edu/meg/2011/6/Diagnosing-Nutrient-Deficiencies/>

Viljelijän Avena Berner (n.d.-a). Aminosol.26.10.2020.

<https://viljelijanberner.fi/lannoitteet-ja-maanparannus/lehtilannoitteet/aminosol-9-n-10l.html>

Viljelijän Avena Berner (n.d.-b). Wuxal Terios mn+. Viitattu 28.11.2020.

<https://viljelijanberner.fi/wuxal-terios-mn-10l.html>

Wang, Y., Diao, P., Kong, L., Yu, R., Zhang, M., Zuo, T., Fan, Y., Niu, Y., Yan, F. & Wuriyangan, H. (2020). Ethylene enhances seed germination and seedling growth under salinity by reducing oxidative stress and promoting chlorophyll content via ETR2 pathway. *Frontiers in plant science*, 16 July 2020. Viitattu 22.12.2020.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01066>

- Wang, Y., Thorup-Kristensen, K., Jensen, L. & Magid, J. (2016) Vigorous root growth is a better indicator of early nutrient uptake than root hair traits in spring wheat grown under low fertility. *Frontiers in plant science*, 2016 Jun. 16. Viitattu 22.12.2020.  
<https://dx.doi.org/10.3389%2Ffpls.2016.00865>
- Washington State University (n.d.). Macronutrients. Viitattu 15.1.2021.  
[http://smallgrains.wsu.edu/soil-and-water-resources/essential-nutrients/](http://smallgrains.wsu.edu/soil-and-water-resources/essential-nutrients/macronutrients/)
- Wilhelm, N. & Davey, S. (2016). Detecting and managing trace element deficiencies in crops. Grain research & development corporation. 09 Feb. 2016. Viitattu 27.12.2020.  
<https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2016/02/detecting-and-managing-trace-element-deficiencies-in-crops>
- Xu, F.S., Wang, Y.H. & Meng, J. (2001). Mapping boron efficiency gene(s) in brassica napus using RFLP and AFLP markers. *Plant breeding*, 120, 319—324, 2001. Viitattu 28.12.2020.  
[https://www.researchgate.net/publication/229942014\\_Mapping\\_boron\\_efficiency\\_genes\\_in\\_B\\_rassica\\_napus\\_using\\_RFLP\\_and\\_AFLP\\_markers](https://www.researchgate.net/publication/229942014_Mapping_boron_efficiency_genes_in_B_rassica_napus_using_RFLP_and_AFLP_markers)
- Xu, Q., Truong, T., Barrero, J., Jacobsen, J., Hocart, C. & Gubler, F. (2016). A role of jasmonates in the release of dormancy by cold stratification in wheat. *Journal of experimental botany*, 2016 May; 67 (11): 3497-3508. Viitattu 23.12.2020.  
<https://dx.doi.org/10.1093%2Fjxb%2F67113497>
- Yara (2020a). Lannoiteopas 2020–2021. s.53. Viitattu 4.11.2020.  
[https://www.yara.fi/contentassets/933fda523d41435ca01181ddbd46f4b1/yara\\_lannoiteopas\\_2020\\_fi\\_0409.pdf/](https://www.yara.fi/contentassets/933fda523d41435ca01181ddbd46f4b1/yara_lannoiteopas_2020_fi_0409.pdf/)
- Yara (2020b). Mantrac Pro. Viitattu 28.11.2020.  
<https://yara-i.com/labels/wlfiyp75m00.pdf>
- Yara (n.d.-a). Mangaani. Viitattu 31.3.2019.  
<https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/mangaani/>

Yara (n.d.-b). Kupari. Viitattu 19.10.2019.

<https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/kupari/>

Yara (n.d.-c). Rikki. Viitattu 30.11.2019.

<https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/rikki/>

Yara (n.d.-d). Typpi. Viitattu 26.6.2020.

<https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/typpi/>

Yara (n.d.-e). Boori. Viitattu 26.6.2020.

<https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/boori/>

Yara (n.d.-f). Sinkki. Viitattu 26.6.2020.

<https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/sinkki/>

Yara (n.d.-g). Gramitrel. Seloste pakkauksen kyljessä. Luettu 28.11.2020.

Yara International (n.d.). Viitattu 15.1.2021.

<https://www.farmit.net/kasvinviljely/2009/04/01/tunnista-magnesiumin-puutosoireet-kasvustosta-magnesium-ravinteena>

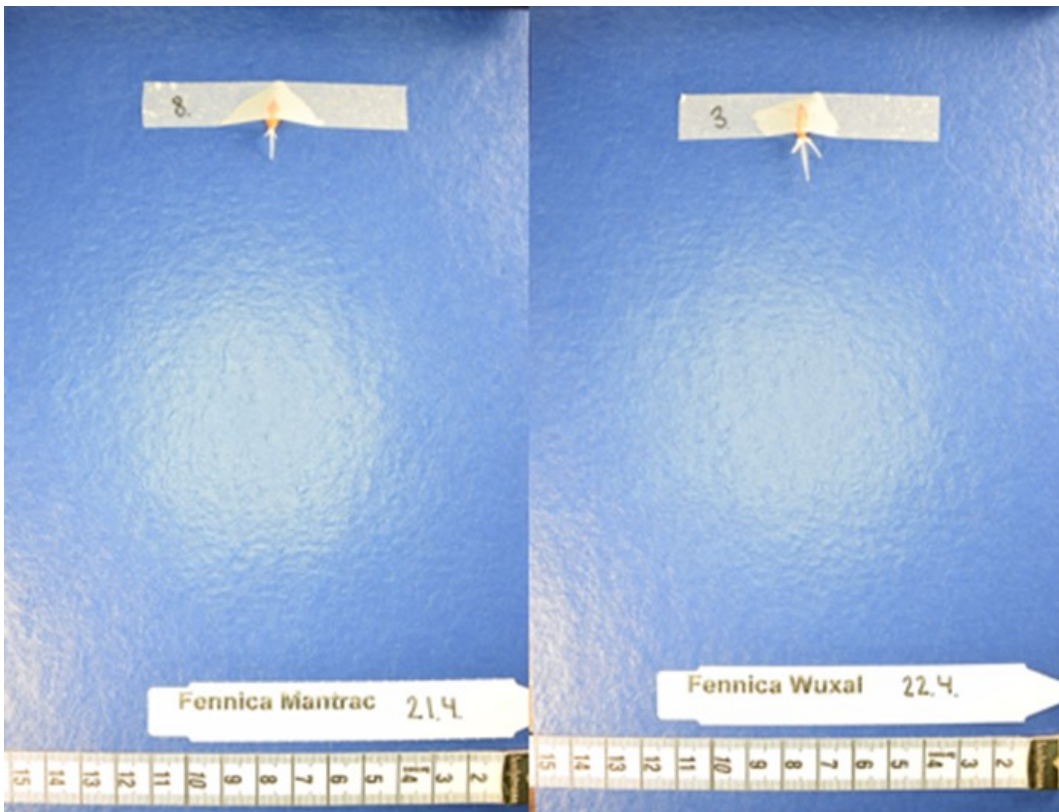
Zhao, F.J., Hawkesford, M.J. & McGrath, S.P. (1998) Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of cereal science*, Article no. jcrs. 1998.0241. Viitattu 27.12.2020.

<https://doi.org/10.1006/jcrs.1998.0241>

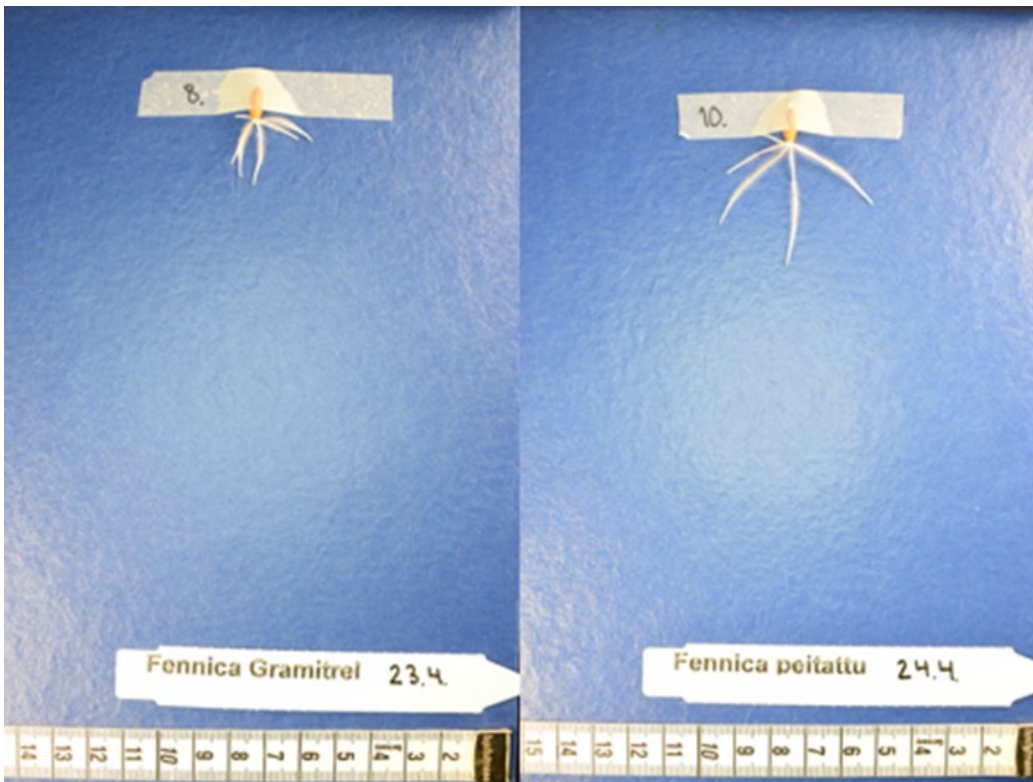
**Liite 1: Mallikuvat idätyspaperikoe**

Liitteessä 1 on esitetty mallikuvat idätyspaperikokeesta jokaisena kuvauspäivänä. Kuviksi on valittu kunkin kuvauspäivän keskimääräistä juuristoa edustava kuva.

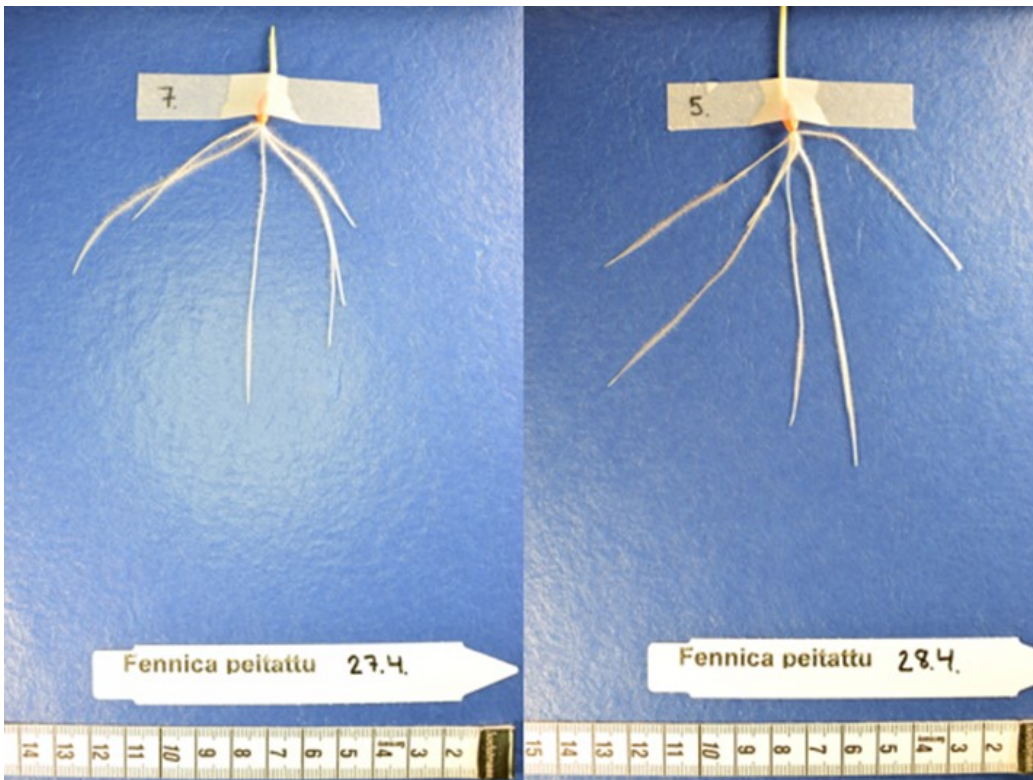
Vasemmalla juuret 4 vrk itämäänlaitosta, oikealla 5 vrk itämäänlaitosta (kirjoittajan kuva).



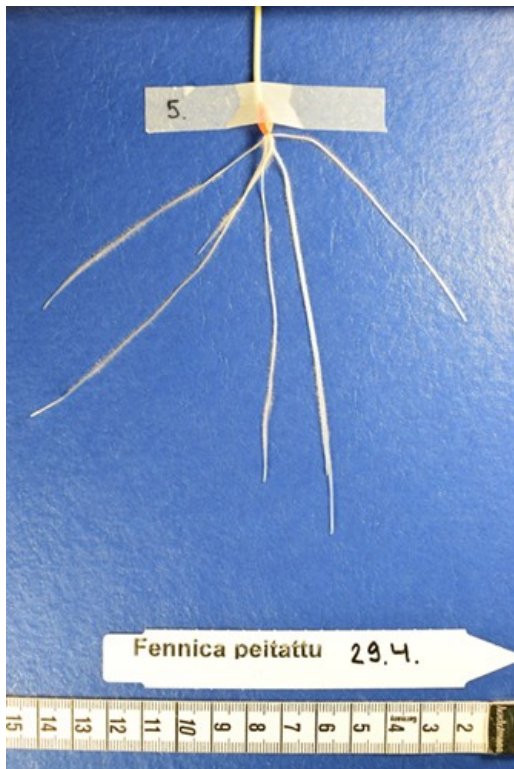
Vasemmalla juuret 8 vrk itämäänlaitosta, oikealla 9 vrk itämäänlaitosta (kirjoittajan kuva).



Vasemmalla juuret 10 vrk itämäänlaitosta, oikealla 11 vrk itämäänlaitosta (kirjoittajan kuva).



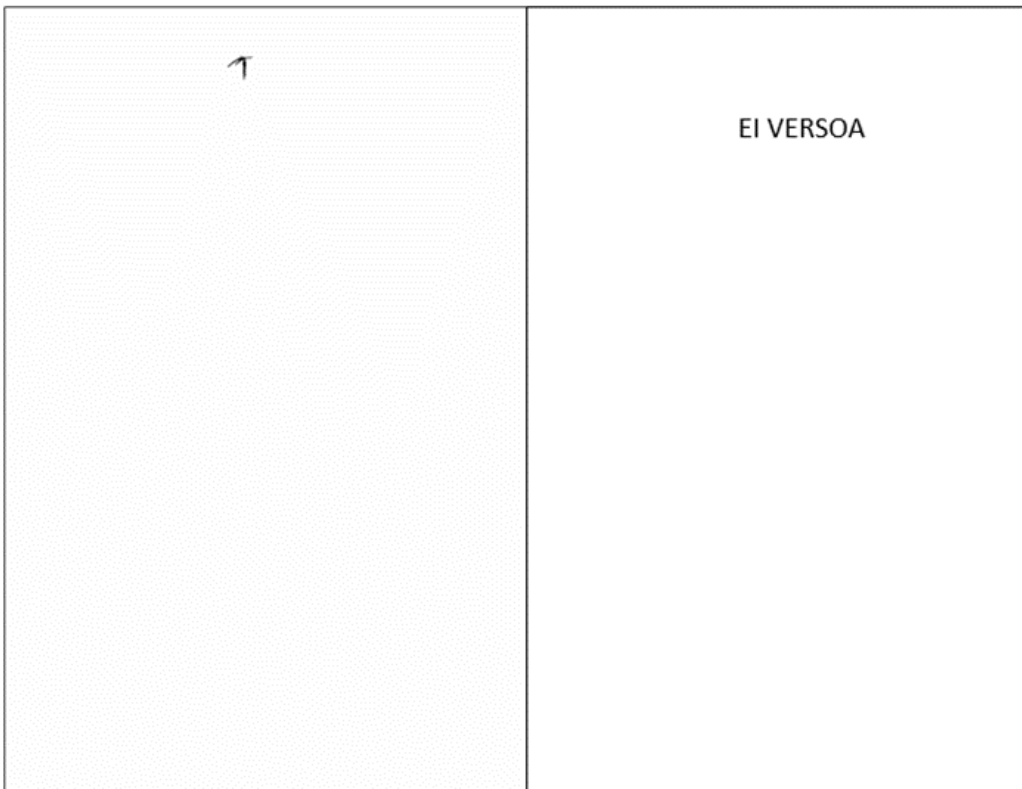
Juuret 12 vrk itämäänlaitosta (kirjoittajan kuva).



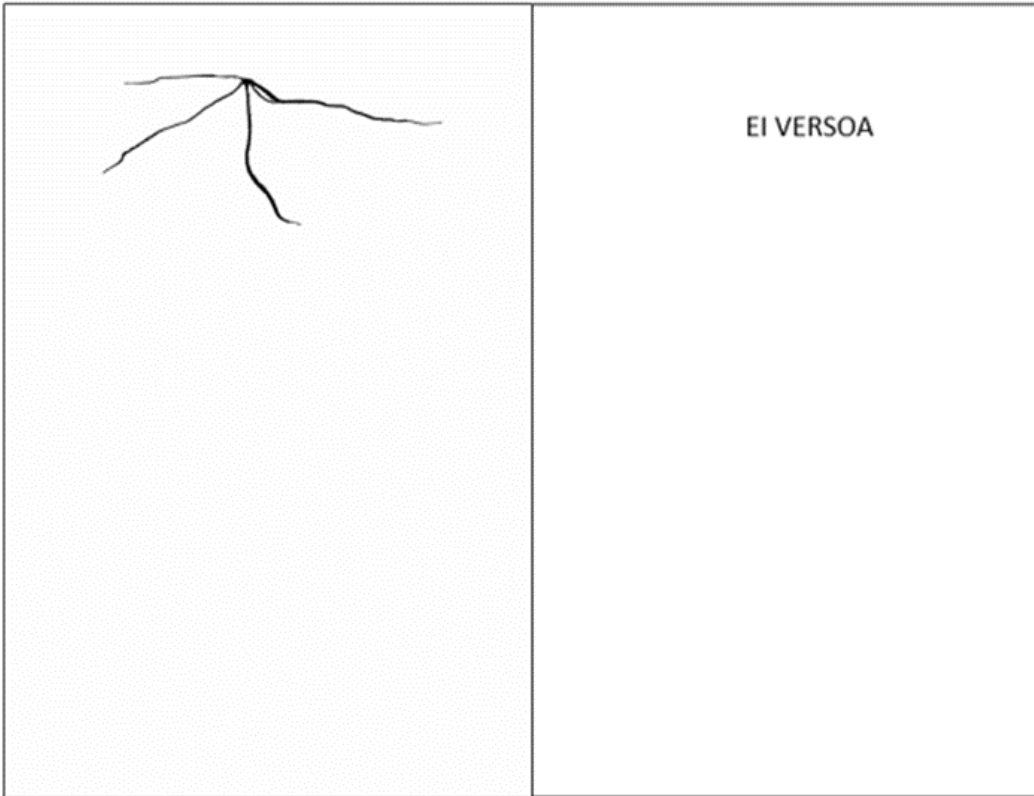
**Liite 2: Mallikuvat kasvihuonekoe**

Liitteessä 2 on esitetty mallikuvat kuvat juuresta ja versosta jokaisena kuvauspäivänä. Kuviksi on valittu kunkin kuvauskerran keskimääräistä juuristoa ja versoa edustava kuva. Kuvatekstissä on mainittuna jokaista kuvauskertaa edustava kasvuaste Zadoksin asteikon mukaan. Juuristokuva on ImageJ-ohjelmalla käsitelty versio alkuperäisestä valokuvasta.

Juuret ja verso 2 vrk itämäänlaitosta, BBCH 9 (kirjoittajan kuva).



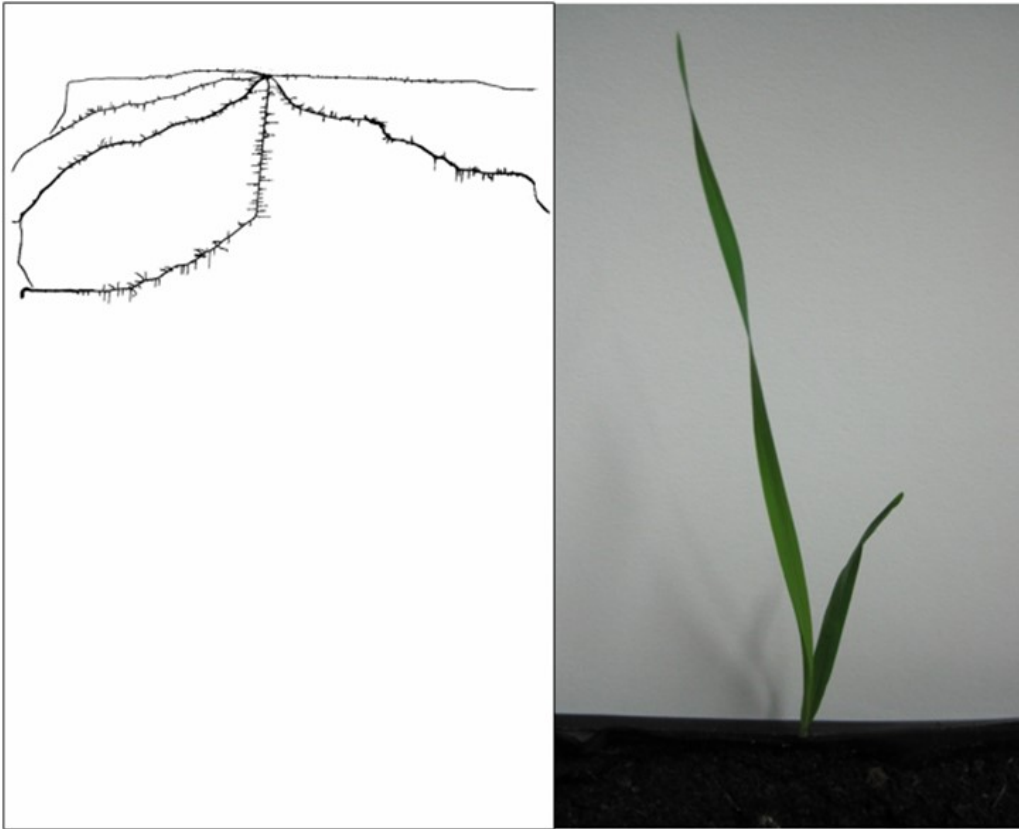
Juuret ja verso 5 vrk itämälaitosta, BBCH 9 (kirjoittajan kuva).



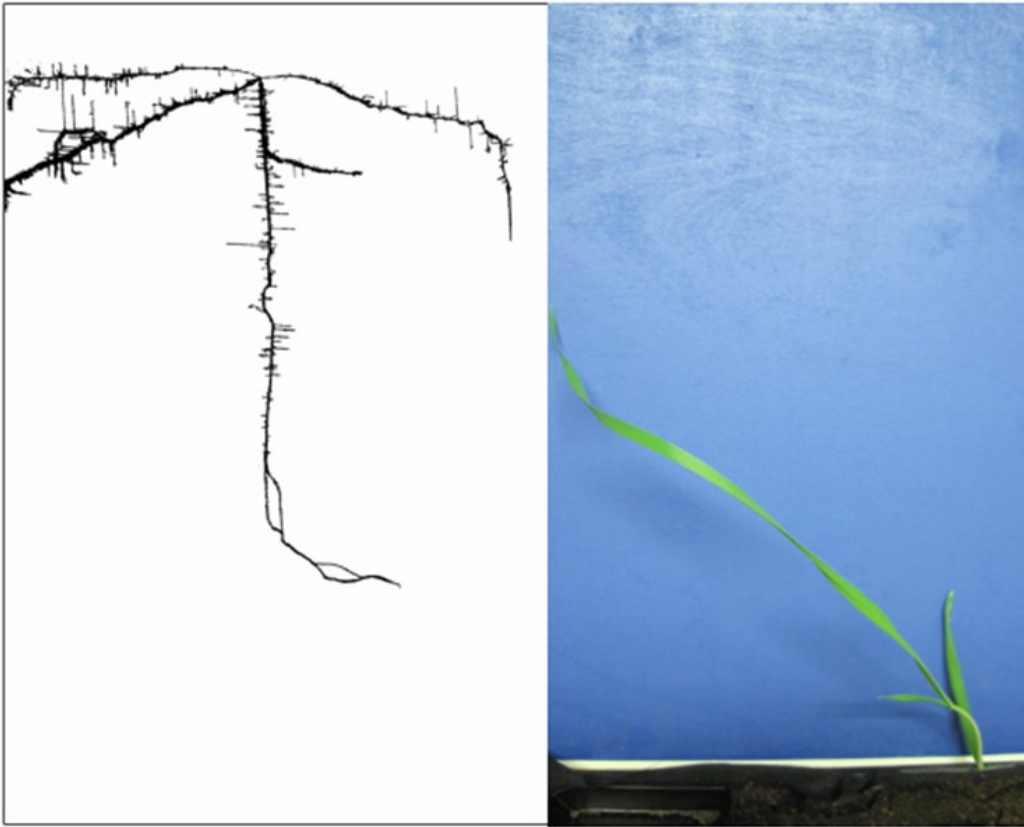
Juuret ja verso 9 vrk itämälaitosta, BBCH 11 (kirjoittajan kuva).



Juuret ja verso 12 vrk itämälaitosta, BBCH 12 (kirjoittajan kuva).



Juuret ja verso 16 vrk itämälaitosta, BBCH 12 (kirjoittajan kuva).



Juuret ja verso 19 vrk itämälaitosta, BBCH 13 (kirjoittajan kuva).



**Liite 3: Tilastolliset taulukot idätyspaperikoe**

Taulukoissa on esitetty päiväkohtaisesti kunkin juurista mitatun muuttujan keskiarvo ja keskivirhe eri ravinnekäsittelyillä. ANOVA P-sarake kertoo varianssianalyysin osoittaman merkitsevyyden tuloksissa eri käsittelyjen välillä. Tulos on merkitsevä tasolla  $p < 0,05$ . Taulukoiden luvut on esitetty yhtä juurta kohden paitsi juurilukumäärän osalta, joka on esitetty yhtä näytettä kohden.

Taulukko a

Juuren pituus

| Juuren pituus (cm)  |            |          |         |       |           |          |         |
|---------------------|------------|----------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | GramitreI | Aminosol | ANOVA P |
| 4                   | Keskiarvo  | 0,253    | 0,250   | 0,235 | 0,258     | 0,183    | 0,652   |
|                     | Keskivirhe | 0,041    | 0,040   | 0,040 | 0,035     | 0,034    |         |
| 5                   | Keskiarvo  | 0,624    | 0,634   | 0,604 | 0,663     | 0,601    | 0,862   |
|                     | Keskivirhe | 0,056    | 0,052   | 0,058 | 0,049     | 0,057    |         |
| 6                   | Keskiarvo  | 1,122    | 1,201   | 1,167 | 1,267     | 0,990    | 0,250   |
|                     | Keskivirhe | 0,076    | 0,077   | 0,085 | 0,073     | 0,075    |         |
| 7                   | Keskiarvo  | 1,830    | 1,966   | 1,825 | 1,968     | 1,810    | 0,804   |
|                     | Keskivirhe | 0,108    | 0,112   | 0,118 | 0,105     | 0,112    |         |
| 8                   | Keskiarvo  | 2,612    | 2,849   | 2,635 | 2,797     | 2,668    | 0,752   |
|                     | Keskivirhe | 0,151    | 0,159   | 0,168 | 0,147     | 0,159    |         |
| 9                   | Keskiarvo  | 3,451    | 3,701   | 3,379 | 3,850     | 3,459    | 0,412   |
|                     | Keskivirhe | 0,208    | 0,219   | 0,230 | 0,208     | 0,221    |         |
| 10                  | Keskiarvo  | 4,396    | 4,752   | 4,262 | 4,862     | 4,379    | 0,344   |
|                     | Keskivirhe | 0,260    | 0,275   | 0,290 | 0,260     | 0,277    |         |
| 11                  | Keskiarvo  | 5,694    | 6,141   | 5,413 | 6,050     | 5,430    | 0,318   |
|                     | Keskivirhe | 0,322    | 0,341   | 0,355 | 0,315     | 0,338    |         |
| 12                  | Keskiarvo  | 6,961    | 7,602   | 6,603 | 7,478     | 6,568    | 0,202   |
|                     | Keskivirhe | 0,378    | 0,402   | 0,417 | 0,372     | 0,396    |         |

Taulukko b

## Juuren päivittäinen pituuskasvu

| Juuren päivittäinen pituuskasvu (cm) |            |                    |                    |                     |                     |                     |        |
|--------------------------------------|------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Vrk itämäärä                         | Peitattu   | Mantrac            | Wuxal              | Gramitre            | Aminosol            | ANOVA P             |        |
| 5                                    | Keskiarvo  | 0,603              | 0,544              | 0,562               | 0,573               | 0,530               | 0,859  |
|                                      | Keskivirhe | 0,038              | 0,034              | 0,037               | 0,032               | 0,032               |        |
| 6                                    | Keskiarvo  | 0,790              | 0,762              | 0,746               | 0,806               | 0,699               | 0,406  |
|                                      | Keskivirhe | 0,031              | 0,029              | 0,032               | 0,027               | 0,032               |        |
| 7                                    | Keskiarvo  | 0,904              | 0,913              | 0,897               | 0,908               | 0,897               | 0,997  |
|                                      | Keskivirhe | 0,037              | 0,038              | 0,041               | 0,036               | 0,036               |        |
| 8                                    | Keskiarvo  | 0,933              | 0,988              | 0,877               | 0,957               | 0,933               | 0,625  |
|                                      | Keskivirhe | 0,039              | 0,988              | 0,042               | 0,038               | 0,040               |        |
| 9                                    | Keskiarvo  | 1,075              | 1,135              | 1,027               | 1,144               | 1,005               | 0,333  |
|                                      | Keskivirhe | 0,048              | 0,050              | 0,053               | 0,046               | 0,050               |        |
| 10                                   | Keskiarvo  | 1,116              | 1,180              | 1,014               | 1,175               | 1,053               | 0,152  |
|                                      | Keskivirhe | 0,049              | 0,052              | 0,054               | 0,049               | 0,052               |        |
| 11                                   | Keskiarvo  | 1,298 <sup>a</sup> | 1,506 <sup>b</sup> | 1,223 <sup>ab</sup> | 1,429 <sup>ab</sup> | 1,165 <sup>ab</sup> | 0,021* |
|                                      | Keskivirhe | 0,061              | 0,065              | 0,068               | 0,061               | 0,065               |        |
| 12                                   | Keskiarvo  | 1,332              | 1,461              | 1,269               | 1,429               | 1,219               | 0,145  |
|                                      | Keskivirhe | 0,059              | 0,063              | 0,066               | 0,059               | 0,063               |        |

\* Mantrac- ja peittauskäsittelyn välillä oli 11.päivänä itämäärästä tilastollisesti merkitsevä ero juuren päivittäisessä pituuskasvussa.

Taulukko c

## Juuren pinta-ala

| Juuren pinta-ala (cm <sup>2</sup> ) |            |         |       |          |          |         |       |
|-------------------------------------|------------|---------|-------|----------|----------|---------|-------|
| Vrk itämäärä                        | Peitattu   | Mantrac | Wuxal | Gramitre | Aminosol | ANOVA P |       |
| 4                                   | Keskiarvo  | 0,043   | 0,043 | 0,039    | 0,044    | 0,029   | 0,589 |
|                                     | Keskivirhe | 0,025   | 0,009 | 0,009    | 0,008    | 0,007   |       |
| 5                                   | Keskiarvo  | 0,118   | 0,119 | 0,115    | 0,127    | 0,114   | 0,881 |
|                                     | Keskivirhe | 0,012   | 0,012 | 0,115    | 0,127    | 0,013   |       |
| 6                                   | Keskiarvo  | 0,213   | 0,229 | 0,219    | 0,238    | 0,187   | 0,370 |
|                                     | Keskivirhe | 0,181   | 0,016 | 0,018    | 0,016    | 0,016   |       |
| 7                                   | Keskiarvo  | 0,356   | 0,393 | 0,355    | 0,383    | 0,351   | 0,800 |
|                                     | Keskivirhe | 0,310   | 0,025 | 0,026    | 0,023    | 0,025   |       |
| 8                                   | Keskiarvo  | 0,505   | 0,554 | 0,513    | 0,546    | 0,518   | 0,783 |
|                                     | Keskivirhe | 0,033   | 0,035 | 0,037    | 0,032    | 0,035   |       |
| 9                                   | Keskiarvo  | 0,671   | 0,725 | 0,664    | 0,762    | 0,679   | 0,448 |
|                                     | Keskivirhe | 0,045   | 0,048 | 0,050    | 0,045    | 0,048   |       |
| 10                                  | Keskiarvo  | 0,859   | 0,947 | 0,838    | 0,967    | 0,866   | 0,348 |
|                                     | Keskivirhe | 0,057   | 0,060 | 0,063    | 0,057    | 0,061   |       |
| 11                                  | Keskiarvo  | 1,163   | 1,261 | 1,092    | 1,232    | 1,105   | 0,318 |
|                                     | Keskivirhe | 0,073   | 0,077 | 0,080    | 0,071    | 0,076   |       |
| 12                                  | Keskiarvo  | 1,407   | 1,569 | 1,332    | 1,512    | 1,339   | 0,202 |
|                                     | Keskivirhe | 1,239   | 0,090 | 0,094    | 0,084    | 0,089   |       |

Taulukko d

## Juuren päivittäinen pinta-alan kasvu

| Juuren päivittäinen pinta-alan kasvu (cm <sup>2</sup> ) |            |          |         |       |           |          |         |
|---|------------|----------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta                                     |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | GramitreI | Aminosol | ANOVA P |
| 5   | Keskiarvo  | 0,125    | 0,110   | 0,112 | 0,123     | 0,109    | 0,771   |
|   | Keskivirhe | 0,009    | 0,008   | 0,008 | 0,007     | 0,007    |         |
| 6   | Keskiarvo  | 0,154    | 0,149   | 0,142 | 0,151     | 0,137    | 0,770   |
|   | Keskivirhe | 0,007    | 0,006   | 0,007 | 0,006     | 0,007    |         |
| 7   | Keskiarvo  | 0,183    | 0,194   | 0,185 | 0,186     | 0,178    | 0,945   |
|   | Keskivirhe | 0,009    | 0,010   | 0,011 | 0,009     | 0,009    |         |
| 8   | Keskiarvo  | 0,178    | 0,183   | 0,169 | 0,188     | 0,182    | 0,727   |
|   | Keskivirhe | 0,009    | 0,009   | 0,010 | 0,009     | 0,009    |         |
| 9   | Keskiarvo  | 0,214    | 0,228   | 0,208 | 0,234     | 0,204    | 0,639   |
|   | Keskivirhe | 0,012    | 0,012   | 0,013 | 0,011     | 0,012    |         |
| 10  | Keskiarvo  | 0,222    | 0,247   | 0,200 | 0,237     | 0,214    | 0,110   |
|   | Keskivirhe | 0,012    | 0,013   | 0,014 | 0,012     | 0,013    |         |
| 11  | Keskiarvo  | 0,304    | 0,314   | 0,269 | 0,315     | 0,262    | 0,059   |
|   | Keskivirhe | 0,016    | 0,017   | 0,018 | 0,016     | 0,018    |         |
| 12  | Keskiarvo  | 0,256    | 0,308   | 0,255 | 0,280     | 0,251    | 0,147   |
|   | Keskivirhe | 0,015    | 0,016   | 0,017 | 0,015     | 0,016    |         |

Taulukko e

## Juuren tilavuus

| Juuren tilavuus (cm <sup>3</sup> ) |            |          |         |       |           |          |         |
|------------------------------------|------------|----------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta                |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | GramitreI | Aminosol | ANOVA P |
| 4                                  | Keskiarvo  | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,000    | 0,548   |
|                                    | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 5                                  | Keskiarvo  | 0,002    | 0,002   | 0,002 | 0,002     | 0,002    | 0,871   |
|                                    | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 6                                  | Keskiarvo  | 0,003    | 0,004   | 0,003 | 0,004     | 0,003    | 0,617   |
|                                    | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 7                                  | Keskiarvo  | 0,006    | 0,006   | 0,006 | 0,006     | 0,005    | 0,781   |
|                                    | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 8                                  | Keskiarvo  | 0,008    | 0,009   | 0,008 | 0,009     | 0,008    | 0,804   |
|                                    | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 9                                  | Keskiarvo  | 0,011    | 0,011   | 0,011 | 0,012     | 0,011    | 0,639   |
|                                    | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 10                                 | Keskiarvo  | 0,014    | 0,015   | 0,013 | 0,015     | 0,014    | 0,372   |
|                                    | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 11                                 | Keskiarvo  | 0,019    | 0,021   | 0,018 | 0,020     | 0,018    | 0,338   |
|                                    | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 12                                 | Keskiarvo  | 0,023    | 0,026   | 0,022 | 0,025     | 0,022    | 0,216   |
|                                    | Keskivirhe | 0,002    | 0,002   | 0,002 | 0,002     | 0,002    |         |

Taulukko f

## Juuren päivittäinen tilavuuden kasvu

| Juuren päivittäinen tilavuuden kasvu (cm <sup>3</sup> ) |            |          |         |       |           |          |         |
|---|------------|----------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta                                     |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | GramitreI | Aminosol | ANOVA P |
| 5   | Keskiarvo  | 0,002    | 0,002   | 0,002 | 0,002     | 0,002    | 0,608   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 6   | Keskiarvo  | 0,002    | 0,002   | 0,002 | 0,002     | 0,002    | 0,448   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 7   | Keskiarvo  | 0,003    | 0,003   | 0,003 | 0,003     | 0,003    | 0,660   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 8   | Keskiarvo  | 0,003    | 0,003   | 0,003 | 0,003     | 0,003    | 0,661   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 9   | Keskiarvo  | 0,003    | 0,004   | 0,003 | 0,004     | 0,003    | 0,843   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 10  | Keskiarvo  | 0,004    | 0,004   | 0,003 | 0,004     | 0,004    | 0,219   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 11  | Keskiarvo  | 0,006    | 0,006   | 0,005 | 0,006     | 0,005    | 0,139   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |
| 12  | Keskiarvo  | 0,004    | 0,005   | 0,004 | 0,004     | 0,004    | 0,237   |
|   | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000     | 0,000    |         |

Taulukko g

## Juurilukumäärä näytettä kohden

| Juurilukumäärä/näyte (kpl) |            |          |         |       |           |          |         |
|----------------------------|------------|----------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta        |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | GramitreI | Aminosol | ANOVA P |
| 4                          | Keskiarvo  | 2,111    | 2,333   | 2,500 | 2,444     | 2,750    | 0,749   |
|                            | Keskivirhe | 0,327    | 0,327   | 0,347 | 0,327     | 0,347    |         |
| 5                          | Keskiarvo  | 3,556    | 4,333   | 4,125 | 4,300     | 3,667    | 0,452   |
|                            | Keskivirhe | 0,377    | 0,377   | 0,400 | 0,358     | 0,377    |         |
| 6                          | Keskiarvo  | 5,200    | 5,444   | 5,250 | 5,500     | 5,778    | 0,582   |
|                            | Keskivirhe | 0,258    | 0,272   | 0,289 | 0,258     | 0,272    |         |
| 7                          | Keskiarvo  | 6,000    | 6,000   | 6,250 | 6,300     | 6,111    | 0,347   |
|                            | Keskivirhe | 0,126    | 0,133   | 0,141 | 0,126     | 0,133    |         |
| 8                          | Keskiarvo  | 6,400    | 6,333   | 6,375 | 6,700     | 6,444    | 0,684   |
|                            | Keskivirhe | 0,189    | 0,199   | 0,211 | 0,189     | 0,199    |         |
| 9                          | Keskiarvo  | 6,900    | 6,889   | 7,000 | 6,900     | 6,778    | 0,930   |
|                            | Keskivirhe | 0,158    | 0,167   | 0,177 | 0,158     | 0,167    |         |
| 10                         | Keskiarvo  | 7,200    | 7,111   | 7,250 | 7,200     | 7,000    | 0,829   |
|                            | Keskivirhe | 0,153    | 0,161   | 0,171 | 0,153     | 0,161    |         |
| 11                         | Keskiarvo  | 7,200    | 7,111   | 7,375 | 7,500     | 7,222    | 0,477   |
|                            | Keskivirhe | 0,159    | 0,168   | 0,178 | 0,159     | 0,168    |         |
| 12                         | Keskiarvo  | 7,300    | 7,111   | 7,500 | 7,500     | 7,333    | 0,584   |
|                            | Keskivirhe | 0,181    | 0,191   | 0,203 | 0,181     | 0,191    |         |

## Taulukko h

## Juurilukumäärän päivittäinen kasvu näytettä kohden

| Juurilukumäärän päivittäinen kasvu/näyte (kpl) |            |          |         |       |           |          |         |
|--|------------|----------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta                            |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | GramitreI | Aminosol | ANOVA P |
| 5  | Keskiarvo  | 1,750    | 2,000   | 1,625 | 1,778     | 1,125    | 0,338   |
|  | Keskivirhe | 0,306    | 0,289   | 0,306 | 0,289     | 0,306    |         |
| 6  | Keskiarvo  | 1,556    | 1,111   | 1,125 | 1,200     | 2,111    | 0,094   |
|  | Keskivirhe | 0,291    | 0,291   | 0,309 | 0,276     | 0,291    |         |
| 7  | Keskiarvo  | 0,800    | 0,556   | 1,000 | 0,800     | 0,333    | 0,366   |
|  | Keskivirhe | 0,229    | 0,241   | 0,256 | 0,229     | 0,241    |         |
| 8  | Keskiarvo  | 0,400    | 0,333   | 0,125 | 0,400     | 0,333    | 0,821   |
|  | Keskivirhe | 0,169    | 0,178   | 0,189 | 0,169     | 0,178    |         |
| 9  | Keskiarvo  | 0,500    | 0,556   | 0,625 | 0,200     | 0,333    | 0,533   |
|  | Keskivirhe | 0,186    | 0,196   | 0,208 | 0,186     | 0,196    |         |
| 10   | Keskiarvo  | 0,300    | 0,222   | 0,250 | 0,300     | 0,222    | 0,991   |
|  | Keskivirhe | 0,147    | 0,155   | 0,164 | 0,147     | 0,155    |         |
| 11   | Keskiarvo  | 0,000    | 0,000   | 0,125 | 0,300     | 0,222    | 0,205   |
|  | Keskivirhe | 0,105    | 0,111   | 0,118 | 0,105     | 0,111    |         |
| 12   | Keskiarvo  | 0,100    | 0,000   | 0,125 | 0,000     | 0,111    | 0,707   |
|  | Keskivirhe | 0,081    | 0,085   | 0,090 | 0,081     | 0,085    |         |

## Taulukko i

## Juuren halkaisija

| Juuren halkaisija (cm) |            |          |         |       |           |          |         |
|------------------------|------------|----------|---------|-------|-----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta    |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | GramitreI | Aminosol | ANOVA P |
| 4                      | Keskiarvo  | 0,049    | 0,044   | 0,045 | 0,046     | 0,040    | 0,189   |
|                        | Keskivirhe | 0,002    | 0,002   | 0,002 | 0,002     | 0,002    |         |
| 5                      | Keskiarvo  | 0,055    | 0,053   | 0,055 | 0,056     | 0,055    | 0,443   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 6                      | Keskiarvo  | 0,055    | 0,056   | 0,056 | 0,056     | 0,055    | 0,946   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 7                      | Keskiarvo  | 0,058    | 0,060   | 0,059 | 0,058     | 0,058    | 0,827   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 8                      | Keskiarvo  | 0,058    | 0,059   | 0,059 | 0,059     | 0,059    | 0,953   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 9                      | Keskiarvo  | 0,059    | 0,059   | 0,059 | 0,060     | 0,060    | 0,482   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 10                     | Keskiarvo  | 0,059    | 0,060   | 0,059 | 0,060     | 0,060    | 0,771   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 11                     | Keskiarvo  | 0,062    | 0,063   | 0,061 | 0,062     | 0,062    | 0,488   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |
| 12                     | Keskiarvo  | 0,062    | 0,063   | 0,061 | 0,062     | 0,062    | 0,275   |
|                        | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001     | 0,001    |         |

## Taulukko j

## Juuren halkaisijan päivittäinen kasvu

| Juuren halkaisijan päivittäinen kasvu (cm) |            |          |         |       |          |          |         |
|--|------------|----------|---------|-------|----------|----------|---------|
| Vrk itämäänlaitosta                        |            | Peitattu | Mantrac | Wuxal | Gramitre | Aminosol | ANOVA P |
| 5  | Keskiarvo  | 0,010    | 0,014   | 0,014 | 0,014    | 0,017    | 0,230   |
|  | Keskivirhe | 0,002    | 0,001   | 0,002 | 0,001    | 0,001    |         |
| 6  | Keskiarvo  | 0,004    | 0,006   | 0,004 | 0,002    | 0,004    | 0,072   |
|  | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001    | 0,001    |         |
| 7  | Keskiarvo  | 0,004    | 0,005   | 0,004 | 0,003    | 0,004    | 0,700   |
|  | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001    | 0,001    |         |
| 8  | Keskiarvo  | 0,001    | 0,000   | 0,000 | 0,001    | 0,001    | 0,438   |
|  | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,000    | 0,001    |         |
| 9  | Keskiarvo  | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,002    | 0,001    | 0,995   |
|  | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000    | 0,000    |         |
| 10   | Keskiarvo  | 0,001    | 0,002   | 0,001 | 0,001    | 0,002    | 0,940   |
|  | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001    | 0,001    |         |
| 11   | Keskiarvo  | 0,003    | 0,002   | 0,002 | 0,002    | 0,002    | 0,515   |
|  | Keskivirhe | 0,000    | 0,000   | 0,000 | 0,000    | 0,000    |         |
| 12   | Keskiarvo  | 0,000    | 0,001   | 0,001 | 0,000    | 0,001    | 0,770   |
|  | Keskivirhe | 0,001    | 0,001   | 0,001 | 0,001    | 0,001    |         |

**Liite 4: Tilastolliset taulukot kasvihuonekoe**

Taulukoissa on esitetty päiväkohtaisesti kunkin juurista mitatun muuttujan keskiarvo ja keskivirhe eri ravinnekäsittelyillä. ANOVA P-sarake kertoo varianssianalyysin osoittaman merkitsevyyden tuloksissa eri käsittelyjen välillä. Tulos on merkitsevä tasolla  $p < 0,05$ . Taulukoiden luvut on esitetty koko juuristoa kohden.

Taulukko k

Juuriston pinta-ala näytettä kohden

| Juuriston pinta-ala/näyte (cm <sup>2</sup> ) |            |          |         |           |         |
|--|------------|----------|---------|-----------|---------|
| Wrk kylvöstä                                 |            | Peitattu | Mantrac | Gramitrel | ANOVA P |
| 2  | Keskiarvo  | 1,120    | 1,176   | 1,230     | 0,824   |
|  | Keskivirhe | 0,126    | 0,120   | 0,123     |         |
| 5  | Keskiarvo  | 9,027    | 9,544   | 10,633    | 0,313   |
|  | Keskivirhe | 0,767    | 0,725   | 0,745     |         |
| 9  | Keskiarvo  | 15,698   | 17,740  | 20,080    | 0,236   |
|  | Keskivirhe | 1,825    | 1,727   | 1,774     |         |
| 12   | Keskiarvo  | 30,427   | 32,479  | 37,092    | 0,522   |
|  | Keskivirhe | 4,292    | 4,059   | 4,171     |         |
| 16   | Keskiarvo  | 48,254   | 52,989  | 56,500    | 0,749   |
|  | Keskivirhe | 7,776    | 7,356   | 7,557     |         |
| 19   | Keskiarvo  | 70,865   | 70,408  | 81,669    | 0,719   |
|  | Keskivirhe | 11,399   | 10,782  | 11,078    |         |

Taulukko l

Juuriston pinta-alan päivittäinen kasvu näytettä kohden

| Juuriston pinta-alan päivittäinen kasvu/näyte (cm <sup>2</sup> ) |            |          |         |           |         |
|--|------------|----------|---------|-----------|---------|
| Vrk kylvöstä   |            | Peitattu | Mantrac | GramitreI | ANOVA P |
| 5  | Keskiarvo  | 7,907    | 8,369   | 9,403     | 0,273   |
|  | Keskivirhe | 0,676    | 0,640   | 0,657     |         |
| 9  | Keskiarvo  | 6,671    | 8,196   | 9,447     | 0,273   |
|  | Keskivirhe | 1,220    | 1,154   | 1,185     |         |
| 12   | Keskiarvo  | 14,729   | 14,739  | 17,013    | 0,821   |
|  | Keskivirhe | 3,039    | 2,874   | 2,953     |         |
| 16   | Keskiarvo  | 17,827   | 20,509  | 19,408    | 0,918   |
|  | Keskivirhe | 4,718    | 4,463   | 4,585     |         |
| 19   | Keskiarvo  | 22,611   | 17,419  | 25,169    | 0,570   |
|  | Keskivirhe | 5,470    | 5,174   | 5,316     |         |

Taulukko m

Juuriston kuiva-ainepitoisuus

| Kuiva-ainepitoisuus (%) |            |          |         |           |         |
|-------------------------|------------|----------|---------|-----------|---------|
| Vrk kylvöstä            |            | Peitattu | Mantrac | GramitreI | ANOVA P |
| 19                      | Keskiarvo  | 7,603    | 7,608   | 7,685     | 0,838   |
|                         | Keskivirhe | 0,112    | 0,106   | 0,108     |         |